

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM MEIO  
AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**Jessica Emiliana Silva de Lira**

**ESTUDO SOBRE O CONFORTO AMBIENTAL NAS  
ESCOLAS PÚBLICAS DE ITAJUBÁ/MG**

**Itajubá-MG  
Março, 2019**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM MEIO  
AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**Jessica Emiliana Silva de Lira**

**Estudo sobre o conforto ambiental nas escolas públicas de  
Itajubá-MG**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Diagnóstico, monitoramento e gestão ambiental

Orientador: Marcelo de Paula Corrêa

Coorientador: Luiz Felipe Silva

**Itajubá-MG  
Março, 2019**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO EM MEIO  
AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**Jessica Emiliana Silva de Lira**

**Estudo sobre o conforto ambiental nas escolas públicas de  
Itajubá-MG**

Dissertação a aprovada por banca examinadora em  
15 de março de 2019, conferindo ao autor o título de  
**Mestre em Meio Ambiente e Recursos Hídricos**

**Banca examinadora:**

Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa (Orientador)

Prof. Dr. Luiz Felipe Silva (Coorientador)

Prof.<sup>a</sup> Dra. Daniele Ornaghi Sant'Anna

Prof.<sup>a</sup> Dra. Renata De Vecchi

**Itajubá-MG  
Março, 2019**

Aos meus professores

## AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor **Dr. Marcelo de Paula Corrêa**, pelos ensinamentos, paciência e suporte durante a realização desse trabalho.

Ao meu coorientador professor **Dr. Luiz Felipe da Silva**, pelas instruções, correções e atenção dispensada.

A professora **Dra. Daniele Ornaghi Sant'Anna** pelas contribuições no exame de qualificação e assistência no decorrer do trabalho.

A **Universidade Federal de Itajubá**, pela oportunidade.

A **Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior - CAPES** pelo auxílio financeiro.

As **escolas** que cederam seu espaço para realização desse trabalho, em especial à atenção dispensada pelos **diretores e funcionários**.

Aos **amigos**, pelo incentivo e apoio durante a realização desse mestrado.

*“Espero que a humanidade faça valer o presente que recebemos: a paz, a inteligência, o amor. E que todas as guerras se acabem, para que possamos valer tudo o que falam sobre o ser humano, que anda muito esquisito.”*  
*(Milton Nascimento)*

## RESUMO

Em um ambiente confortável as pessoas sentem-se mais satisfeitas e apresentam melhor rendimento mental, físico e profissional. A preocupação com a qualidade ambiental em ambientes fechados (*indoor*) aumentou na década de 1970, época em que o termo “Síndrome do Edifício Doente” foi definido. Desde então, pesquisas sobre conforto ambiental têm aumentado. Atualmente, as pessoas passam a maior parte do dia em locais fechados e as crianças até oito horas diárias na escola. Por essa razão, é importante que as salas de aula sejam apropriadas para proporcionar melhor desempenho dos alunos. Baseado nesta temática multidisciplinar importante, o presente estudo tem o objetivo de avaliar o conforto ambiental de salas de aula, tendo como base escolas da rede pública localizadas em Itajubá/MG. Foram realizadas medições de temperatura e umidade relativa do ar, para determinar o conforto térmico, nível de pressão sonora, nível de iluminância e concentração de material particulado (PM<sub>2.5</sub>), durante o verão e inverno de 2018, em quatro escolas. Os dados foram comparados com valores recomendados pela ASHRAE Standard 55/2017, NBR 10.152/2017, NBR ISO 8995-1/2013 e Resolução CONAMA 491/2018. As escolas indicaram salas de aula que oferecem situação de desconforto térmico no verão e inverno. Em todas as escolas o nível de ruído foi superior ao recomendado (entre 71,9 a 77,1 dB(A)). A iluminância média somente foi adequada em uma escola, no período do inverno, após manutenção do sistema de iluminação. E, por fim, as concentrações médias diárias de PM<sub>2.5</sub> estavam acima do recomendado pela OMS. Tais resultados apontam para situações de desconforto térmico, ruído, concentração de PM<sub>2.5</sub> elevada, iluminância insuficiente nas escolas públicas de Itajubá/MG, prejudicando o aprendizado. Para melhoria do ambiente sugere-se substituir as lâmpadas existentes, por lâmpadas de maior fluxo luminoso e instalar painéis acústicos para absorção de ruído. Para estudos futuros, sugere-se avaliar a relação entre respostas fisiológicas dos alunos e medidas físicas e, o impacto das mudanças climáticas sobre o conforto térmico nas salas de aula.

Palavras-chave: conforto ambiental, conforto térmico, ruído, material particulado, sala de aula

## ABSTRACT

In a comfortable environment, people feel more satisfied and demonstrate better mental, physical and professional performance. The preoccupation with indoor environmental quality increased in the 1970s, when the term "Sick Building Syndrome" was defined. Since then, research about environmental comfort has increased. Currently, people spend most of the day indoors and children up to eight hours a day at school. For this reason, it is important that classrooms be appropriate to provide better student performance. Based on this important multidisciplinary thematic, the present study proposes to evaluate classrooms' environmental comfort, based on public schools located in Itajubá / MG. Measurements of temperature and relative humidity were performed to determine the thermal comfort using the WBGT index; sound pressure level, illuminance level and particulate matter concentration (PM<sub>2.5</sub>) during the summer and winter of 2018 at four schools. The data were compared with the values recommended by ASHRAE Standard 55/2017, NBR 10.152/2017, NBR ISO 8995-1/2013 e Resolução CONAMA 491/2018. The schools indicated classrooms that offer thermal discomfort in the summer and winter. The noise level in all schools was higher than the recommended (between 71.9 and 77.1 dB (A)). The mean illuminance was only adequate at one school in the winter period after maintenance of the lighting system. And, finally, the mean daily concentrations of PM<sub>2.5</sub> were higher than those recommended by the World Health Organization. These results point to situations of thermal discomfort, noise, concentration of high PM<sub>2.5</sub>, insufficient luminosity in public schools of Itajubá / MG, impairing learning. To improve the environment, it is suggested to replace the existing lighting system by lamps with a higher luminous flux and to install acoustic panels for noise absorption. For future studies, it is suggested to evaluate the relationship between students' physiological answers simultaneously with physical measures, as well as the impact of climate change on thermal comfort in classroom.

Key words: environmental comfort, thermal comfort, noise, particulate matter, classroom

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ranking da importância de diferentes condições ambientais para satisfação geral com a IEQ; o maior número indica maior classificação (importância).....	22
Figura 2: Localização de Itajubá-MG.....	40
Figura 3: Localização escolas objeto de estudo.....	42
Figura 4: Esquema das etapas de trabalho.....	44
Figura 5: Ficha de contagem volumétrica I.....	46
Figura 6: Localização e entorno E2.....	47
Figura 7: Localização e entorno E3.....	47
Figura 8: Localização e entorno E4.....	48
Figura 9: Planta baixa E1 e localização dos pontos de medição.....	54
Figura 10: Planta baixa E2 e localização dos pontos de medição.....	54
Figura 11: Planta baixa E3 e localização dos pontos de medição.....	55
Figura 12: Planta baixa E4 e localização dos pontos de medição.....	55
Figura 13: Contagem de veículos nas vias de acesso às escolas no período das aulas, durante 30 minutos.....	57
Figura 14: Dispersão da temperatura e umidade relativa do ar com faixa de conforto térmico no período de verão.....	66
Figura 15: Dispersão da temperatura e umidade relativa do ar com faixa de conforto térmico no período de inverno.....	66
Figura 16: Nível de pressão sonora nas sala de aula, em 4 escolas, no período do verão e inverno de 2018.....	67
Figura 17: Variação do Nível de Pressão Sonora medido durante as aulas, no período de verão.....	69
Figura 18: Variação do Nível de Pressão Sonora medido durante as aulas, no período do inverno.....	69
Figura 19: Nível de iluminância nas salas de aula durante o verão.....	72
Figura 20: Nível de iluminância nas salas de aula, durante o inverno.....	72
Figura 21: Simulação iluminação natural e artificial, sala de aula na E1, solstício de verão, 13h30min.....	74

Figura 22: Simulação iluminação natural e artificial, sala de aula na E4, solstício de verão, 13h30min.....	74
Figura 23: Sala da aula da E4, com indicativo da localização das janelas .....	75
Figura 24: Simulação iluminação natural e artificial, sala de aula na E3, solstício de verão, 13h30min.....	75
Figura 25: Simulação iluminação natural e artificial, sala de aula na E3, solstício de inverno, 13h30min.....	76
Figura 26: Concentração de partículas finas (PM <sub>2,5</sub> ) nas salas de aula, no verão .....	77
Figura 27: Concentração de partículas finas nas salas de aula, inverno.....	78
Figura 28: Concentração de material particulado fino, nos períodos do verão e do inverno de 2018 .....	79
Figura 29: Comparação da concentração média-hora diária PM <sub>2,5</sub> µg/m <sup>3</sup> das escolas com o valor ideal, nos períodos de verão e de inverno. ....	80

## **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Datas de coleta de dados campanhas Verão e Inverno 2018.....	53
Quadro 2: Características observadas nas salas de aula durante as medições .....	59
Quadro 3: Insolação das fachadas das escolas.....	61

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Quantidade mínima de pontos a serem medidos de acordo com a NBR 15.215-4 ..	51
Tabela 2: Nível sonoro equivalente externo, realizado durante a contagem de veículos .....	58
Tabela 3: Nível sonoro equivalente durante todo o período de aula, no verão e inverno de 2018 .....	68
Tabela 4: Nível sonoro equivalente (Leq), durante o horário de almoço, no verão e inverno de 2018 .....	70
Tabela 5: Iluminância média das salas de aula no verão e inverno de 2018 .....	71
Tabela 6: Percentual de desconforto ambiental encontrado nas escolas, no período do verão e inverno .....	82

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agencia Nacional de Vigilância Sanitária
ASA	Sociedade Americana de Acústica
ASHARE	<i>American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers</i>
BOSSA	<i>Building Occupants Survey System Australia</i>
BUS	<i>Building Use Studies</i>
c	comprimento
CBE	<i>Center for the Built Environment</i>
CIBSE	<i>Chartered Institution of Building Services Engineers</i>
clo	isolamento da vestimenta
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COV	Compostos orgânicos voláteis
Cwa	Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
E	Nível de Iluminância
EJA	Educação de Jovens e Adultos
Hm	distância vertical
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEB	Índice de Desenvolvimento de Educação Básica
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
INEP	Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
l	largura
LED	<i>Light emitter diode</i>
Leq	Nível Sonoro Equivalente
NBR	Norma de Técnica Brasileira
NPS	Nível de Pressão Sonora
OCDE	Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OMS	Organização Mundial de Saúde

PIB	Produto Interno Bruto
PM	Material particulado
PMOC	Plano de Manutenção, Operação e Controle
PMV	<i>Predicted Mean Vote</i>
SED	Síndrome do Edifício Doente
T	Temperatura do ar
TCT	Temperatura corporal central
UR	Umidade Relativa
USGBC	<i>U.S. Green Building Council</i>
WBGT	<i>Wet Bulb Globe Thermometer</i> simplificado

## LISTA DE SÍMBOLOS

°C	Grau Celsius
CO	monóxido de carbono
CO <sub>2</sub>	dióxido de carbono
dB	Decibel
dB(A)	Decibel na curva de ponderação A
ft <sup>3</sup>	pés cúbicos
hab./km <sup>2</sup>	habitantes por quilômetro quadrado
Hz	Hertz
km <sup>2</sup>	quilômetros quadrados
L/min	litros por minuto
L/s	litros por segundo
log	logaritmo
lux	nível de iluminância
m	metros
m/s	metros por segundo
mm	milímetro
nm	nanômetro
NO	óxido de nitrogênio
NO <sub>2</sub>	dióxido de nitrogênio
P	percentil
PM <sub>10</sub>	material particulado grosso
PM <sub>2,5</sub>	material particulado fino
Q	quartil
R\$	reais
SO <sub>2</sub>	dióxido de enxofre
W/m <sup>2</sup>	watt por metro quadrado
µg/m <sup>3</sup>	microgramas por metro cúbico de ar
µm	micrômetro

$\mu\text{Pa}$	micropascal
$\Sigma$	soma

# SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....	21
2.1 Conforto e qualidade ambiental.....	21
2.2 Conforto térmico .....	26
2.3 Conforto acústico.....	30
2.4 Conforto Visual .....	34
2.5 Material Particulado .....	37
3 OBJETO DE ESTUDO .....	40
3.1 Área de Estudo .....	40
3.2 Ensino .....	41
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	43
4.1 Diagnóstico.....	45
4.1.1 Tráfego de veículos .....	45
4.2 Conforto térmico .....	48
4.3 Ruído .....	49
4.4 Iluminação .....	50
4.5 Material Particulado .....	52
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	56
5.1 Diagnóstico do Entorno .....	56
5.2 Diagnóstico salas de aula.....	58
5.3 Conforto Térmico .....	60
5.4 Ruído .....	67
5.5 Iluminação .....	71
5.6 Material Particulado .....	76
5.7 Conforto ambiental nas escolas .....	81
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	85
REFERÊNCIAS .....	86
APÊNDICE A - Check list das informações coletadas para diagnóstico das salas de aula .....	99

## 1 INTRODUÇÃO

A busca pelo conforto ambiental é um desafio, pois envolve uma variedade de parâmetros físicos que podem influenciar o bem-estar do indivíduo. Quando se trata de ambientes coletivos esse trabalho torna-se ainda mais desafiador, pois nem sempre todos os ocupantes ficarão satisfeitos com as mesmas condições, sendo importante buscar um equilíbrio.

O próprio termo conforto possui várias definições. Neste trabalho adotou-se a definição de Kolcaba, no qual o conforto ambiental representa a influência de parâmetros físicos, como a temperatura, o ruído, a iluminação e os odores no meio. Além desses parâmetros, é importante considerar a qualidade do ar, pois, com o desenvolvimento urbano e mudança nos padrões de vida, as pessoas permanecem 80 a 90% de seu dia em locais fechados. E, dependendo da qualidade do ambiente interno, das taxas de ventilação, os níveis de poluição podem ser de duas a cinco vezes maiores do que em locais abertos (FERREIRA, CARDOSO, 2013).

A baixa qualidade ambiental *indoor*, prejudica tanto a saúde quanto o desempenho. Na década de 1970 surgiu o termo Síndrome do Edifício Doente – SED, em que os indivíduos apresentavam diversos sintomas que estão relacionados às condições do ambiente que ocupam, desencadeando agravos em doenças respiratórias, desconforto, dores de cabeça, dificuldades de concentração, fadiga, aumento do índice de absenteísmo, reduzindo a produtividade. Nesse contexto a qualidade do ambiente interno tornou-se um importante tema de pesquisa.

Em um ambiente considerado confortável o indivíduo desenvolve-se melhor. Essa atenção também deve ser dada às escolas, pois, as crianças estão entre um dos grupos mais sensíveis aos efeitos da baixa qualidade do ambiente, além de estarem em fase de aprendizagem. Devido ao padrão de vida da população brasileira, há uma tendência das crianças irem para as escolas cada vez mais cedo e permanecerem entre quatro a oito horas por dia em uma sala de aula. São cinco dias por semana, 40 semanas por ano e aproximadamente 13 anos que um indivíduo permanece em sala de aula.

O conforto ambiental em escolas tornou-se uma preocupação em vários lugares, que buscam analisar o conforto térmico (GIULI et al., 2014), acústico (FORNS et al., 2016) visual

(MICHAEL; HERACLEOUS, 2017) ou a qualidade do ar em escolas da Finlândia (TURUNEN et al., 2014), Grécia (KALIMERI et al., 2016), Eslováquia (VILCEKOVA et al. 2017), Portugal (FEREIRA, CARDOSO, 2013), Espanha (FORNS et al., 2016) e Estados Unidos (HAVERINEN-SHAUGHNESSY et al., 2015). Na região Sul de Minas Gerais, em especial na microrregião de Itajubá/MG, há poucos estudos sobre condições ambiental das salas de aula.

Assim, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o conforto ambiental das salas de aula, em escolas da rede pública, localizadas no município de Itajubá / MG. Para tanto, propõe-se os seguintes objetivos específicos:

- Identificar os aspectos ambientais que afetam o conforto nas salas de aula;
- Analisar as condições de conforto térmico por meio da temperatura e umidade relativa do ar medidas *in loco*;
- Analisar os níveis de ruído por meio do nível de pressão sonora medida *in loco*;
- Analisar as condições de iluminação das salas de aula por meio da iluminância média e simulações;
- Analisar a qualidade do ar por meio da concentração de material particulado;
- Sugerir melhorias com base no diagnóstico ambiental levantado.

## **2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 Conforto e qualidade ambiental**

O termo conforto possui várias definições dependendo de sua área de estudo e da percepção do usuário, pois está relacionado aos sentimentos que um indivíduo possui de uma determinada atividade, local ou situação em que se encontra. Uma das melhores definições encontra-se no campo da enfermagem na teoria do conforto de Kolcaba.

De acordo com Boudiab e Kolcaba (2015), o conforto ocorre em quatro contextos: físico, psicoespiritual, sociocultural e ambiental. Dentro destes contextos existem três estados de conforto: alívio, tranquilidade e transcendência.

No contexto físico o conforto está relacionado ao equilíbrio do corpo, ausência de dor; no psicoespiritual refere-se à consciência interna de si e dá significado a existência de alguém de ordem superior, bem como seu relacionamento com esse indivíduo, no sociocultural refere-se às relações interpessoais, familiares e sociais, amizade na qual o indivíduo sente-se integrado na comunidade e o ambiental está relacionado com as influências externas de temperatura, luz, cor, ruído, paisagem, odores, e adaptação do indivíduo ao ambiente (SCHMID, 2005).

No estado de alívio o indivíduo encontra sua necessidade realizada. No segundo estado ele encontra-se calmo e satisfeito. E no último estado o de transcendência o indivíduo sente seus problemas resolvidos, já não tem dor, encontra-se renovado (BOUDIAB E KOLCABA, 2015).

No campo da arquitetura, inserida no contexto ambiental, segundo a divisão da Kolcaba, Schmid (2005) entende que o conforto ambiental possui três valores essenciais, o de comodidade, expressividade e adequação. De acordo com o autor, a comodidade resume-se à zona de conforto e engloba os estados de alívio e tranquilidade, com a prevenção de agressões físicas como o frio e ruído, por exemplo. A expressividade está ligada a transcendência, na qual deseja-se que o ambiente influencie positivamente no estado de espírito do indivíduo, e ele esteja inserido em um local onde sintam-se relaxado ou encantado, em sua moradia, por

exemplo. Já a adequação é a necessidade de adaptar-se a um ambiente que não é o domiciliar, com um conforto reduzido, mas um ambiente funcional, como o local de trabalho.

Do ponto de vista arquitetônico, Silva (2009) propõe seis categorias para o termo conforto, sendo higiene, economia, eficiência e técnica, classificadas como objetivas e bem-estar e estética, classificadas como subjetivas. O conforto higiene está ligado ao conceito de um ambiente favorável à saúde de seus usuários. O conforto economia, refere-se ao custo e dimensões mínimas capazes de atender as necessidades dos ocupantes. O conforto eficiência está relacionado à adequação entre arquitetura e o mobiliário, a fim de proporcionar melhor produtividade. E o conforto técnica envolve novas técnicas de produção na construção. Nas categorias classificadas como subjetivas, o conforto bem-estar engloba a comodidade e privacidade e o conforto estética está relacionado à expressividade, à beleza.

Assim, a busca pelo conforto é um desafio, principalmente quando trata-se de ambientes coletivos, pois nem sempre todos os ocupantes estarão satisfeitos a partir das mesmas condições, onde uma série de parâmetros físicos e químicos podem influenciar no conforto do indivíduo. A pesquisa realizada por Frontczak e Wargocki (2011) mostrou que as pessoas dão importância maior para o conforto térmico e dão significância menor para o conforto visual. A Figura 1 mostra o ranking de importância do conforto em ambientes internos segundo a análise de Frontczak e Wargocki (2011) realizada a partir de revisão da literatura.

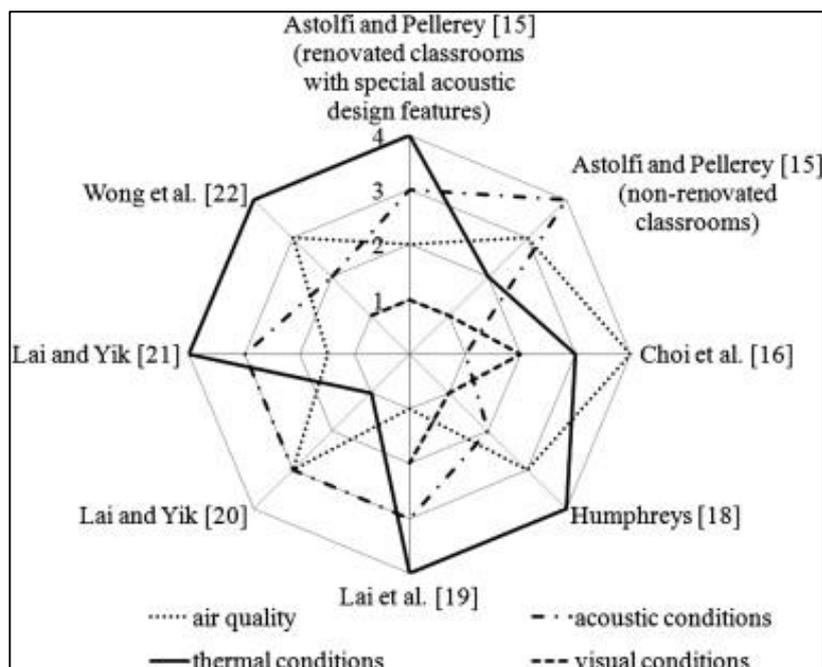


Figura 1: Ranking da importância de diferentes condições ambientais para satisfação geral com a IEQ; o maior número indica maior classificação (importância).

Fonte: Frontczak e Wargocki (2011)

A preocupação com o tema tornou-se maior na década de 1970, pois visando a eficiência energética, como resposta à crise do petróleo de 1973, tornou-se comum a construção de edifícios hermeticamente fechados ou selados, o que impactou na saúde e desempenho dos ocupantes dos edifícios (JAFARI et al., 2015).

Sterling, Collett, Rumel (1991) dizem que objetivo inicial desse tipo de construção era evitar que a poluição do ar externa, como emissão de fuligem proveniente das indústrias, invadisse o ambiente. Porém, como consequência, as taxas de ventilação do ambiente foram reduzidas, diminuindo a troca de ar de duas vezes por hora para 0,2 ou 0,3 vezes por hora (JAFARI et al., 2015). Essa diminuição implica no aumento da concentração de poluentes atmosféricos gerados no próprio ambiente, como o monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), óxido de nitrogênio (NO), dióxido de nitrogênio (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>), ozônio, materiais particulados, Compostos Orgânicos Voláteis – COV<sup>1</sup>, fumaça de cigarro e micro-organismos (SCHIRMER et al., 2011).

Ainda segundo o autor, o próprio metabolismo dos ocupantes, através da respiração e transpiração, contribuem com a poluição do ambiente interno, pelo aumento de gás carbônico (CO<sub>2</sub>) no ambiente e propagação de micro-organismos.

Brickus, Aquino Neto (1999) e Redlich, Sparer e Cullen (1997) anteriormente citavam como fontes de poluentes no ambiente interno o próprio material de construção e acabamento, como fibra de vidro (emissão de partículas), tintas, solventes e resinas (emissão de COV) e os itens do escritório, por exemplo, carpetes que contribuem para acúmulo de poeira, e proliferação de micro-organismos, produtos de limpeza (emissão de COV), impressoras e fotocopiadoras (emissão de COV e ozônio).

Sintomas como dores de cabeça, cansaço, dificuldades de concentração, náuseas, tosse, dores de garganta, garganta seca, nariz irritado, escorrendo ou entupido, coceira ou irritação nos olhos, pele seca, erupções cutâneas ou vermelhidão começaram a aparecer com maior frequência entre os ocupantes dos edifícios de Pahang, na Malásia (NORHIDAYAH et al., 2013; RUNESON-BROBERG; NORBÄCK, 2013).

Além desses sintomas, várias doenças podem desenvolver-se devido às condições do ambiente interno como rinite, sinusite, faringite, asma, dermatites alérgicas, irritantes e urticária (REDLICH, SPARER E CULLEN, 1997).

Uma das doenças associadas à SED é a doença dos legionários causada pela bactéria *Legionella pneumophillia*, essa doença é uma forma de pneumonia e apresenta sintomas como

---

<sup>1</sup> São exemplos de Compostos Orgânicos Voláteis: benzeno, formaldeído, tolueno, xileno, acetona.

febre, cefaleia, mialgias e tosse não produtiva (SCHULZ et al., 2005). A Febre Pontiac, uma forma mais branda da doença *Legionella pneumophillia*, também é associada à SED. Esta é uma doença aguda, não pneumônica, cujos sintomas são febre, calafrios, dores musculares que geralmente ocorrem por um período de dois a cinco dias (GRAUDENZ, DANTAS, 2007).

Em 1983 a Organização Mundial da Saúde – OMS reconheceu como “edifício doente” os locais onde há prevalência de 20% ou mais desses sintomas entre população presente no edifício, com frequência de uma a duas vezes na semana (NORHIDAYAH et. al, 2013; SCHIRMER et al, 2011). Desde então a Síndrome do Edifício Doente tornou-se conhecida.

No intuito de melhorar as condições ambientais, a OMS orienta sobre a manutenção dos sistemas de ar condicionado (WHO, 1990). No Brasil a Agência Nacional da Vigilância Sanitária – Anvisa – estabeleceu padrões de referência para Qualidade do Ar *Indoor* em ambientes climatizados artificialmente, através da Resolução nº 176/2000. E, em janeiro de 2018, o congresso nacional sancionou a Lei nº 13.589/2018, onde todos os edifícios de uso público, coletivo e de uso restrito devem ter um Plano de Manutenção, Operação e Controle – PMOC de seus sistemas de ar condicionado. Ressalta-se que o PMOC deve atender as recomendações e padrões de qualidade do ar estabelecidos pela Anvisa.

Fatores físicos como temperatura, umidade, iluminação e ruído também colaboram para existência de um Edifício Doente. O estudo realizado por Jafari et al. (2015) em edifícios de Teerã, Irã, indicou que a ventilação, o ruído provocado pelo tráfego de veículo e pouca iluminação, prejudicava a saúde e bem-estar dos ocupantes. Os autores associaram os altos níveis de ruído com dores de cabeça e tontura. E sintomas como dor nos olhos e mal estar foram relacionados com a iluminação.

Vilcekova et al. (2017) verificou a prevalência de alguns sintomas vinculados à Síndrome do Edifício Doente entre funcionários e alunos de uma escola de alunos especiais. Os funcionários relataram como sintomas prevalentes o cansaço, dificuldade de concentração, dores de cabeça e dores de garganta. E os alunos reclamaram de cansaço, dificuldade de concentração, sensação de cabeça pesada, dores de garganta, irritação nos olhos e nariz. Os entrevistados identificaram o ruído como maior responsável pelo desconforto, provavelmente responsável pela dificuldade de concentração e dores de cabeça. Os dados medidos indicaram baixo nível de iluminação e concentração de material particulado acima dos limites permitidos, que pode estar relacionado com dor de garganta, irritação nos olhos e nariz.

Turunen et al. (2017) também relataram o ruído como um das principais queixas dos usuários em 297 escolas primárias finlandesas. Em segundo lugar estava temperatura elevada. Semelhante ao estudo de Vilcekova et al. (2017), cansaço, dores de cabeça e nariz entupido foram os sintomas mais prevalentes.

Para análise da qualidade ambiental interna usualmente são feitas Avaliações de Pós Ocupação – APO e medições com instrumentos, a fim de investigar as condições das edificações e a satisfação dos ocupantes quanto aos quesitos de conforto térmico, conforto acústico, conforto visual, qualidade do ar *indoor* e ventilação.

As APO consistem na aplicação de questionários para pontuar o nível de satisfação dos ocupantes, porém, possuem capacidade de diagnóstico incompleta, pois são análises subjetivas e a variedade de opiniões para condições físicas podem dificultar a pesquisa, se usada como única ferramenta para avaliação das edificações (HEINZERLING et al., 2013). Sua vantagem é o de fornecer um *feedback* sobre as condições dos ambientes construídos (CANDIDO et al., 2013). Vários questionários de APO foram desenvolvidos e dois deles são destacados por Candido et al. (2013) como os mais conhecidos: o *Building Use Studies* - BUS no Reino Unido e o *Center for the Built Environment* - CBE nos Estados Unidos.

O ideal é utilizar as duas estratégias concomitantes: i) aplicação das APO e ii) medições instrumentais dos parâmetros ambientais relacionados ao conforto térmico (temperatura do ar, temperatura de globo, umidade relativa, velocidade do ar), acústico (nível de pressão sonora interna e externa), visual (intensidade da luz) e qualidade do ar (níveis de poluição atmosférica, tais como CO, CO<sub>2</sub>, COV, material particulado, etc.) (MUJAN et al., 2019; PARKINSON; PARKINSON; DEAR, 2019).

Alguns documentos para padronização de medições e avaliação de desempenho foram desenvolvidos pelas principais organizações ligadas à qualidade ambiental interna, direcionados principalmente para engenheiros e arquitetos, *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers* - ASHRAE, *Chartered Institution of Building Services Engineers* – CIBSE e *U.S. Green Building Council* – USGBC, nos Estados Unidos e a norma europeia EN15251/2007 (HEINZERLING et al., 2013). Candido et al. (2013) recomendam o método *Building Occupants Survey System Australia* – BOSSA, um sistema de pesquisa que combina as APO com medições internas, permitindo identificar e entender os valores e limites aceitáveis para o conforto, as causas de insatisfação e as interações entre os fatores relacionados à qualidade ambiental interna (BOSSA, 2019).

## 2.2 Conforto térmico

Segundo a ASHRAE Standard 55 (2017), conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação em relação ao ambiente térmico. Ocorre que as pessoas nem sempre estão satisfeitas pelas mesmas condições, pois os indivíduos diferem entre si, por isso, parâmetros físicos e individuais interferem no conforto (FRONTCZAK E WARGOCKI; 2011).

O ser humano é homeotérmico, ou seja, mantém a temperatura corporal entre 36,1 a 37,2°C, isso ocorre através de seu sistema termorregulador, que controla o aumento ou perda de calor pelo organismo (FROTA, SCHIFFER, 2001). O corpo humano atua como uma máquina térmica, que necessita de calor para desempenhar suas atividades. Através de reações químicas internas, os alimentos e oxigênio consumidos são convertidos em energia. Esse processo pode ser subdividido em duas categorias: o metabolismo basal, necessário para o funcionamento fisiológico e o metabolismo para o desempenho das atividades externas (LAMBERTS et al., 2011).

Segundo Frota e Schiffer (2001), o homem tem um rendimento muito baixo. Aproximadamente 20% da energia é transformada em potencialidade de trabalho, o restante é convertido em calor e deve ser dissipado, principalmente através da pele, para que o corpo mantenha-se em equilíbrio térmico. Essas trocas de calor são feitas de duas formas, calores sensível e latente. As autoras explicam que o calor sensível corresponde às trocas secas e ocorre em função das diferenças de temperatura. Quando a temperatura do ar é maior do que a temperatura do corpo, há transferência de calor (SOUZA, 2017). Já o calor latente refere-se as trocas úmidas, através da evaporação do suor produzido.

Segundo Amaral e Mortimer (2011), as primeiras ideias de calor são relacionadas as sensações de quente e frio, com o uso do fogo como fonte de calor. Assim, quente e frio referem-se à presença e ausência de calor, respectivamente. Historicamente destacam-se duas concepções de calor: a animista e a substancialista. Os autores explicam que no século XVIII “a ideia do fogo como uma substância viva ou vivaz possivelmente impregnou a noção de calor de um caráter anímico” (p.5). Nesse conceito algumas vezes o calor foi atribuído a um objeto que deseja receber ou perder calor e outras vezes a algo que se movimenta sobre sua própria força.

Já a ideia substancialista vem do pensamento de calor como transferência de energia, onde também foi proposto o conceito de calor latente. Quando o calor passa a ser visto como

uma relação de diferenças de temperatura entre dois corpos o conceito de calor ganha um caráter racional (IDEM, 2011).

As transferências de calor podem ocorrer por condução, convecção, radiação (calor sensível ou troca seca) ou evaporação (calor latente ou troca úmida). Na condução, a transferência de calor depende da temperatura da superfície de contato, nesse caso, o contato do corpo com uma superfície mais quente ou fria determina o ganho ou perda de calor. Na convecção, as trocas térmicas dependem da temperatura e velocidade do ar, assim em locais com maior ventilação a remoção de calor é facilitada. A radiação consiste na transferência de calor por ondas eletromagnéticas e as trocas térmicas dependem da temperatura da superfície ao redor indivíduo. Desse modo, quando o entorno apresenta temperatura maior, há transferência de calor para o corpo (LAMBERTS et al., 2011; WIDMAIER; RAFF; STRANG, 2006).

A evaporação está relacionada com a umidade e a velocidade do ar, bem como atividade física em exercício. Através dela o organismo consegue transferir calor para o meio, que ocorre pela transpiração e respiração. Quanto menor for a umidade relativa do ar, por exemplo, maior será a perda de calor por evaporação (GUYTON; HALL, 2011; LAMBERTS et al., 2011). “*A intensidade da perda de calor é determinada primariamente por dois fatores: a rapidez com que o calor pode ser conduzido das partes centrais do corpo para a pele e a velocidade com que pode ser transferido da pele para o ambiente*” (CAMARGO; FURLAN, 2011, p. 280).

Dependendo da atividade realizada, o organismo aumentará a taxa metabólica, com maior produção calor, que deve ser dissipado para o ambiente para que o organismo mantenha-se em equilíbrio térmico (SOUZA, 2017). Mishra e Ramgopal (2013) afirmam que a idade e o gênero também influenciam no metabolismo e no conforto térmico do indivíduo. Devido à debilidade ocasionada pelo envelhecimento, falta de aptidão física e metabolismo mais lento, os idosos preferem ambientes mais quentes, exemplificam os autores. Quanto ao gênero, as mulheres são mais sensíveis às variações de temperatura e também preferem ambientes mais quentes (MISHRA; RAMGOPAL, 2013).

Yun et al. (2014) notaram que o metabolismo das crianças é mais elevado e sentem mais calor quando mudam de atividade em comparação com adultos. Segundo os autores, as crianças são mais sensíveis às mudanças de temperatura do que os adultos e preferem ambientes com temperaturas mais baixas, sentindo-se termicamente confortáveis a temperaturas de aproximadamente 3° C inferiores quando comparados aos adultos. Yun et al. (2014) também perceberam diferença entre o gênero quanto à preferência de temperatura. Em

seu estudo os autores notaram que as crianças do sexo feminino sentem-se mais confortáveis em ambientes mais quentes, com temperatura de aproximadamente 1° C superior, quando comparado com as crianças do sexo masculino. Resultados semelhantes foram encontrados no estudo de Teli, Jentsch e James (2012). Eles concluíram que crianças possuem uma sensação térmica diferente dos adultos, com conforto em temperaturas de 2 a 4° C menores do que adultos.

Além do metabolismo, influenciado pelo tipo de atividade desenvolvida pelo indivíduo, a vestimenta, a temperatura do ar, a temperatura radiante, a umidade e a velocidade do ar influenciam na sensação de conforto térmico. O metabolismo e o vestuário são classificados como parâmetros pessoais e a temperatura do ar, temperatura radiante média, velocidade do ar e umidade relativa, são classificados como parâmetros ambientais (FRONTCZAK E WARGOCKI; 2011).

A vestimenta atua como isolante térmico, seu valor é expresso em unidades de clo que indica a resistência térmica à troca de calor. Assim, tecidos leves e roupas curtas indicam uma resistência à trocas térmicas menor do que tecidos mais grossos, como casacos comumente utilizados no inverno (WARGOCKI; WYON, 2017). Frota e Schiffer (2001) elucidam que a roupa dificulta as trocas de calor por convecção e radiação, bem como impede a troca por condução. De acordo com elas a vestimenta tem potencial para diminuir o ganho de calor provocado pela radiação e reduzir as perdas de umidade dependendo das condições ambientais.

Assim, o vestuário é considerado uma forma adaptativa às condições térmicas do ambiente de maneira simplificada e econômica. Porém outras questões devem ser consideradas como o ambiente social, estilo de vida, clima, estações do ano, gênero e idade (RAMGOPAL, 2013; DE VECCHI; LAMBERTS; CANDIDO, 2017). Por exemplo, o estudo realizado por De Vecchi, Lamberts e Candido (2017) em clima temperado e úmido concluiu que em mesma temperatura o índice de vestimenta em locais distintos (escritório e escola) eram diferentes. Os autores também percebem que as mulheres têm maior flexibilidade no vestuário. Já Nam et al. (2015) mostraram que em comparação aos adultos, as crianças apresentaram menor quantidade média de roupa por estação.

Segundo a ASHRAE (2017), temperatura do ar é definida como temperatura do entorno do indivíduo e a temperatura radiante média é a temperatura uniforme em um recinto imaginário, onde um ocupante trocaria a mesma quantidade de calor radiante que no ambiente real. Mishra e Ramgopal (2013) notaram que em climas quentes e úmidos, durante o verão, as pessoas preferem temperaturas mais baixas. Os autores também observaram que ao longo do

dia há variação de preferência de temperatura e no período da tarde a escolha dos ocupantes é por temperaturas neutras menores, talvez por considerar o período da tarde mais quente.

Wargocki e Wyon (2017) observaram que o aumento da temperatura afeta negativamente o desempenho dos alunos e ocupantes de escritórios. Em vários estudos analisados, os autores perceberam que quando havia aumento de temperatura, os resultados de testes de atenção, leitura e velocidade de respostas eram menores. Eles identificaram seis questões que envolvem o conforto térmico e podem afetar o desempenho, das seguintes formas:

- Redução da atenção em locais onde há desconforto térmico;
- Temperaturas elevadas ou variações rápidas de temperatura reduzem a motivação para exercer esforço, pois as respostas fisiológicas ao estresse térmico reduzem a excitação;
- Redução de destreza manual em condições de frio;
- Altas temperaturas podem causar dores de cabeça, devido ao aumento da concentração de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) no sangue, causando sonolência e dificuldades de raciocínio.

A umidade relativa é altamente dependente da temperatura do ar, principalmente quando trata-se de temperaturas mais elevadas. Em ambientes com maior umidade os indivíduos são mais sensíveis ao aumento de temperatura do que em uma localidade seca. (NICOL, 2004)

De acordo com a ASHRAE (2017), não são estabelecidos limites de umidade para o conforto térmico, porém uma baixa umidade pode estar associada a alguns sintomas da Síndrome do Edifício Doente, como pele e olhos secos, irritação nas membranas mucosas.

Em localidades com alta umidade, a remoção de calor por meio da evaporação é dificultada. Assim, uma boa ventilação pode auxiliar nas trocas térmicas (MISHRA; RAMGOPAL, 2015). Além disso, lugares com alta umidade contribuem para a proliferação de microrganismos, facilitando o desenvolvimento de doenças.

A velocidade do ar possui um papel importante para proporcionar o conforto térmico em um ambiente, pois permite a troca de calor entre o indivíduo e o ambiente através da convecção e evaporação (DE VECCHI; CANDIDO; LAMBERTS, 2013). Em climas quentes e úmidos, estudos demonstraram que há preferência por velocidade de ar maiores, que podem proporcionar a sensação de um ambiente mais fresco (MISHRA; RAMGOPAL, 2015). Candido et al. (2011) observaram que em climas quentes e úmidos a taxa de velocidade do ar

definida pelas normas internacionais ASHRAE 55 e ISO 7730, com variação de velocidade entre 0,05 e 0,4 m/s é inferior ao adequado do ponto de vista dos ocupantes. Se associadas a um intervalo de temperatura de 25 a 28° C, os usuários podem optar por velocidade igual ou superior a 0,9 m/s (DE VECCHI; CANDIDO; LAMBERTS, 2013).

A ventilação também é um dos fatores relacionados à SED. Fisk, Mirer e Mendell (2009) mostraram que à medida que a taxa de ventilação cai de 10 para 5 L/s por pessoa, há um aumento de 23% na prevalência de sintomas relacionados à SED, pois as taxas de ventilação estão vinculadas com a concentração de poluentes atmosféricos em ambientes internos.

Alguns autores relacionaram as taxas de ventilação com o desempenho de estudantes em ambientes escolares. Haverinen-Shaughnessy et al. (2015) verificaram que a redução da temperatura, e o aumento da taxa de ventilação poderiam estar associadas a resultados mais satisfatórios na aplicação de testes de matemática e leitura. E, Toyinbo et al. (2016) encontraram uma relação entre escolas que não atendiam as taxas de ventilação recomendadas de 6 L/pessoa com resultados mais baixos em testes de matemática.

Zomorodian, Tahsildoost e Hafezi (2016) afirmam que nas salas de aula a ventilação é determinante para a qualidade do ambiente e o conforto térmico. Segundo os autores a baixa taxa de ventilação geralmente é a responsável por temperatura e concentração de CO<sub>2</sub> elevadas.

### 2.3 Conforto acústico

*“O som é a sensação percebida pelos órgãos de audição quando as vibrações (ondas sonoras) alcançam o ouvido”* (BENWARD; SAKER, 2008, p. 14) e variam de acordo com a frequência e pressão (NAVAI; VEITCH, 2003).

A frequência representa o número vibrações (quando a pressão do ar aumenta, diminui e retorna a pressão normal) que ocorrem durante um determinado intervalo de tempo. A unidade de medida de frequência é denominada Hertz (Hz) –  $1 \text{ Hz} = 1 \text{ s}^{-1}$  – e a faixa audível de frequência do ouvido humano está entre 20 a 20.000 Hz (BENWARD; SAKER, 2008). De acordo com Frontczak e Wargocki (2011) a qualidade do som no ambiente está relacionada às propriedades físicas do som e também às propriedades físicas do ambiente.

O som possui quatro propriedades básicas: intensidade, altura, duração e timbre. A intensidade é a quantidade de energia existente em uma vibração. Sua unidade de medida é o  $W/m^2$ , indicando o fluxo de energia sonora que atravessa uma superfície (BISTAFA, 2011). Para níveis de pressões sonora é utilizada a unidade decibel (dB). Segundo Bistafa (2011) a pressão sonora é a medida mais importante quando refere-se à intensidade do som percebido pelo homem.

A altura corresponde a sensação auditiva pela qual os sons são ordenados na escala de frequência audível de sons graves (baixas frequências) a sons agudos (altas frequências). E a duração refere-se ao intervalo de tempo em que ocorre um ciclo completo da vibração (BISTAFA, 2011).

O timbre, por sua vez, é a característica própria de cada som que permite distinguir dois sons não idênticos com a mesma intensidade e mesma frequência. Está relacionado a adjetivos qualitativos, tais como aveludado ou brilhante (ASA, 2017). Por meio do timbre é possível distinguir dois instrumentos musicais distintos como, por exemplo, uma flauta e um oboé que executam a mesma nota musical na mesma escala, com a mesma intensidade e duração.

De acordo com Palma et al. (2009), o efeito do som sobre o indivíduo não depende apenas das características daquele, mas também da percepção do indivíduo. A decodificação e interpretação das ondas sonoras é chamado de processo auditivo.

Quando um som não é agradável ou compreendido pelo homem, ele é considerado um ruído. O ruído é um som incômodo, confuso, sem harmonia, que atrapalha as atividades desenvolvidas pelo homem (NUNES, RIBEIRO, 2008). Para Tiesler, Machnerb e Brokmann (2015), o ruído é o resultado de uma percepção acústica e um processo cognitivo que gera uma reação de estresse dependendo da intensidade do som. Com isso há aumento da pressão arterial e da frequência cardíaca.

Segundo os autores a existência de ruído interrompe a atenção em atividades cognitivas. Quanto maior for a duração do ruído, haverá maior desatenção e fadiga. Navai e Veitch (2003) complementam que os sons previsíveis, englobando sons contínuos, repetitivos ou regulares, caracterizados como necessários, são menos irritantes do que os sons imprevisíveis ou que não se pode controlar. Em um ambiente escolar, onde há necessidade de atenção, o ruído além de tornar-se incômodo reduz o desempenho dos alunos.

Segundo Pujol et al. (2013) a exposição prolongada a níveis elevados de ruído, gera distração, reduz a atenção, causa irritabilidade, gera distúrbios do sono, compromete a memória, leitura, causando prejuízos na aprendizagem e resolução de problemas. Em seu

estudo os autores identificaram uma relação linear exposição-efeito, entre a exposição de ruído no ambiente escolar e resultados de testes de língua francesa e de matemática prejudicados.

Stansfeld e Clark (2015) também concordam que o ruído causa perturbações, diminuindo o conforto no ambiente e causa aborrecimento, irritação, mal humor, cansaço, afeta a compreensão da leitura, prejudicando o desempenho dos alunos.

Dreossi e Momensohn-Santos (2005) explicam que o cansaço do estudante é gerado quando ele tem a necessidade de manter-se fixo no professor, por um longo período (cerca de quatro horas), apesar do ruído no ambiente. Isso acaba gerando desgaste e, conseqüentemente desatenção, o que prejudica a aprendizagem.

Stansfeld e Clark (2015) acrescentam que o ruído ambiental tem múltiplos efeitos na saúde das crianças; além de afetar o desenvolvimento cognitivo, ele pode aumentar a pressão arterial, gerar estresse, elevando os níveis de cortisol e catecolaminas (adrenalina e noradrenalina)<sup>2</sup>, aumentar a hiperatividade e, embora geralmente não atinja níveis extremos, pode causar perda auditiva. O ruído também está associado ao transtorno do déficit de atenção – TDAH (FORNS et al., 2016) e afeta a inteligibilidade de fala (RABELO et al., 2014).

É importante destacar que os efeitos do ruído no desempenho cognitivo das crianças não são uniformes. Forns et al. (2016) encontraram estudos que indicaram que a memória e resolução de problemas são mais prejudicadas pelo ruído do que a leitura.

Nas escolas as fontes de ruído podem ser divididas em três tipos: externa, gerada principalmente pelo tráfego de veículos, produzido pelo motor e atrito dos pneus no chão e estabelecimentos comerciais localizados nas proximidades; na própria escola, por exemplo, no pátio e áreas de lazer, cantina, cozinha, salas de música ou de educação física; e, interna, devido à conversa, movimento de alunos e arraste de carteiras, ventiladores, etc. (DREOSSI; MOMENSOHN-SANTOS, 2005).

Silva, Oliveira e Silva (2016) identificaram como principal fonte de ruído de fator externo, o tráfego rodoviário no entorno das escolas, sendo que as salas de aula mais próximas à rua apresentaram níveis de pressão sonora superiores àsquelas mais afastadas. Porém, o ruído mais incômodo identificado no estudo é proveniente da conversa de alunos dentro das próprias salas de aula. Quando a escola está em atividade, os níveis medidos dentro das salas de aula são maiores do que o ruído registrado fora da escola. Resultados semelhantes foram

---

<sup>2</sup> Em situações de estresse, para adaptação do indivíduo, o organismo libera cortisol e catecolaminas que atuam na função cardiovascular e metabólica. Quando esses hormônios são ativados repetidas vezes por longo período podem levar à doenças cardiovasculares (PEREIRA; RIBEIRO, 2012)

encontrados por Vilcekova et al. (2017) cuja principal fonte de desconforto encontrada foi a própria sala de aula, com arraste de carteiras.

A acústica da sala de aula interfere no aprendizado e inteligibilidade da fala. Sala e Rantala (2016) explicam que durante o aprendizado, principalmente por causa do sistema neurológico estar em desenvolvimento, as crianças precisam ouvir com nitidez a fala do professor. No estudo realizado por Rabelo et al. (2014) as salas de aula com menores níveis de pressão sonora e menor tempo de reverberação apresentaram melhores resultados nos testes de inteligibilidade de fala.

Tiesler, Machnerb e Brokmann (2015) afirmam que as melhores condições acústicas reduzem o ruído e o esforço da fala, diminuindo o estresse. Nas salas de aula devem ser analisados a capacidade de absorção, tempo de reverberação e isolamento acústico. Superfícies como paredes, pisos e janelas tem capacidade de refletir o som, assim, nas salas de aula, muitas vezes o som ouvido pelos alunos corresponde a reverberação e ruído de fundo e não proveniente diretamente da fala dos professores (PENG et al., 2015).

A Reverberação refere-se à capacidade de superfícies refletirem o som, dependendo do volume, forma e materiais de construção utilizados na sala. O tempo de reverberação comumente utilizado é o período pelo qual após cessada a fonte de emissão do ruído, ocorra redução do nível de som em 60 dB (SALA, RANTALA, 2016). O estudo realizado pelos autores demonstrou que a acústica da sala de aula foi inadequada para comunicação de fala. E, apenas um terço das salas de aula atendeu ao tempo de reverberação ideal de 0,5 a 0,6 segundos.

Os materiais utilizados na construção influenciam na acústica das salas. Por exemplo, materiais porosos são bons dissipadores de som, pois quando submetidos à ação de uma onda, estes vibram e absorvem parte da energia convertendo-a em calor (FERREIRA, 2006).

John, Thampuran e Premlet (2016) compararam a qualidade acústica de salas de aula antigas, construídas de laterita cujas paredes foram pintadas com cal, com salas de aula modernas, construídas de tijolos revestidas de cimento e verificaram que o tempo de reverberação era menor nas salas antigas, pois permitia maior absorção por parte dos materiais, principalmente o telhado de madeira e possuía maior percentual de abertura das janelas. Porém, as salas antigas demonstram capacidade de isolamento acústico menor, especialmente porque as paredes entre as salas de aula antigas não eram construídas até o teto, prejudicando as aulas das salas vizinhas. Além disso, quando os alunos foram questionados, a principal fonte de ruído apontada foi o tráfego e em segundo lugar o barulho proveniente das

salas de aula adjacentes, apresentando resultado contrário aos de Silva, Oliveira e Silva (2016) e Vilcekova et al. (2017).

O isolamento acústico refere-se à capacidade de uma determinada estrutura reduzir o alcance de um som (FERREIRA, 2006). Um bom isolamento acústico contribui pra melhores condições em ambientes de trabalho e escolares. Secchi et al. (2017) mostraram que após melhorias no isolamento acústico das fachadas escolares com substituição das janelas os níveis de ruído interno provenientes do tráfego foi reduzido, com melhoria média de 11,3 dB.

## 2.4 Conforto Visual

Quando a luz reflete nos objetos, estes se fazem visíveis.” *A cada fração de segundo, a visão de uma pessoa reconhece milhões de diferentes pontos com características de luz e cor*” (SCHMID, 2005, p. 272), sendo capaz de distinguir materiais, cores e formas.

A luz é uma forma de energia eletromagnética que possui movimento ondulatório, mas também pode interagir com a matéria na forma de partícula. É produzida por fonte natural, o Sol, que possibilita a existência de vida na Terra, ou artificial, como as lâmpadas incandescentes, fluorescentes e LED (BAGNATO; PRATAVIEIRA, 2015).

Não há limites precisos para a faixa espectral da radiação visível, uma vez que eles dependem da quantidade de energia radiante que atinge a retina e a sensibilidade do observador. O limite inferior é geralmente entre 360 e 400 nm e o limite superior entre 760 e 830 nm ( $1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$ ). Grosso modo, essa fração do espectro eletromagnético compreende cores que vão do violeta (~400 nm) ao vermelho (~800 nm) (SLINEY, 2007).

Os diferentes espectros de luz influenciam as sensações humanas e podem afetar o humor. Por exemplo, cores quentes como o vermelho, amarelo e laranja estão associadas ao calor, energia, agitação. Por outro lado, cores frias como azul e verde, associam-se ao frescor e tranquilidade (NUNES; NOGUEIRA; RICCI, 2016).

Para Schmid (2005), a visão é o sentido mais aperfeiçoado do ser humano, com capacidade de receber a maior quantidade de estímulos. A luz, bem como a distinção das cores e objetos, é captada e decodificada através do sistema óptico humano e conduzida até o cérebro, através de impulsos nervosos.

A luz que penetra nos olhos humanos, além de possibilitar a visão, influencia na saúde e bem-estar. Por isso, uma iluminação adequada é imprescindível para o conforto e

desempenho, principalmente em ambientes escolares, onde é necessária boa iluminação para leitura e escrita. Através dela que os ocupantes do ambiente tem a percepção visual dos objetos e espaços (DALVITE et al., 2007).

De acordo com Lamberts, Dutra e Pereira (2014), o conforto visual consiste nas condições ambientais que permitem aos usuários desenvolver suas atividades com a melhor precisão e menor esforço visual possível. Segundo Schmid (2005), o conforto visual pode ser obtido através do ajuste dos níveis de brilho no ambiente. Para Frontczak e Wargocki (2011), o conforto visual é atingido quando o ambiente possui intensidade de luz suficiente para o trabalho a ser desenvolvido, distribuição espacial, brilho, cor e taxa de cintilação adequadas.

Lamberts, Dutra e Pereira (2014) consideram três fatores fundamentais para o conforto visual: o nível de iluminação, o contraste e o ofuscamento. O nível de iluminação refere-se a quantidade de luz existente no ambiente, sendo importante utilizar a iluminância recomendada pela NBR ISO 8995-1/2013, que estabelece o nível de iluminação mínimo com relação a atividade visual executada.

O contraste pode ser definido como a relação entre o brilho de um determinado objeto e a incidência de luz em seu entorno. Schmid (2005, p.285) explica que *“o brilho depende da refletividade da superfície e do nível de iluminação sobre ela. Se a superfície for negra, o brilho será nulo, mesmo sob alto nível de iluminação. Se a superfície for branca, o brilho será máximo.”*

Quanto maior a iluminação do ambiente melhor o contraste, porém há o limite de ofuscamento. O ofuscamento ocorre quando há grande incidência de luz a uma alta velocidade e/ou devido a um grande contraste, na qual o sistema ocular não consegue adaptar-se, causando desconforto e até mesmo perda da visibilidade (LAMBERTS; DUTRA; PEREIRA, 2014). Ressalta-se que o contraste e o ofuscamento não serão abordados neste trabalho, porém tais informações servem de subsídio para possíveis trabalhos futuros.

A incidência direta sobre o usuário também gera desconforto visual. Hwang e Kim (2011) realizaram um estudo sobre conforto visual em escritórios de um edifício verde e perceberam que o posicionamento do escritório, direcionamento das janelas e estações do ano influenciam na incidência de luz natural e conseqüentemente no conforto visual. Dependendo da orientação das fachadas, há distribuição de luz uniforme ou não.

Os autores notaram que quando havia penetração direta da luz solar sobre as mesas de trabalho os ocupantes sentiam-se mais irritados, por causa de brilho excessivo ou sombreamento em dias nublados e chuvosos. Problema semelhante foi encontrado por Michael e Heracleous (2017) em escolas no sul da Europa. A incidência de luz solar direta

causava brilho devido a contrastes excessivos no campo visual dos alunos e indiretamente ocorria o reflexo sobre o quadro.

Os autores explicam que o brilho é causado por excesso de luz, ou contraste em um campo de visão específico, gerando uma névoa, o que reduz a visibilidade, causando desconforto ou até mesmo uma sensação dolorosa. Dessa forma, muitas escolas optam por utilizar a iluminação artificial durante o dia e adotam o uso de cortinas para controlar os problemas de brilho e reflexo.

O problema é que a iluminação artificial não possui a qualidade da luz natural, com um espectro de cores equilibrado e comprimento de onda adequado, prejudicando assim a relação entre os efeitos da luz natural nos processos fisiológicos, pois é contrário ao ciclo natural do homem (MARTAU, 2009).

Ressalta-se que a iluminação não induz apenas a respostas visuais, ela afeta o desempenho, o humor, a atenção, o ritmo circadiano e processos fisiológicos, como a termorregulação (BELLIA; PEDACE; BARBATO, 2013; KULVE et al., 2016). A luz suprime a produção de melatonina, aumenta a frequência cardíaca e a temperatura corporal, instigando a produção de cortisol e estimulando respostas neurofisiológicas, mantendo o indivíduo alerta (LUCAS et.al., 2014).

Kulve et al. (2016) explicam que a luz durante a noite pode reduzir a secreção de melatonina, retarda o declínio natural na temperatura corporal central – TCT. Durante o dia, a iluminação causa um declínio mais rápido nos níveis de melatonina, permitindo assim um aumento mais rápido na TCT.

Um estudo experimental em câmaras climáticas realizado por Tamura e Kurger (2016) demonstrou que utilizar unicamente iluminação artificial pode gerar ataques de estresse para os indivíduos que possuem predisposição. Isso porque a luz artificial não possui capacidade de produzir as substâncias que neutralizam os hormônios estressores.

O tempo, a duração, a intensidade e o ajuste espectral da luz podem afetar também a termofisiologia. Kulve et al. (2016) relacionam a iluminação com conforto térmico, pois a cor da luz pode afetar a percepção de temperatura do ambiente.

## 2.5 Material Particulado

O material particulado (PM, do inglês *particulate matter*) é uma mistura de partículas sólidas e líquidas suspensas no ar, podendo ser formado por substâncias orgânicas e/ou inorgânicas. Como podem permanecer em suspensão por muito tempo e propagar-se por longas distâncias é um dos principais poluentes atmosféricos (CANÇADO, 2006; KIM, KABIR, KABIR, 2015).

Sua composição e grau de toxicidade dependem das fontes de emissão, que podem ser natural, tais como: poeira mineral, atividades vulcânicas, spray marinho, microrganismos, pólen, esporos de fungos ou antropogênica, por exemplo, o uso de combustíveis fósseis, atividades industriais diversas, atividades de mineração, erosão proveniente do uso de terras cultiváveis e utilização de estradas não pavimentadas (SEINFELD; PANDIS, 2006). Nas salas de aula, Ferreira e Cardoso (2013) e Vilcekova et al, (2017) identificaram como fontes de emissão de material particulado a movimentação dos alunos, presença de tapetes, prateleiras, brinquedos, uso de produtos de limpeza, quadro de giz, atividades desenvolvidas com cola, madeira e/ou tinta.

Os efeitos sobre a saúde humana são decorrentes da granulometria, composição química e concentração do poluente (NASCIMENTO et al., 2017). A Resolução CONAMA 491/2018, que revogou a Resolução CONAMA 03/1990 e dispõe sobre padrões de qualidade do ar, define poluente atmosférico como:

qualquer forma de matéria em quantidade, concentração, tempo ou outras características, que tornem ou possam tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, inconveniente ao bem-estar público, danoso aos materiais, à fauna e flora ou prejudicial à segurança, ao uso e gozo da propriedade ou às atividades normais da comunidade;

Dependendo de sua formação podem ser classificados em poluentes primários ou secundários. Poluentes primários são oriundos de emissões diretas, como a fuligem lançada do escapamento de veículos; e, secundários aqueles provenientes de reações químicas entre os poluentes primários e compostos que se encontram na atmosfera.

Normalmente o PM é classificado de acordo com o tamanho de suas partículas sendo partículas ultrafinas, com diâmetro aerodinâmico inferior ou igual a 0,1  $\mu\text{m}$ ; partículas finas, com a 2,5  $\mu\text{m}$ , conhecida como  $\text{PM}_{2,5}$ ; ou, grossas, com diâmetro entre 2,5 e 10  $\mu\text{m}$ , conhecido como  $\text{PM}_{10}$  (WHO, 2006).

À medida que o tamanho das partículas é reduzido aumentam os riscos para a saúde. Ao ser inalada, as partículas maiores que 10  $\mu\text{m}$ , também chamadas de partículas sedimentáveis, ficam retidas nas narinas, provocando irritação e espirros. Já as partículas menores que 10  $\mu\text{m}$ , têm maior impacto na saúde humana, podendo atingir as vias aéreas inferiores. Quando atingem os pulmões, o aparelho mucociliar atua como mecanismo de defesa, para remover essas partículas (CANÇADO, 2006).

Via de regra, quanto menor for uma partícula, mais profundamente atingirá o trato respiratório e piores serão seus efeitos. O material particulado de diâmetro entre 5 a 10  $\mu\text{m}$  são depositadas na traqueia e brônquios, já as partículas entre 1 a 5  $\mu\text{m}$  são depositadas nos bronquíolos e alvéolos pulmonares, podendo penetrar no pulmão ou escapar para a corrente sanguínea (KIM, KABIR, KABIR, 2015).

O material particulado está relacionado principalmente às doenças respiratórias como asma, bronquite, rinite, sendo mais comum em crianças e adolescentes, pois aspiram um volume de ar maior por peso corporal em comparação com os adultos, bem como seu sistema respiratório ainda está em formação (CESAR; NASCIMENTO; CARVALHO, 2013; FERREIRA; CARDOSO, 2013).

Zwozdziak et al. (2016) observaram por meio da espirometria que a exposição a altas concentrações de PM reduz a função pulmonar em alunos saudáveis. Resultados semelhantes já haviam sido verificados por Castro et al. (2009) cuja emissão de material particulado grosso ( $\text{PM}_{10}$ ,  $d > 10 \mu\text{m}$ ), mesmo dentro dos limites estabelecidos pela legislação brasileira, foi associado a redução da função respiratória em estudantes. O estudo de Castro et al. (2009) mostrou que com o aumento de 10  $\mu\text{m}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{10}$ , houve redução média de 0,34 L/min da função respiratória de crianças com idade média de 9 anos, com tempo de defasagem de 3 dias. Zwozdziak et al. (2016) notaram que o  $\text{PM}_{10}$  é melhor associado a efeitos agudos, como aumento de sibilância, tosse e expectoração, absenteísmo, aumento do número de atendimentos hospitalares (ARBEX et al., 2012), apresentando maior efeito em comparação com  $\text{PM}_{2,5}$ .

Alguns estudos brasileiros associaram as concentrações de PM com o número de atendimentos e internações hospitalares em crianças, mostrando que em caso de contato direto com o PM há predisposição para ocorrência de sintomas respiratórios em curto prazo. Com tempo de defasagem menor que uma semana, César, Nascimento e Carvalho (2013), César et al. (2016) e Nascimento et al. (2017) associaram o aumento na concentração de partículas finas ( $\text{PM}_{2,5}$ ) com o aumento de atendimentos hospitalares por doenças respiratórias. Já

Nicolussi et al. (2014) observaram que a prevalência de asma e rinite é maior nas áreas com maior concentração de poluentes provenientes do tráfego de veículos.

Em ambientes escolares Requia et al. (2017) identificaram o tráfego de veículos nos horários de início e final das aulas como principal fonte externa de emissão de PM. Porém, a fração de aspiração de partículas finas foi mais alta durante a exposição interna.

Ocorre que muitas vezes o risco de exposição *indoor* é maior do que ao ar livre, devido à concentração de poluentes e o tempo em que o indivíduo fica exposto. Segundo Ferreira e Cardoso (2013), os níveis de poluição *indoor* podem ser duas a cinco vezes superiores do que em locais abertos. Ademais, o ar no ambiente interno corresponde a uma mistura de compostos oriundos do ar externo e emissões de fontes internas, como por exemplo, desgaste dos materiais de construção utilizados no revestimento e mobiliário, que podem sofrer reações, resultando em novos compostos (BLUYSSSEN, 2017).

Wierzbicka et al. (2015) compararam a exposição interna ao PM em sete locais, sendo um apartamento, duas casas, duas escolas, um supermercado e um restaurante. Nesse estudo observaram que as concentrações de partículas em residências e escolas foram maiores durante o tempo de ocupação, mostrando a importância de avaliação da qualidade do ar nesses ambientes. Em ambientes residenciais há maior dificuldade em reduzir a concentração de partículas e, portanto, um sistema de ventilação adequado é muito importante para remoção do PM. Além disso, a atividade desenvolvida e o tempo de permanência do indivíduo são fatores a serem considerados para os efeitos à saúde humana.

Além de doenças respiratórias, as habilidades neuropsicológicas das crianças podem ser afetadas devido à exposição de poluentes atmosféricos como o PM. Saenen et al. (2016) realizaram estudos de tais habilidades, mostrando que o aumento de PM referente à exposição aguda implicava em resultados inferiores em testes de desempenho, indicando que a poluição atmosférica também afeta o sistema nervoso central.

### 3 OBJETO DE ESTUDO

#### 3.1 Área de Estudo

O município de Itajubá está localizado no Sul de Minas Gerais, nas coordenadas geográficas Latitude 22°25'25" S e Longitude 45°27'37" W, conforme apresentado na Figura 2. Possui área territorial de 294,835 km<sup>2</sup>, população estimada de 96.389 habitantes para 2018 e densidade demográfica de 307,49 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2018).

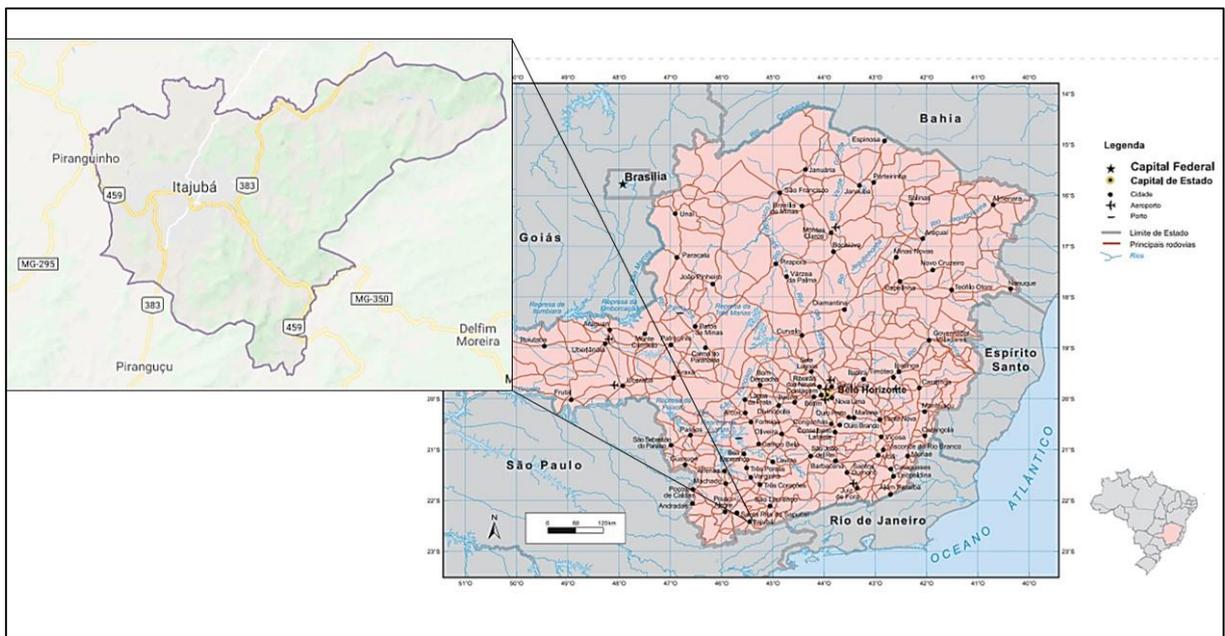


Figura 2: Localização de Itajubá-MG  
Fonte: Adaptado IBGE (2018)

O município está inserido no Bioma Mata Atlântica, com predominância de Floresta Estacional Semidecidual, na bacia hidrográfica do Alto Sapucaí, e relevo caracterizado como planície de inundação (ZEE-MG, 2018). Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, Itajubá é caracterizada como clima temperado úmido com inverno seco e verão quente - Cwa, com temperatura média anual de 19,5 °C, e pluviosidade média anual de 1548 mm (REBOITA et al., 2015). Tem como o mês mais quente fevereiro, e o mês mais frio julho (CLIMATE-DATA, 2018) e está inserida na Zona Bioclimática 2 (NBR 15.220/2005).

Itajubá ocupa o 1º lugar em população residente na sua microrregião, composta por 13 municípios (Brasópolis, Consolação, Cristina, Delfim Moreira, Dom Viçoso, Itajubá, Maria da Fé, Marmelópolis, Paraisópolis, Piranguçu, Piranguinho, Virgínia e Wenceslau Braz) e o 33º lugar no estado de Minas Gerais, que possui 853 municípios (IBGE, 2018).

O PIB per capita no ano de 2015 foi R\$ 28.270,24 (IBGE, 2017). O setor de serviços e comércio tem participação de 47% no PIB, seguido pelo setor da indústria e construção que representa 40%. As atividades industriais que mais se destacam são: fabricação de equipamento bélico pesado, metalurgia do cobre, fabricação de motocicletas, fabricação de equipamentos de telecomunicações e fabricação de aeronaves (SEBRAE, 2014).

### **3.2 Ensino**

Itajubá possui 39 estabelecimentos de educação infantil do tipo pré-escola, 50 de ensino fundamental e 19 estabelecimentos de ensino médio. Ressalta-se que normalmente a mesma instituição oferece mais de uma etapa de ensino, tais como pré-escola e fundamental, ou fundamental e ensino médio (INEP, 2016).

De acordo com o última sinopse realizada pelo Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira – INEP, no ano de 2016 foram realizadas 2.251 matrículas na pré-escola, 5.939 matrículas nos anos iniciais do ensino fundamental, 4.792 matrículas nos anos finais do ensino fundamental, 3.570 matrículas no ensino médio e 1872 matrículas na Educação de Jovens e Adultos – EJA em Itajubá.

Em 2005 o INEP estabeleceu metas bienais de qualidade a serem cumpridas pelos municípios e estados, para que o Brasil alcance o patamar educacional da média dos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico – OCDE até 2022. No último Ideb (INEP, 2016) os alunos obtiveram nota média de 6,5 para os anos iniciais do ensino fundamental, atendendo a meta de 6,0 pontos e 4,8 para os anos finais do ensino fundamental, não conseguindo atingir a meta projetada de 5,0 pontos.

Para este estudo, foram selecionadas quatro escolas públicas entre as instituições de ensino do município, sendo duas da rede municipal, que atendem à pré-escola e os anos iniciais do ensino fundamental, e duas da rede estadual, que atendem aos anos finais do ensino fundamental e ensino médio, com turmas nos períodos matutino e vespertino.

A Figura 3 ilustra a localização das quatro escolas objeto do estudo.



Figura 3: Localização escolas objeto de estudo  
Fonte: Adaptado Google Earth (2018)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo consiste de uma pesquisa descritiva para avaliar o conforto ambiental nas salas de aula. Segundo Gil (2008, p. 28), a pesquisa descritiva “*tem como objetivo primordial a descrição das características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis*”. Nesse tipo de pesquisa, ocorre a observação e análise dos fatos sem interferência do pesquisador.

O procedimento adotado foi a coleta de informações pertinentes ao problema proposto com vistas a realizar uma análise quantitativa dos dados coletados. O levantamento ocorreu em duas etapas: diagnóstico e medições. Através do diagnóstico foram analisados dados qualitativos que podem influenciar no resultado da pesquisa tais como: características do entorno, tipo de iluminação, tipo de ventilação utilizada nas salas de aula, etc. As medições consistiram da coleta de dados contínuos em ambientes internos por equipamentos automatizados para avaliar fatores que interferem no conforto ambiental: nível de pressão sonora - NPS para o conforto acústico; temperatura e umidade relativa, para o conforto térmico; nível de iluminância, para conforto visual; e, concentração de material particulado - PM, para a qualidade do ar.

Foram selecionadas 4 (quatro) instituições de ensino da rede pública localizadas no município de Itajubá/MG, como indicado na Figura 3. O primeiro critério para definição das escolas foi a nota obtida no último Índice de Desenvolvimento de Educação Básica - Ideb, realizado em 2015. Optando assim, por selecionar as escolas que obtiveram as notas mais altas e mais baixas. O Ideb é um indicador de qualidade educacional que une o desempenho na Prova Brasil (exame padronizado realizado pelos estudantes dos anos finais do ensino fundamental e médio) com o rendimento escolar (proporção de alunos aprovados) (INEP, 2016). O segundo critério foi a disponibilidade da instituição de ensino para desenvolvimento do presente estudo, com devida autorização dos responsáveis pela instituição.

A Figura 4 mostra o resumo das atividades desta dissertação.

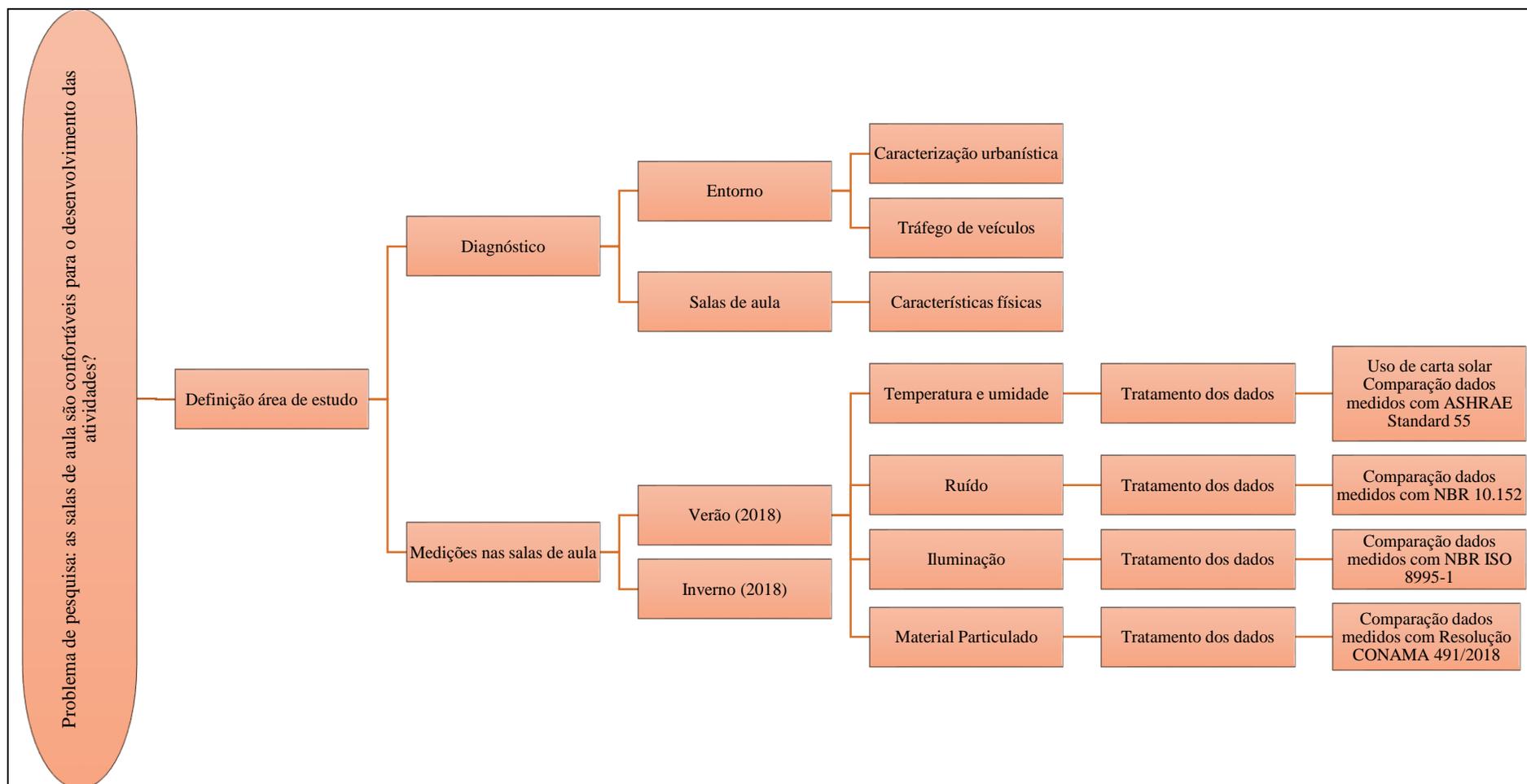


Figura 4: Esquema das etapas de trabalho  
Fonte: adaptado Sant'Anna (2015)

## 4.1 Diagnóstico

Foi realizado um mapeamento dos principais usos do entorno, utilizando o zoneamento urbano do município, imagens de satélite e visitas a campo com registro de material fotográfico, a fim de identificar os principais usos e ocupação do solo, bem como possíveis fontes de poluição do ar e sonora próximas às escolas.

Quanto ao diagnóstico interno das salas de aula, alguns aspectos físicos são importantes para complementar a discussão relacionada às medições. Da mesma forma que Kalimeri et al. (2016) e Vilckova et al. (2017), um diagnóstico foi realizado por meio de observação. Além de definir a estrutura física através do tamanho das salas de aula (m<sup>2</sup>), tipo de ventilação, cor das paredes, tipo de piso, etc., observou-se também alguns hábitos durante as aulas. Por exemplo, se as portas e janelas permanecem fechadas, se há uso de ventiladores e qual tipo de iluminação é utilizada, para entender o comportamento dentro das salas de aula.

O Apêndice A mostra o modelo da planilha de campo usada para coleta dessas informações.

### 4.1.1 Tráfego de veículos

Como em diversos estudos, o tráfego de veículos está associado às fontes de poluição do ar e sonora e, pode impactar no conforto ambiental das salas de aula (FORNS et al., 2016; NUNES et al. 2015; REQUIA et al., 2017; SILVA; OLIVEIRA; SILVA, 2016), foi realizada contagem manual de veículos juntamente com medição de ruído externa nas vias adjacentes às escolas analisadas.

O tráfego de veículos foi contabilizado pela contagem volumétrica manual, através de fichas como a indicada na Figura 5. Através dessa ficha, foram coletas as seguintes informações: i) número de veículos que passaram pelas vias de acesso à escola durante o período da contagem; ii) composição da frota (carro, ônibus, caminhão) que trafegam nas vias de acesso à escola. O pesquisador contabilizou o número e tipo de veículo por um intervalo de tempo de 30min, em ambos os sentidos da via, durante o horário de funcionamento das escolas (DNIT, 2006). As Figuras 6 a 8 mostram os pontos em que ocorreu a contagem de



Onde “Li” corresponde ao nível de pressão sonora em dB(A), lido em resposta rápida, a cada 15 segundos e “n” é o número total de leituras.

Esses valores foram comparados com NBR 10.151/2000, cujo nível de ruído diurno para ambientes externos, em área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas não deve exceder 50 dB(A). Os resultados serviram para complementar as medições realizadas nas salas de aula.



Figura 6: Localização e entorno E2



Figura 7: Localização e entorno E3

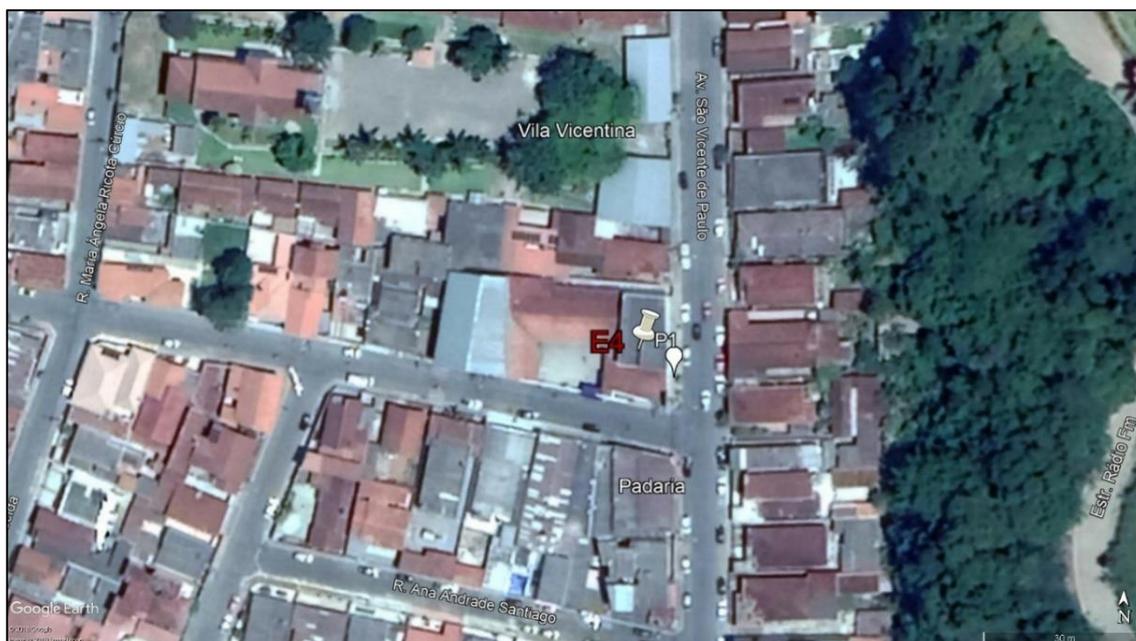


Figura 8: Localização e entorno E4

## 4.2 Conforto térmico

Para coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar em sala de aula utilizou-se, na campanha de verão, o Termo-Higrômetro Digital Portátil, Modelo: Instrutherm HTR-170 acoplado a um *data logger*. Esse modelo tem escala de temperatura de 0 a 50°C, com precisão de  $\pm 0,8^\circ\text{C}$ , e escala de umidade relativa do ar 0 a 95% UR, com precisão de  $\pm 3\%$ . Na campanha de inverno, foi utilizado o Termo-Higrômetro Digital Portátil, Modelo: Instrutherm HT-70, com escala de temperatura de -40 a 60°C, precisão de  $\pm 1,0^\circ\text{C}$  e escala de umidade 0 a 100%, com precisão de  $\pm 3\%$ , durante a campanha de inverno. A troca de equipamentos ocorreu por critérios técnicos e os instrumentos não apresentaram diferenças significativas entre as medidas realizadas por ambos. Ressalta-se que os equipamentos foram calibrados previamente e o manuseio dos instrumentos de medição seguiu seus respectivos manuais, disponibilizados pelo fabricante.

O equipamento foi colocado na sala de aula, à altura do tronco dos alunos quando estão na posição de sentados, a 0,60m do chão, como especificado na ISO 7.726/1998 (LAMBERTS et al., 2011). Para não interferir nas atividades diárias, posicionou-se o equipamento no canto da sala, próximo à fachada com pouca insolação, conforme recomendação de Barbosa, Weiller e Lamberts (2008), quando não é possível posicionar o

equipamento no centro do ambiente. Procurou-se manter o mesmo layout e condições do ambiente e os ocupantes foram orientados a agir normalmente. Os dados de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram coletados a cada minuto, durante todo o período em que o equipamento permaneceu na sala e a análise de dados ocorreu diariamente.

Para avaliação do conforto térmico utilizou-se o método gráfico da norma ASHRAE Standard 55/2017, através do Center for Built Environment – CBE (2019). Para avaliar o conforto térmico, são utilizadas as variáveis ambientais: i) temperatura do ar; ii) temperatura média radiante; iii) velocidade do ar; iv) umidade do ar e, as variáveis pessoais: i) atividade metabólica; ii) isolamento de roupas. Como não foi possível definir com precisão a temperatura média radiante, pois não foi utilizado termômetro de globo e, em ambientes fechados normalmente a velocidade do ar é próxima a 0 m/s, adotou-se a temperatura média radiante igual a temperatura medida, como ocorre nos casos em que a velocidade do ar é nula, como identificado por Sant’Anna (2015).

Para estabelecer a zona de conforto térmico, a taxa metabólica utilizada foi de 1,0 met, para atividades escrita. O isolamento de roupas foi estimado com base em observação do vestuário dos alunos, que normalmente utilizam uniforme. No período de verão foi adotado 0,57 clo (combinação de calça + camiseta de manga curta + tênis) e no inverno 0,96 clo (combinação de calça + jaqueta + camiseta de manga longa).

Com relação ao conforto térmico, também foi analisada a insolação das fachadas, utilizando o Analysis SOL-AR, software gráfico que permite a obtenção da carta solar da latitude informada permitindo identificar data e horário em que as fachadas recebem luz solar (LABEEE, 2019). Foi utilizada a carta solar 22° Sul.

### 4.3 Ruído

Mediu-se o nível de pressão sonora em dB(A) utilizando o medidor de nível sonoro digital Instrutherm modelo DEC-490, em conformidade com a norma IEC 61672-1 Classe 2, com função *datalogger*, nível de escala de 30 a 130 dB e precisão de 1,4 dB. O equipamento foi calibrado previamente e seu manuseio seguiu o manual disponibilizado pelo fabricante.

O equipamento foi colocado no plano de trabalho à altura dos alunos na posição de sentados. Para não interferir nas atividades diárias, posicionou-se o equipamento no canto da sala, com o cuidado de deixar uma distância mínima das paredes, como estabelecido na NBR

10.151/2000. Procurou-se manter o mesmo layout e condições do ambiente. Os usuários foram orientados para utilização normal do ambiente, ou seja, uso de janelas abertas ou fechadas, uso de ventilador ou não, como o costume dos ocupantes.

O nível de pressão sonora foi coletado a cada minuto, durante todo o período em que o equipamento permaneceu na sala. Não foram realizadas medições externas concomitantemente, porém foram coletados dados mesmo quando as salas encontravam-se desocupadas, no período do almoço.

Como os níveis de ruído variam com o tempo, para melhor análise, calculou-se o nível sonoro equivalente -  $L_{eq}$ , conforme NBR 10.151/2000, apresentado na Equação 1. Também foram calculados o  $L_{10}$  e  $L_{90}$ . O  $L_{10}$  é nível sonoro que foi excedido em 10% do tempo de medição e o  $L_{90}$  o nível sonoro que foi excedido em 90% do tempo de medição.

Os dados medidos foram comparados com o nível de conforto estabelecido pela NBR 10.152/2017 - Níveis de ruído para conforto acústico, que devem estar entre 40 a 50 dB(A) nas salas de aula, para serem considerados adequadas para o respectivo uso.

#### 4.4 Iluminação

Para coleta de dados de iluminância utilizou-se um Termo-Higro-Anemômetro-Luxímetro Digital, Instrutherm Modelo LM- 8000, com escala de iluminância de 0 a 20.000 lux e precisão  $\pm 5\%$ .

A área de trabalho considerada foi a sala de aula em sua totalidade. Para obter o nível de iluminância média, o Luxímetro foi posicionado a uma distância de 0,75 m do piso em alguns pontos da sala, em atendimento a NBR 15.215-4. Para definição da quantidade de pontos foi utilizada a Equação 2 (NBR 15.215-4):

$$K = \frac{cl}{H_m \times (C+L)} \quad (2)$$

Onde “l” é a largura do ambiente, “c” é o comprimento do ambiente e “Hm” é a distância vertical.

A Tabela 1 mostra o número de pontos a serem medidos de acordo com o valor de K.

Tabela 1: Quantidade mínima de pontos a serem medidos de acordo com a NBR 15.215-4

K	Número de pontos
$K < 1$	9
$1 \leq K < 2$	16
$2 \leq K < 3$	25
$K \geq 3$	36

Fonte: NBR 15215-4

O manuseio do equipamento seguiu o manual do fabricante. E alguns cuidados durante a coleta de dados foram adotados: i) o Luxímetro foi nivelado e mantido paralelo à superfície de avaliação para evitar diferenças nas medições; ii) cinco minutos antes da primeira leitura, a fotocélula do Luxímetro foi exposta à luz, a fim de evitar sua exposição a fontes luminosas muito intensas, por exemplo, raios solares; iii) foram mantidos as condições do ambiente e layout das salas de aula; iv) procurou-se evitar sombreamento sobre a fotocélula.

Os dados foram coletados com as salas desocupadas e as luminárias acesas, às 7 h e 17 h. Baseado no tamanho das salas de aula, 16 pontos foram medidos. As salas foram divididas em quadrantes e os dados coletados nos pontos de intersecção dos quadrantes. Após a coleta de dados utilizou-se a Equação 3 para definir a iluminância média de acordo com a NBR 15.215-4

$$E = \frac{E_1 + E_2 + \dots + E_n}{n} \quad (3)$$

Para complementar a análise, com o programa Relux®, software de simulação luz artificial e natural (RELUX, 2018) fez-se uma simulação nas salas de aula, nos solstícios de inverno e verão, em três horários distintos: 7h30min, 13h30min e 16h30min. Nessa simulação procurou-se reproduzir as condições observadas nas escolas, tais como: a cor da parede, distribuição das luminárias nas salas, uso de luminárias sem controle de ofuscamento, uso de lâmpadas fluorescentes, uso de vidro fosco e/ou escuro nas janelas, para representar as cortinas e distribuição das mesas dos alunos e professor. Através das simulações foram obtidos gráficos do tipo Isolinhas.

#### 4.5 Material Particulado

Para coleta de dados de material particulado *indoor* utilizou-se o equipamento DC1100 *Pro Air Quality Monitor*, Marca Dylos, com capacidade de detectar partículas iguais ou superior a 0,5µm até 2,5 µm.

O DC1100 é um equipamento de baixo custo e resposta rápida se comparado com os medidores gravimétricos. Este é composto por um ventilador que atrai as partículas, as mesmas passam por um feixe de laser e são contadas em partículas grandes ( $\geq 2,5 \mu\text{m}$ ) e pequenas ( $\geq 0,5 \mu\text{m}$ ) (PRABAKAR; MOHAN; RAVISANKAR, 2015). Sua unidade de medida é dada em número de partículas por volume de ar.

O equipamento foi colocado no plano de trabalho a altura dos alunos na posição de sentados. Para não interferir nas atividades diárias, posicionou-se o equipamento no canto da sala, com o cuidado de deixar uma distância mínima das paredes. Os dados foram coletados a cada minuto durante todo o período em que o equipamento permaneceu na sala, das 7 h às 17 h.

Para analisar o  $\text{PM}_{2,5}$  subtraiu-se as partículas grandes das partículas finas, posteriormente os valores obtidos foram convertidos para unidades de massa por volume de ar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), através da Equação 4, como no estudo realizado por Dacunto et al. (2015) que utilizou o SidePak AM-510 (um medidor de aerossóis, com sensor a laser e capacidade de detecção de partículas de 0,1 a 10 µm), para desenvolver uma curva de calibração para o Dylos. Ressalta-se que no estudo foram medidas partículas específicas, por exemplo, fumaça de cigarro. Sendo assim, a aplicação do mesmo para outras substâncias pode ser menos preciso.

$$y (\mu\text{g}/\text{m}^3) = 3,91 * 10^{-6} * x^{1,803} \quad (4)$$

Onde “x” representa a quantidade de partículas em 0,01 ft<sup>3</sup> medidas no Dylos.

#### 4.6 Amostragem e Coleta de dados

Selecionaram-se duas salas de aula em cada uma das escolas, com exceção da escola J23, na qual foi possível utilizar somente uma sala de aula. A coleta de dados foi realizada durante o verão (dias 08/02-16/03) e o inverno (dias 31/07-14/08) de 2018. O Quadro 1 indica as datas das coletas nas escolas correspondentes, as Figuras 9 a 12 mostram a posição dos equipamentos nas salas de aula, indicados pela letra **P**, bem como os pontos de medida de iluminância (P1 a P16).

As medidas foram realizadas entre às 7 h e 17 h, abrangendo as aulas dos períodos matutino e vespertino. Mesmo no intervalo do almoço, quando as salas estão desocupadas, houve coleta de dados, exceto para os dados de iluminância que foram coletados somente no início e/ou término do período de aula.

Ressalta-se que os equipamentos estavam devidamente calibrados e os mesmos permaneceram ligados cerca de 10 minutos antes da coleta de dados para estabilização.

Quadro 1: Datas de coleta de dados campanhas Verão e Inverno 2018

Dados	Verão				Inverno			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<b>TUR</b>	08/02 09/02	06/03 15/03	27/02	01/03	31/07 01/08	13/08 14/08	09/08	06/08 07/08
<b>NPS</b>	08/02 09/02	06/03 15/03	27/02	28/02 01/03	31/02 01/08	14/08	09/08	07/08
<b>LUX</b>	09/02	06/03	27/02	28/02 01/03	31/07	14/08	09/08	07/08
<b>PM</b>	08/02	06/03 08/03	27/02	28/02 01/03	31/07 01/08	13/08 14/08	09/08	06/08

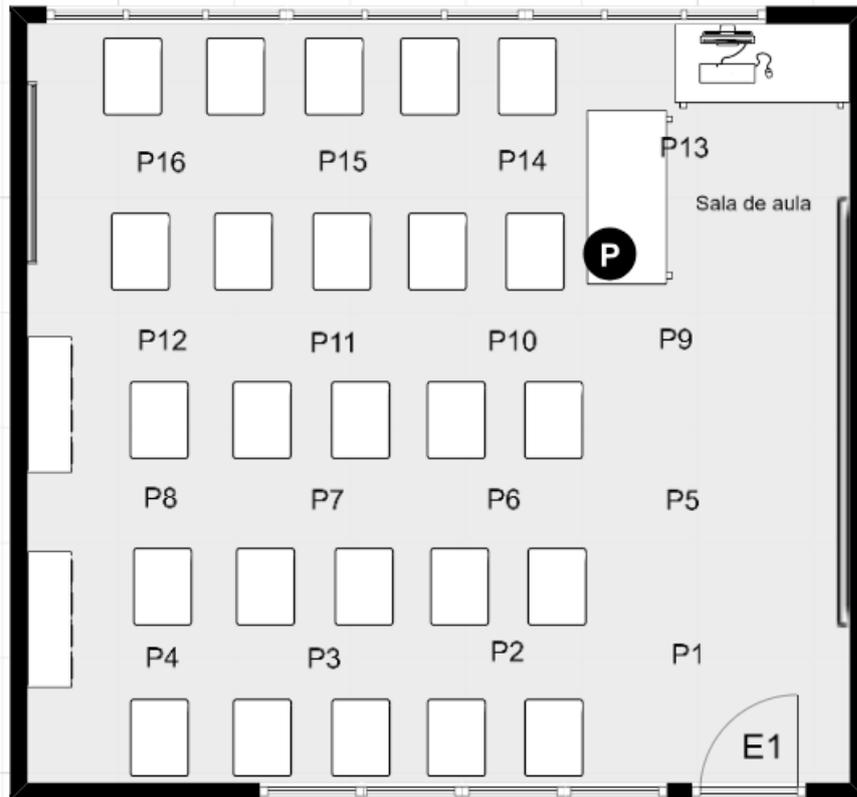


Figura 9: Planta baixa E1 e localização dos pontos de medição

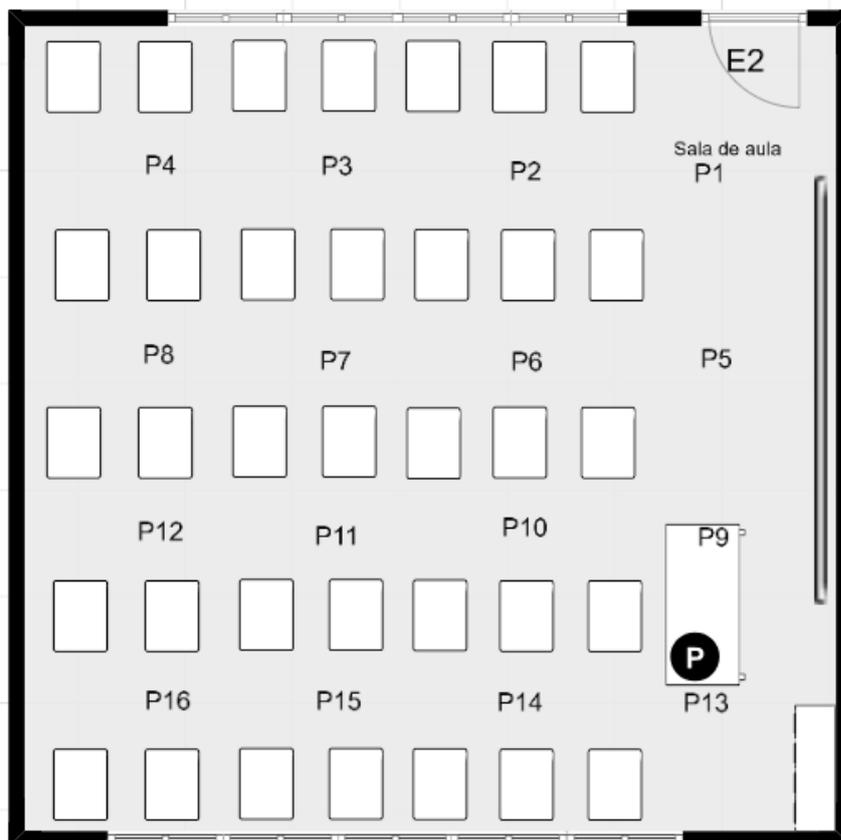


Figura 10: Planta baixa E2 e localização dos pontos de medição

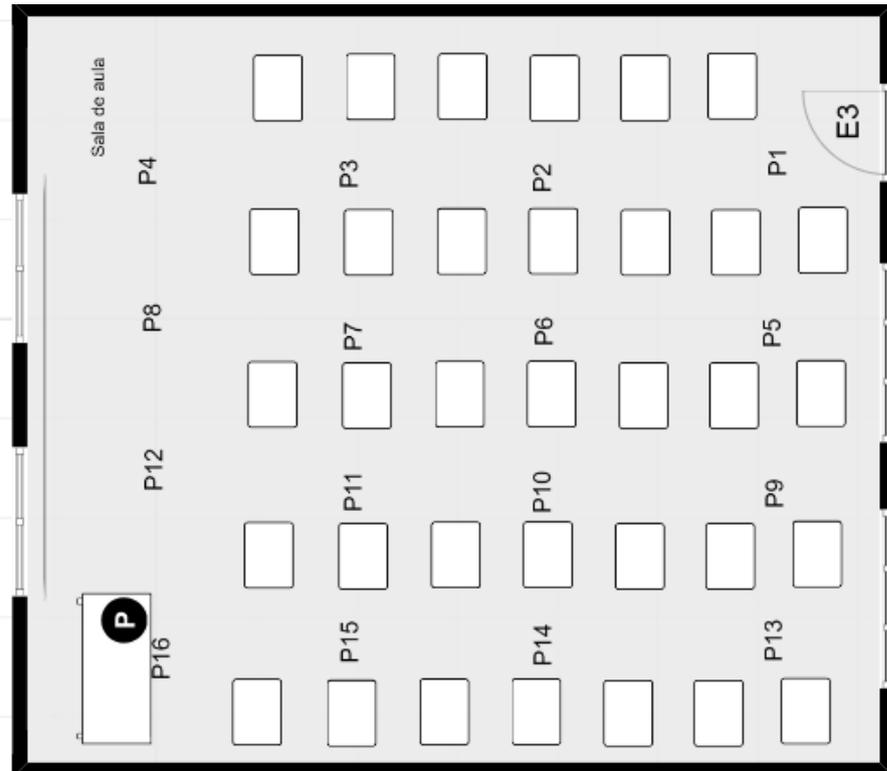


Figura 11: Planta baixa E3 e localização dos pontos de medição

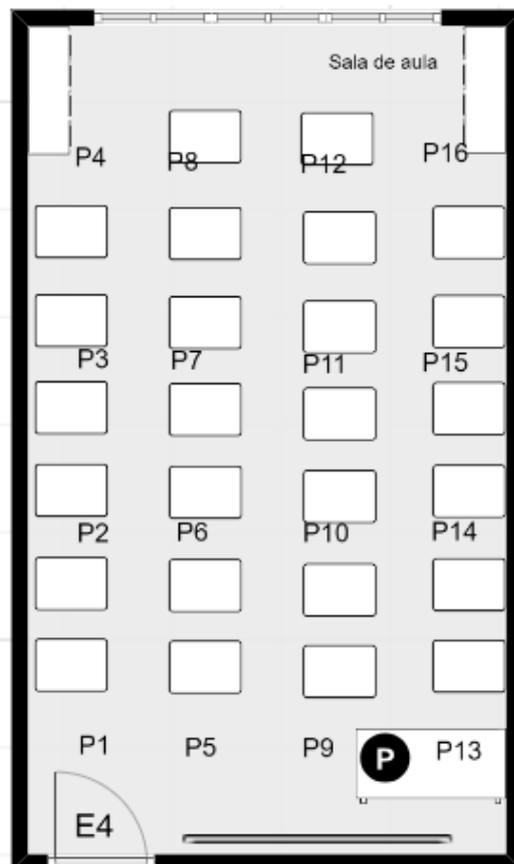


Figura 12: Planta baixa E4 e localização dos pontos de medição

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Diagnóstico do Entorno

Para facilitar a compreensão do leitor, sugere-se verificar as Figuras 6 a 8 para o acompanhamento do presente diagnóstico. A escola E1 está localizada em área residencial com presença de atividades comerciais, tais como, lanchonete, padaria, supermercado e serviço mecânico de automóveis. Há um ponto de ônibus a 20 m de escola. A Rodovia BR 459 está a um raio de 120 m da escola. Ao lado oposto à entrada há vegetação arbórea. A via de acesso à escola é pavimentada com massa asfáltica e o fluxo de veículos é em sentido único.

O entorno da escola E2 é predominantemente residencial com algumas atividades comerciais como hotel, restaurante e supermercado. A escola é cercada por árvores e está localizada a 50 m do Ribeirão José Pereira. Em frente à escola há um ponto de ônibus e a principal via de acesso é uma avenida que interliga a prefeitura municipal e bairros próximos ao centro da cidade. Essa avenida também é responsável pelo acesso à Universidade Federal de Itajubá.

A escola E3 também se localiza em área residencial. Em suas proximidades há atividades religiosa e educacional, além de atividades comerciais que atendem ao bairro, como academia, drogaria, lojas de tecido e materiais de construção. Também há um ponto de ônibus em frente à escola. A via de acesso direto à escola é de mão única.

A escola E4 situa-se na região central no município em uma avenida que possui conectividade com importantes vias de circulação e distribuição do tráfego no município. Seu entorno é caracterizado por uso residencial e atividade comercial local, como padaria, concessionária de veículos, além de igrejas e a Vila Vicentina, uma instituição de longa permanência.

O tráfego de veículos foi caracterizado como a principal fonte de poluição externa. A contagem de veículos e medições de ruído externo foi realizada pelos alunos da disciplina de Poluição Sonora do curso de graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Itajubá. A Figura 13 indica o volume e distribuição de veículos que trafegam pelas vias de

acesso às escolas objeto de estudo. A contagem foi realizada entre os dias 6 a 8 de junho, no período vespertino, fora dos horários de pico.

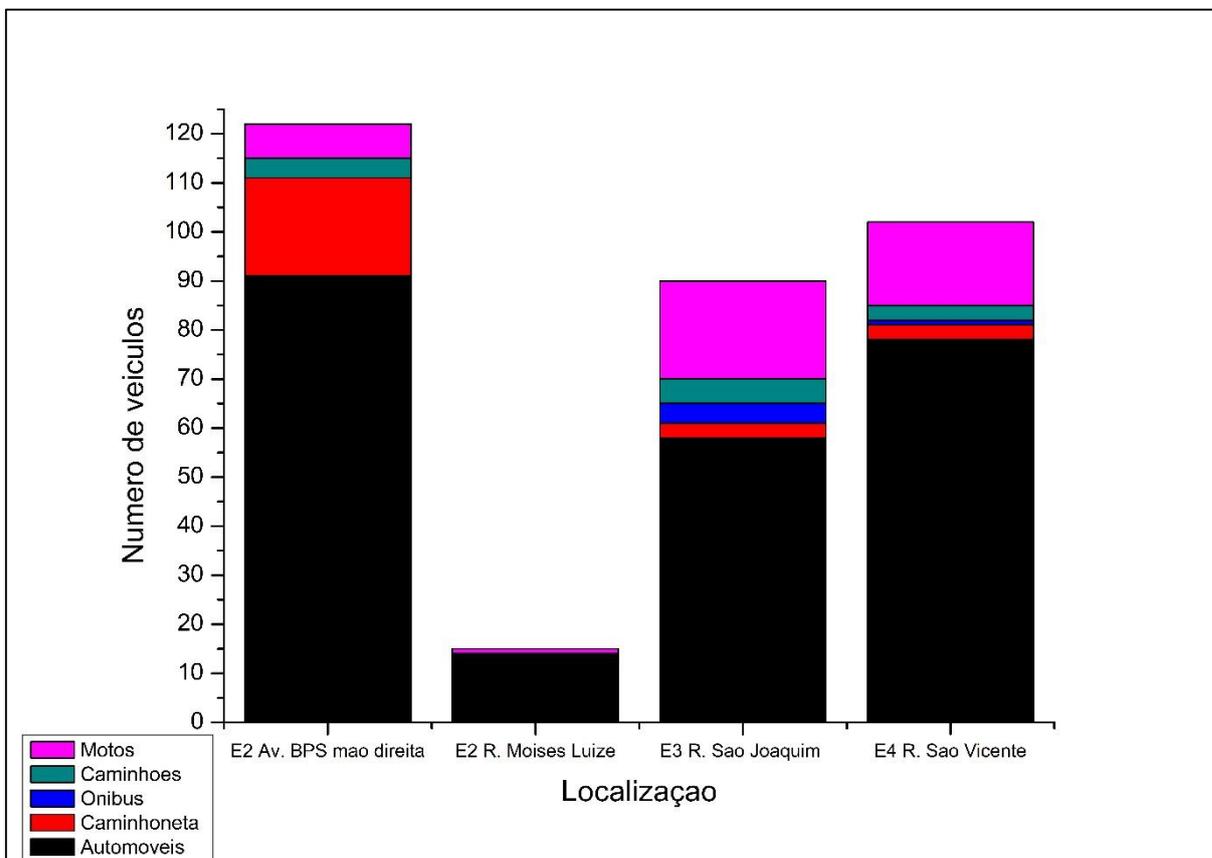


Figura 13: Contagem de veículos nas vias de acesso às escolas no período das aulas, durante 30 minutos

O gráfico mostra a movimentação de veículos no entorno das escolas avaliadas e o perfil de veículos que trafegam pelas vias. Por sua proximidade com a Avenida BPS, na escola E2 foi observado o maior volume de veículos, com circulação de 122 veículos durante 30 min. A vantagem da escola E2 é seu entorno arborizado e a localização das salas de aula, cujas janelas estão voltadas para a Rua Moises Luize, onde número de veículos observados foi o menor, apresentando apenas veículos leves, o que pode reduzir a intensidade de ruído provocado pelo tráfego.

O menor tráfego foi observado no entorno da escola E3, cuja via de acesso é de mão única. Porém, foi a escola que apresentou maior circulação de ônibus e caminhões durante o horário da contagem de veículos. Vale destacar que há uma travessa elevada em frente à escola, com sua presença, veículos como ônibus e caminhões precisam acionar os freios, emitindo ruído. A E4 está situada em uma avenida localizada na região central do município, onde há grande movimentação de veículos, porém menor do que na avenida da escola E2 e os

veículos que circulam pela via foram caracterizados principalmente por veículos leves, motos e automóveis.

A Tabela 2 indica o nível sonoro equivalente,  $L_{90}$  e  $L_{10}$ , calculado com as medidas externas realizadas durante a contagem de veículos. Como é possível observar, todas as escolas indicaram ambientes ruidosos, com  $L_{eq}$  de 65 e 66 dB(A), algumas salas de aula possuem janela voltada para a rua, estando constantemente em contato com o ruído externo.

Tabela 2: Nível sonoro equivalente externo, realizado durante a contagem de veículos

	E2	E3	E4
<b><math>L_{eq}</math> (dB(A))</b>	65	66	65
<b><math>L_{90}</math></b>	51	61	65
<b><math>L_{10}</math></b>	70	67	69

Esses resultados corroboram com o estudo realizado por Zannin e Zwirtes (2009) que identificaram níveis de ruído externo entre 52 a 59 dB(A) nas escolas localizadas em zona mais silenciosa a  $L_{eq}$  entre 66-68 dB(A) nas demais escolas, indicando valores superiores ao estabelecido na NBR 10.151/2000, como no presente estudo.

Normalmente durante as aulas, as janelas permanecem abertas em contato com as emissões de ruído externa. Embora o volume de veículos tenha sido maior nas avenidas da E2 e E4, as salas de aula da E3 são prejudicadas quanto ao ruído provocado pelo tráfego, devido sua proximidade com a rua e a presença de travessa elevada em frente à escola, além de apresentar maior proporção de ônibus e caminhões, que as demais escolas.

## 5.2 Diagnóstico salas de aula

Quanto aos aspectos físicos das salas de aula, o Quadro 2 mostra um resumo das observações realizadas.

Quadro 2: Características observadas nas salas de aula durante as medições

	E1	E2	E3	E4
Nº pavimento	2	1	1	1
Material chão	Cerâmica	Cerâmica	Cerâmica	Cerâmica
Janelas	Abertas	Aberta	Abertas	Abertas
Posição das janelas	Lado direito e esquerdo	Lado direito e esquerdo	Frente (sobre quadro) e fundo da sala	Fundo da sala
Área próxima as fachadas	Residências adjacentes a escola	Pátio (direção Norte)	Pátio	Residências adjacentes a escola
Porta	Abertas	Fechada	Abertas	Abertas
Material porta	Madeira	Madeira	Madeira	Madeira
Tipo de ventilação	Natural	Natural	Natural	Natural
Uso de ventiladores	Sim	Sim	Sim	Sim
Número de ventiladores	1	2	2	2
Uso de cortinas	Sim	Sim	Não	Sim
Iluminação utilizada	Fluorescente	Fluorescente	Fluorescente	Fluorescente
Cor das paredes internas	Azul	Bege	Azul	Branco e verde
Presença de plantas na sala	Não	Não	Não	Não
Armários e/ou prateleiras	Sim	Sim	Não	Sim
Quadro negro com giz	Sim	Sim	Sim	Sim
Periodicidade de limpeza	2 vezes por dia	2 vezes por dia	2 vezes por dia	2 vezes por dia

Todas as escolas possuem ventilação natural, mantém as janelas abertas e no verão às vezes são utilizados ventiladores, pois em clima quente e úmido, como o brasileiro, o aumento da movimentação de ar contribui para remoção do calor (DE VECCHI; CANDIDO; LAMBERTS, 2013). Cortinas são usadas para minimizar os efeitos da iluminação natural sobre as escolas E1, E2 e E4, como será comentado posteriormente.

As paredes internas nas salas de aula são de cores frias, com destaque para cor azul utilizada em duas escolas. As cores possuem significado emocional e podem influenciar no comportamento humano, devendo ser consideradas quando constrói-se um ambiente. De acordo com SCHMID (2005) paredes de cores fria dão a sensação de um ambiente maior e

tranquilo, principalmente com o uso do azul, que quando aplicado ao chão ou ao teto dão referência ao mar e ao céu.

Sroykham, Wongsathikun e Wongsawat (2014) demonstram que cores quentes como o vermelho e amarelo estimulam a raiva e confusão, a cor verde estimula o vigor e a cor azul produz efeito moderado na confusão, tensão e fadiga, em contrapartida a cor branco não apresenta alterações no humor.

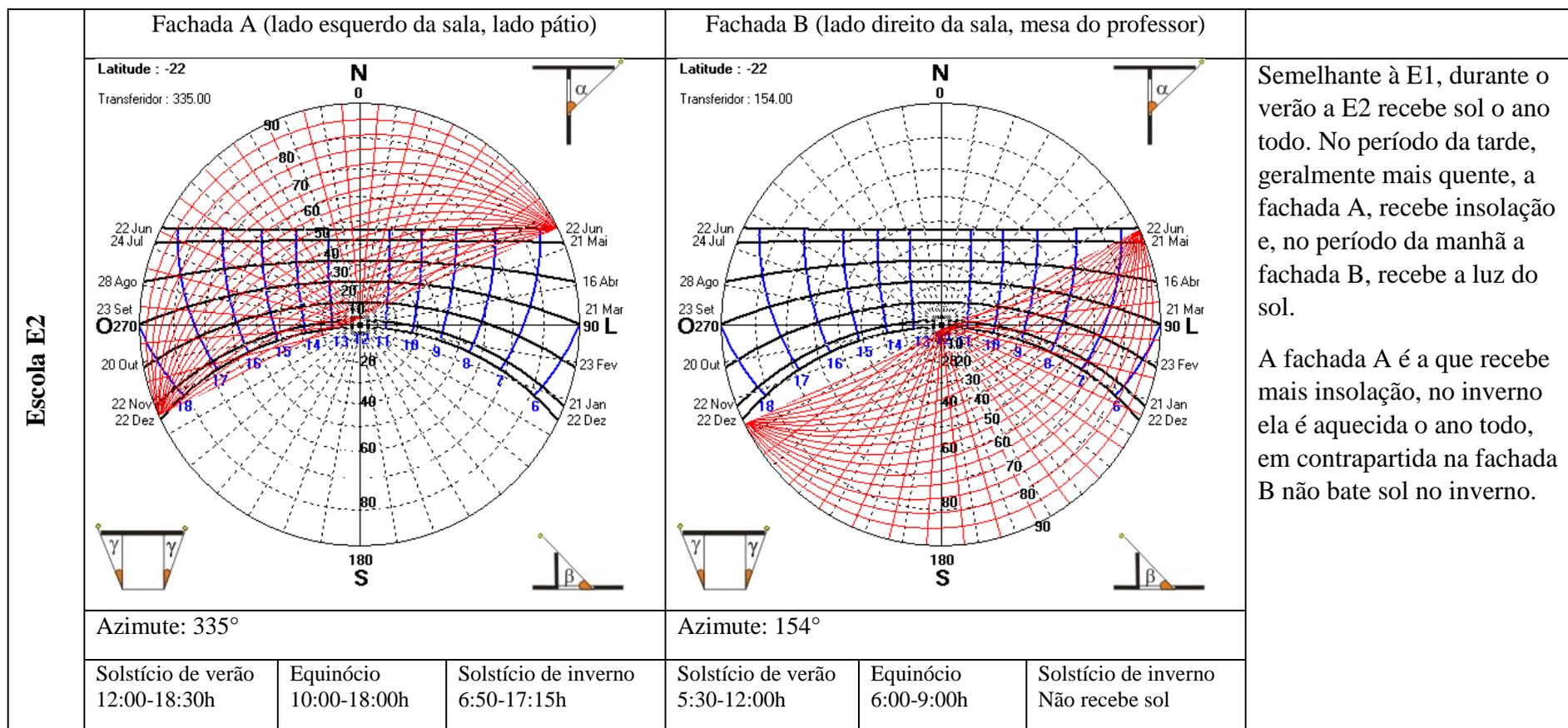
Outros detalhes sobre o diagnóstico das salas serão apresentados e discutidos nas próximas seções de resultados.

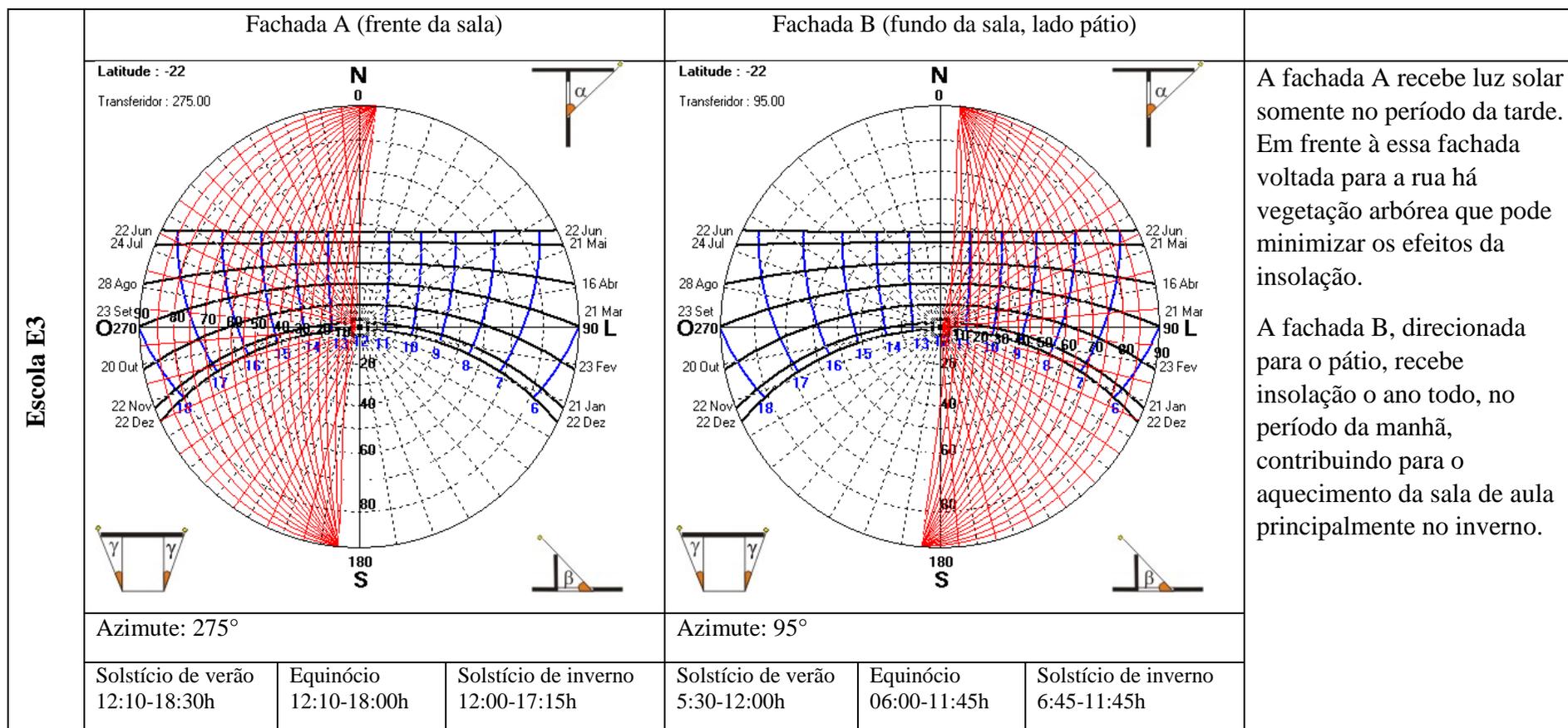
### **5.3 Conforto Térmico**

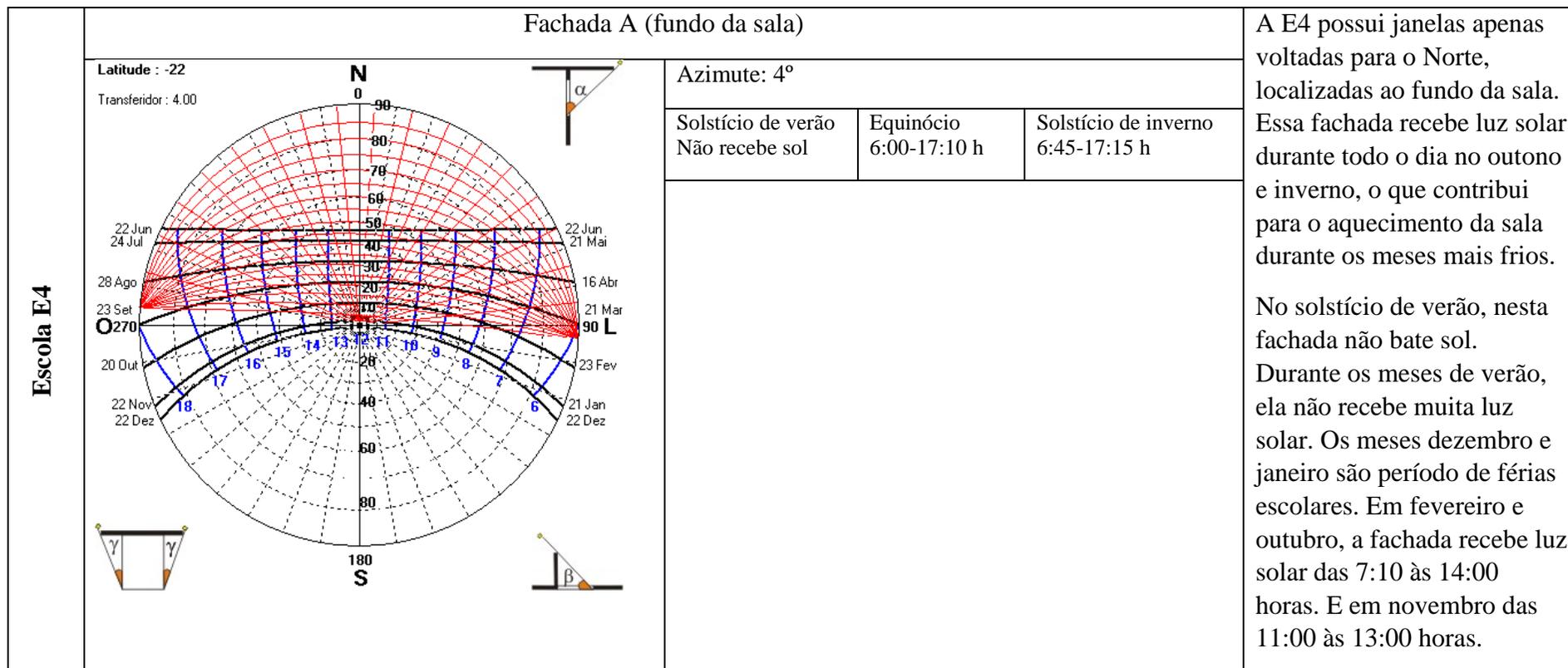
Com a análise das cartas solares, foi possível identificar o período em que as salas de aula recebem insolação. O Quadro 3, modelo adaptado de Sant'Anna (2015) apresenta um resumo das condições de insolação observadas nas salas de aula.

Quadro 3: Insolação das fachadas das escolas

Escola E1		Fachada A (lado esquerdo da sala, lado mesa professor)		Fachada B (lado direito da sala)		As fachadas da E1 recebem luz solar praticamente o ano todo, pois nos horários em que a fachada A não recebe insolação a fachada B recebe.  No inverno a fachada A recebe insolação praticamente todo o período de aula. No verão, no período da tarde essa fachada também recebe insolação. São utilizadas cortinas, para tentar minimizar esse efeito.	
		Latitude : -22 Transferidor : 330.00		Latitude : -22 Transferidor : 150.00			
		Azimute da fachada: 330°		Azimute da fachada: 150°			
		Solstício de verão 12:00-18:30 h	Equinócio 10:00-18:00 h	Solstício de inverno 8:00-17:15 h	Solstício de verão 5:30-12:00 h	Equinócio 6:00-9:45 h	Solstício de inverno 6:45-7:10 h







As Figuras 14 e 15 apresentam os resultados de temperatura e umidade relativa do ar, no período de verão e inverno, indicando a faixa de conforto térmico determinada pela ASHRAE Standard 55/2017. Na campanha de verão, as escolas E2 e E4 apresentaram desconforto por calor. Embora a carta solar da E4 tenha indicado que no verão praticamente não há insolação na fachada, a Figura 14 indicou que parte dos dados estão acima da zona de conforto, o que condiz com as reclamações dos alunos e professores, quanto ao calor nas salas de aula. Já as escolas E1 e E3 apresentaram desconforto por frio, mesmo no verão. Como apresentado no Quadro 3, na E1 as fachadas recebem insolação em períodos distintos, enquanto a fachada A (voltada para a rua) recebe luz solar no período da tarde, a fachada B (voltada para o pátio) é sombreada e o contrário ocorre no período da manhã. Já na escola E3, em frente à fachada A (que recebe luz solar no período da tarde) há vegetação arbórea que pode minimizar os efeitos de insolação e, contribuir para o desconforto por frio mesmo no verão.

Na campanha de inverno, a E2 apresentou desconforto por calor e frio. Já a E1 e E4 indicaram desconforto por frio. Essas escolas mostraram-se mais desconfortáveis, pois indicaram desconforto térmico tanto na campanha de verão, quanto na campanha de inverno. A E2 foi a escola mais desconfortável, principalmente na campanha de inverno, onde grande parte dos dados mostrou-se fora da zona de conforto (Figura 15). Como apresentado no Quadro 3, nessa escola, a fachada B não recebe luz solar durante o inverno, o que poderia contribuir para o desconforto térmico por frio.

Utilizando também o método gráfico, Almeida e Freitas (2014) avaliaram sete escolas na Europa e não identificaram desconforto por frio, no período do verão, ao contrário do que ocorreu nas escolas E1 e E3, avaliadas no presente estudo. Porém, ao autores identificaram desconforto por calor em todas as sete escolas avaliadas, em até 77% do tempo.

No período de inverno, Almeida e Freitas (2014), identificaram desconforto por frio entre 20 a 80% do tempo, nos sete edifícios avaliados, mostrando escolas mais desconfortáveis quando comparadas com as escolas de Itajubá/MG, tanto no verão, quanto no inverno.

Embora Giuli et al. (2014) também tenha identificado desconforto térmico nas salas de aula, os resultados foram mais satisfatórios, já que na maior parte do tempo de avaliação as medidas estavam dentro da zona de conforto. Cabe destacar que os autores, identificaram relação entre a posição das salas de aula e o conforto térmico.

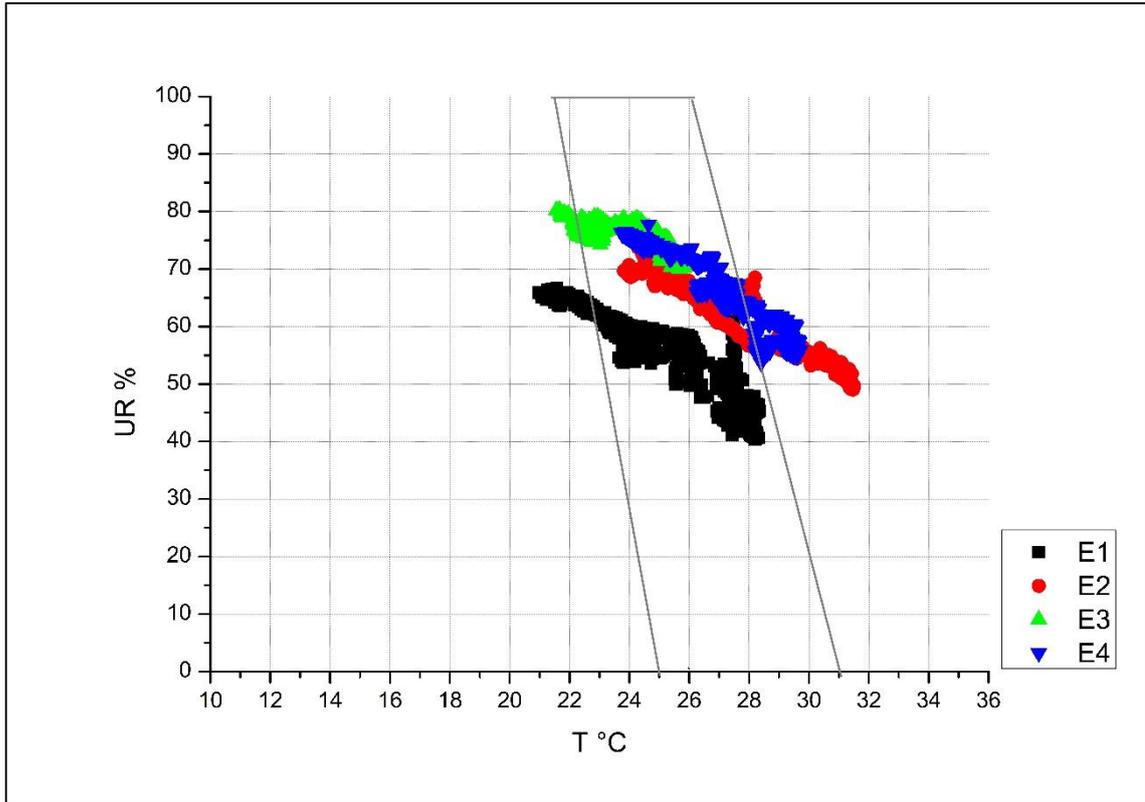


Figura 14: Dispersão da temperatura e umidade relativa do ar com faixa de conforto térmico no período de verão

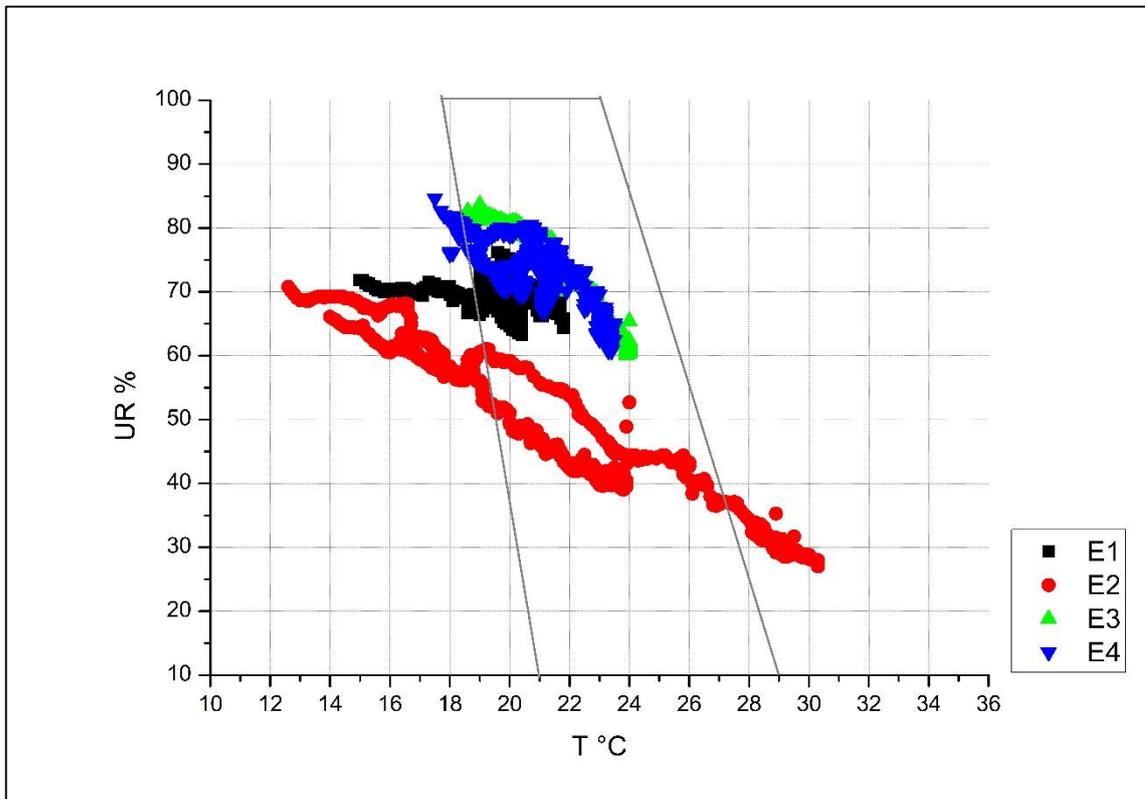


Figura 15: Dispersão da temperatura e umidade relativa do ar com faixa de conforto térmico no período de inverno

## 5.4 Ruído

A Figura 16 indica os boxplot, obtidos em cada escola, no período do verão e inverno. Os níveis de ruído variaram de 42 a 98 dB(A) e não houve diferença entre o verão e inverno. Em todas as escolas as médias ficaram entre 61 e 67 dB(A). O menor nível de ruído foi observado na escola E2, mesmo apresentando o maior pico (98 dB(A)), com 50% dos dados abaixo de 60 dB(A). Os maiores níveis foram observados nas escolas E3 e E4, com 50% dos dados acima de 66 dB(A) na primeira e 50% acima de 68 dB(A), na E4 durante o inverno.

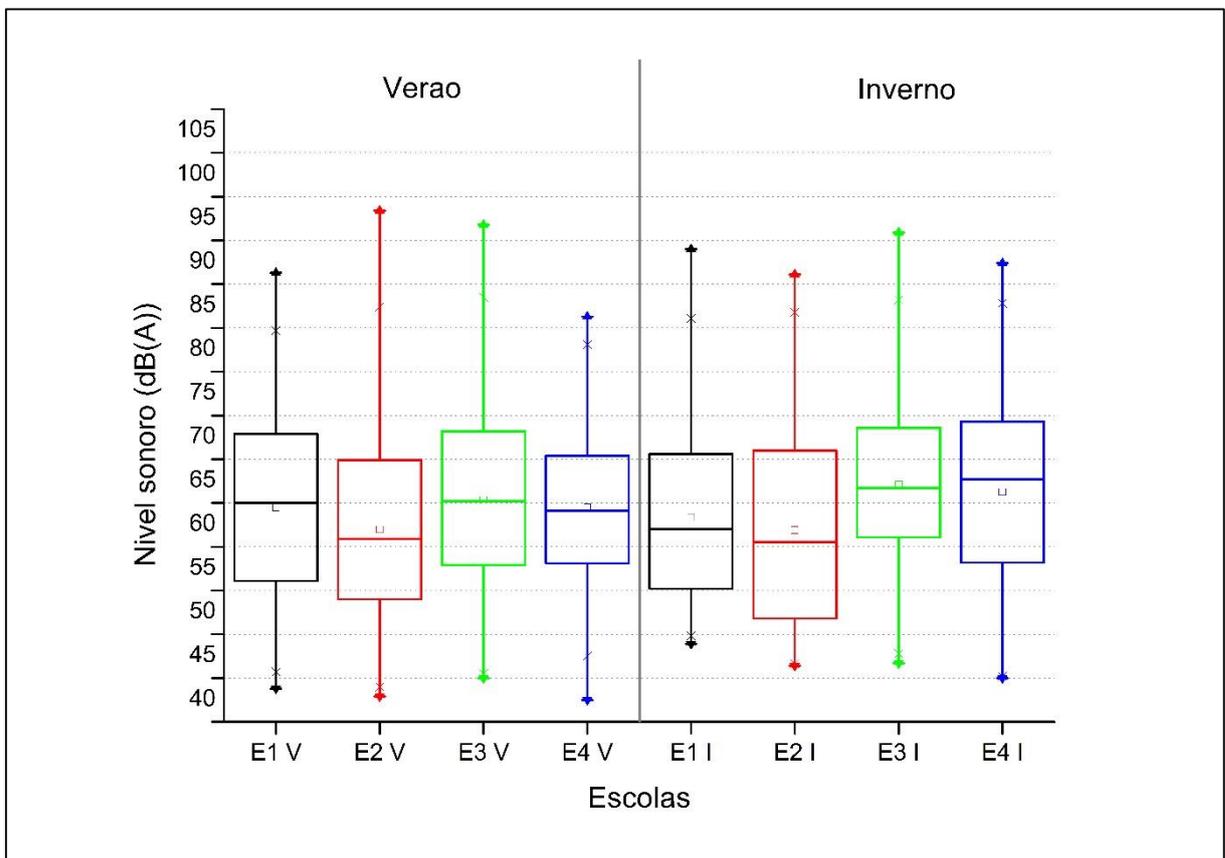


Figura 16: Nível de pressão sonora nas sala de aula, em 4 escolas, no período do verão e inverno de 2018. Os “▲” do boxplot mostram, os valores mínimos e máximos medidos. Os “x” indicam o 1° e 99° percentis e o “□” no interior das caixas indica a média. Por sua vez, os limites das caixas indicam o 1° e 3° quartis e a linha horizontal em seus interiores mostram a mediana (Q2)

Complementar à Figura 16, a Tabela 3 apresenta o nível sonoro equivalente - Leq, L<sub>10</sub> e L<sub>90</sub> de cada uma das escolas. Analisando o Leq, que considera todo o período de aula, todas as escolas indicaram desconforto. Os Leq entre 72 a 77 dB(A) apresentaram valores

acima dos níveis determinados pela NBR 10.152/2017. Apenas 10% do nível medido ficou próximo do valor ideal determinado pela norma, na faixa de 46 a 56 dB(A).

Tabela 3: Nível sonoro equivalente durante todo o período de aula, no verão e inverno de 2018

	Verão				Inverno			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<b>Leq (dB(A))</b>	75	76	76	72	76	74	77	76
<b>L<sub>90</sub> (dB(A))</b>	53	46	52	53	56	48	56	50
<b>L<sub>10</sub> (dB(A))</b>	79	77	78	77	79	77	78	80

Os resultados de Ribeiro et al. (2010), que compararam os NPS obtidos em salas de aula de Viçosa - MG por nível de escolaridade, corroboram com o presente estudo. Independentemente do nível escolar - ensino infantil, fundamental I e fundamental II - os valores indicaram nível de ruído superior ao adequado para ambientes escolares.

Os níveis sonoros equivalentes calculados no presente estudo, apresentaram valores semelhantes aos obtidos por Braga (2017) que avaliou cinco escolas de ensino fundamental na cidade de São Paulo, durante os períodos da manhã e tarde, e observou níveis de ruído que variaram entre 70 e 77 dB(A), durante as aulas. No estudo de Zannin e Zwirtes (2009) em Curitiba/PR, as salas de aula ocupadas indicaram Leq de 74 e dB(A), mostrando o esforço vocal dos professores para ministrar as aulas.

Sala e Rantala (2016) e Vilcekova et al. (2017) também observaram níveis de ruído elevados durante as aulas na Finlândia e Eslováquia, com valores próximos, porém menores ao observado no presente estudo, com Leq médio na faixa de 60 a 70 dB(A).

Analisando a curva de variação do ruído com relação ao tempo de medição (Figuras 17 e 18), verificou-se que os menores valores foram observados quando as salas estavam desocupadas, nos intervalos e horário de almoço. Ressalta-se que na sala de aula da E1, no dia 09/02, não houve aula no período vespertino.

Silva, Oliveira e Silva (2016), avaliaram três escolas em Portugal, concluindo que a principal fonte de ruído são os próprios alunos. Durante as aulas, os níveis de ruído equivalente estavam na faixa de 72 a 77 dB(A); e, com a escola fechada, apresentaram Leq na faixa de 48 a 55 dB(A), valores que podem ser justificados pelo tráfego de veículos.

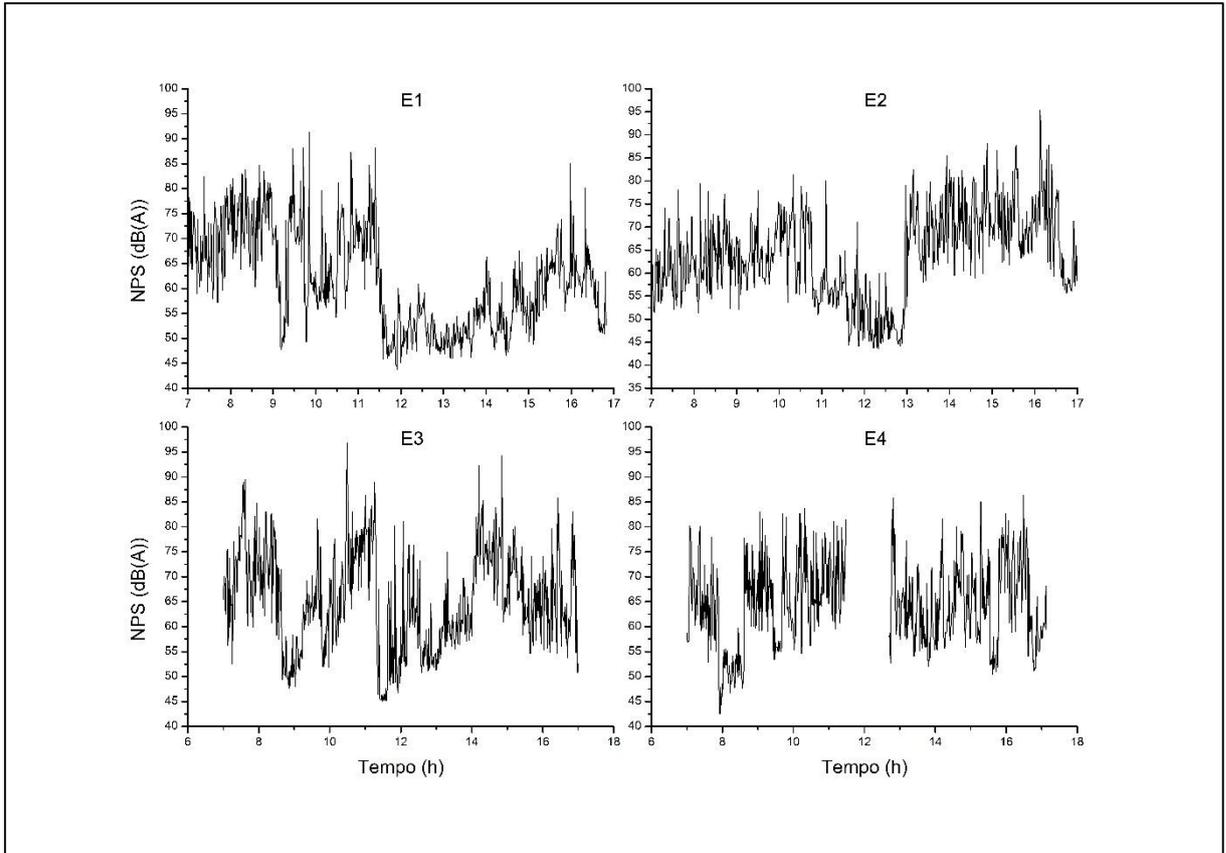


Figura 17: Variação do Nível de Pressão Sonora medido durante as aulas, no período de verão.

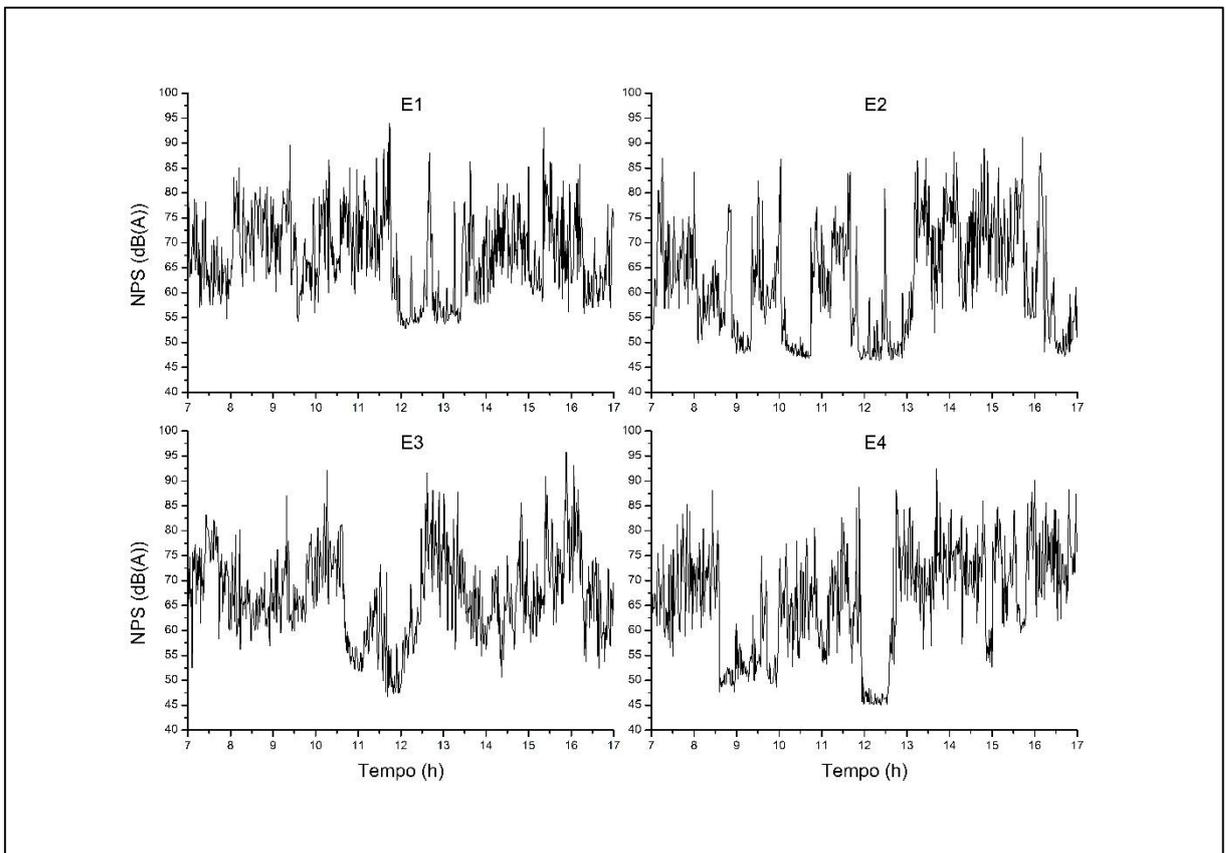


Figura 18: Variação do Nível de Pressão Sonora medido durante as aulas, no período do inverno

No período de almoço, quando as salas de aula estavam fechadas, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 4. Ressalta-se que na E4 não foi possível medir a sala no horário de almoço no verão, pois a mesma foi utilizada pelos alunos que aguardavam os pais após o término das aulas. Porém, mesmo com as salas sem aula, os dados apontaram para desconforto, com  $Leq$  na faixa entre 61 e 65 dB(A), com apenas 10% dos dados na faixa de valores ideais entre 44 a 54 dB(A). Estudos brasileiros que também avaliaram o nível sonoro nas salas de aula vazias e mobiliadas e apresentaram resultados semelhantes (RABELO et al., 2014; RIBEIRO et al., 2010).

Tabela 4: Nível sonoro equivalente ( $Leq$ ), durante o horário de almoço, no verão e inverno de 2018

	Verão				Inverno			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<b><math>Leq</math> (dB(A))</b>	71	55	68	-	61	63	75	72
<b><math>L_{90}</math> (dB(A))</b>	46	44	46	-	54	47	49	45
<b><math>L_{10}</math> (dB(A))</b>	60	55	71	-	64	59	75	66

Níveis de ruído elevado, principalmente em salas de alfabetização, podem comprometer a inteligibilidade da fala, interferindo no aprendizado. Por exemplo, o estudo de Fonseca Guimarães et al. (2015) com crianças de 8 a 10 anos, mostraram que 70,6% dos alunos apresentaram resultado alterado no entendimento de sílabas quando estavam presentes em salas com níveis superiores a 60 dB(A).

Rabelo et al. (2014) também avaliaram a compreensão de vogais, verificando que as salas de aula não fornecem um ambiente ideal para aprendizagem. Esse estudo concorda com a pesquisa de Peng et al. (2015), que perceberam melhora significativa na compreensão da fala após tratamento acústico das salas de aula avaliadas.

O ruído também afeta os professores, pois eles esforçam-se mais para competir com o ruído das salas. Rabelo et al. (2017) compararam o esforço vocal de mulheres em uma sala de aula sem reprodução de ruído (~44 dB(A)) e outra com ruído de (~76 dB(A)) e notaram que a intensidade vocal das mulheres aumentou significativamente na presença de ruído. Resultados semelhantes, também encontrados por Kristiansen et al. (2014), causaram fadiga vocal e mental nos professores. Cabe destacar que todas as escolas analisadas, indicaram níveis de ruído, como  $Leq$  próximos à 76 dB(A), sendo prejudicial tanto para a voz do professor quanto para aprendizagem.

## 5.5 Iluminação

Os níveis de iluminação aferidos em toda as salas de aula foram inferiores aos recomendados pela NBR ISO 8995-1/2013, que é de 300 lux para atividades de leitura e escrita. A Tabela 5 apresenta os níveis de iluminância média no período de verão e inverno, bem como o percentual abaixo do esperado. Nota-se que apenas a E4, na campanha de inverno, apresentou iluminância média adequada.

Tabela 5: Iluminância média das salas de aula no verão e inverno de 2018

	Verão				Inverno			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<b>Iluminância média (lux)</b>	190	278	87	180	224	280	58	323
<b>% de registros abaixo da norma</b>	36,7	7,3	71,0	40,0	25,3	6,7	80,7	0,0
<b>Lux máximo</b>	240	400	124	282	392	366	85	519
<b>Lux mínimo</b>	100	71	61	76	111	181	34	216

As Figuras 19 e 20 indicam a iluminância aferida em cada um dos 16 pontos nas salas de aula, no verão e inverno, respectivamente. Na E1 a iluminância mostrou-se melhor nos pontos próximos as janelas, na área frontal da sala, onde está fixado o quadro negro e no centro da sala. Os piores níveis foram observados ao fundo. Na E2 a iluminância também foi melhor na área frontal da sala. Ao contrário da E1, os pontos aferidos ao fundo da sala (P4, P8, P12 e P16, destacados na Figura 9) estavam próximos ao adequado, mesmo sem aberturas que permitem a iluminação natural.

A escola E3 apresentou iluminância média semelhante a uma das escolas avaliadas por Vilcekova et al. (2017), porém a mesma foi justificada pela existência de árvores e as condições meteorológicas no dia da medição. As demais escolas avaliadas pelos autores apresentaram iluminância média adequada, ao contrário do presente estudo.

Níveis inadequados também foram encontrados em duas, das quatro escolas avaliadas em Santa Maria - RS, por Dalvite et al. (2007). Os resultados obtidos nessa pesquisa também são inferiores aos avaliados por Giuli et al. (2014), mesmo quando a iluminação mínima estava abaixo de 300 lux.

Na E3 nenhum ponto atingiu o valor ideal. Os valores medidos durante o inverno foram ainda piores. Os níveis de iluminância mais altos nesta escola estavam ao fundo da sala, onde estão localizadas as janelas (P1, P5, P9, P13, destacados na Figura 11). E, na E4, os

valores também foram maiores ao fundo da sala, onde estão posicionadas as janelas e na área frontal, onde localiza-se o quadro negro.

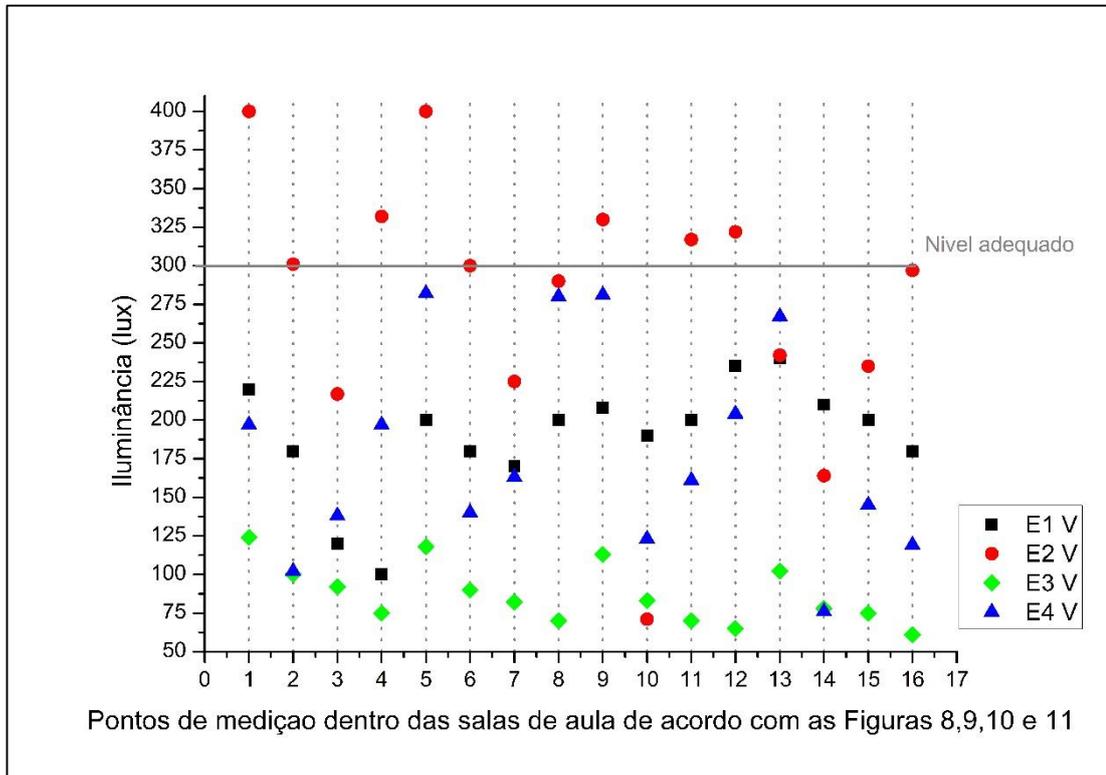


Figura 19: Nível de iluminância nas salas de aula durante o verão

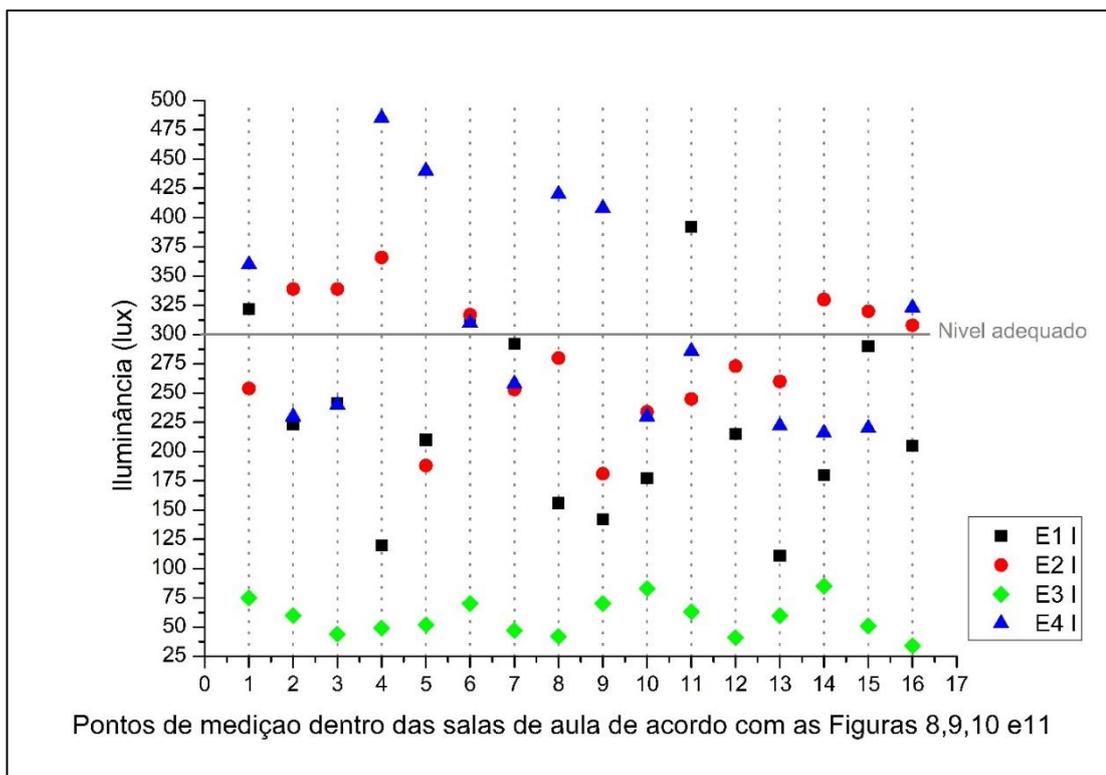


Figura 20: Nível de iluminância nas salas de aula, durante o inverno

Conforme observado, a E3 apresentou os piores índices de iluminância, mesmo sendo a única escola a não utilizar cortinas nas salas de aula. Nessa escola as janelas são direcionadas para o pátio, que possui um corredor coberto e a iluminação artificial demonstrou-se insuficiente. Entre as escolas, a E2 demonstrou os melhores níveis de iluminância. Durante o estudo houve melhora das condições de iluminação na E4, pois foi realizada manutenção na iluminação e troca de lâmpadas, logo após as primeiras medições.

Utilizando o programa Relux, os valores de iluminância média simulados foram superiores aos medidos *in loco*. Semelhante aos valores medidos, as simulações indicaram maior nível de iluminância nas áreas próximas às janelas, devido à luz natural, principalmente nas escolas E1 e E4, mostrando que no solstício de verão, pode ocorrer desconforto visual pelo excesso de iluminação natural.

A Figura 21 mostra que na escola E1 a iluminância das carteiras dos estudantes, próximas às janelas, localizadas ao lado da mesa do professor, chegaram a 1000 lux. E na escola E4 a iluminância das mesas localizadas ao fundo da sala, próximo às janelas atingiu 750 lux (Figura 22). Por isso, existem cortinas para evitar a incidência direta de luz sobre os alunos, sendo necessário complementar a iluminação com luz artificial (Figura 23).

As cortinas também ajudam a minimizar o brilho na lousa, problema comum em escolas, como identificado por Michael e Heracleous (2017) e Winterbottom e Wilkins (2009). Esse problema ocorre devido à iluminação excessiva em algum ponto e baixa iluminação no restante do campo de visão. Além disso, Giuli et al. (2014) notaram melhor uniformidade de iluminância com a utilização de luz artificial.

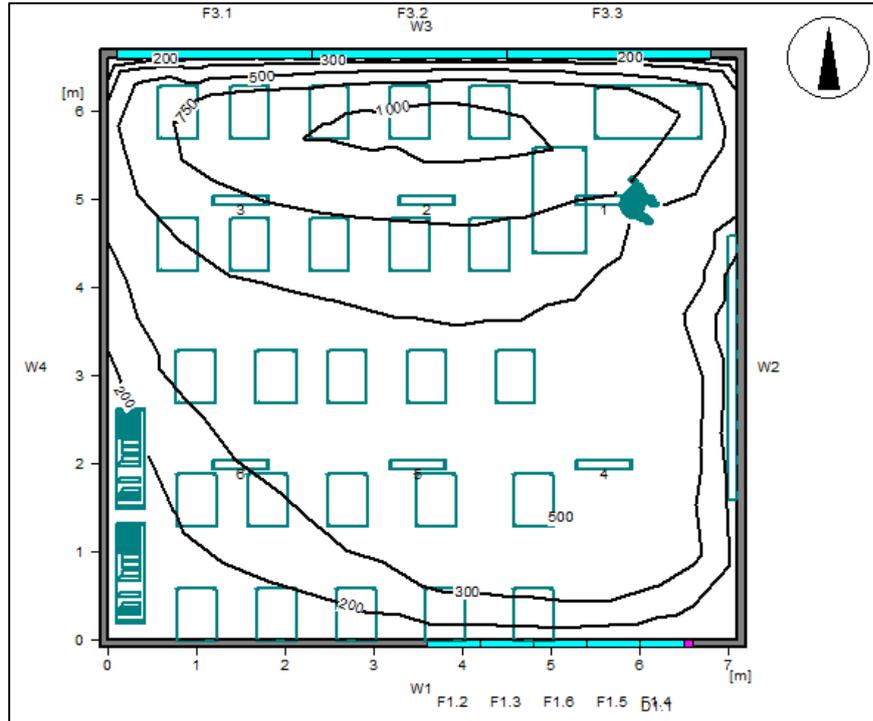


Figura 21: Simulação iluminação natural e artificial, sala de aula na E1, solstício de verão, 13h30min

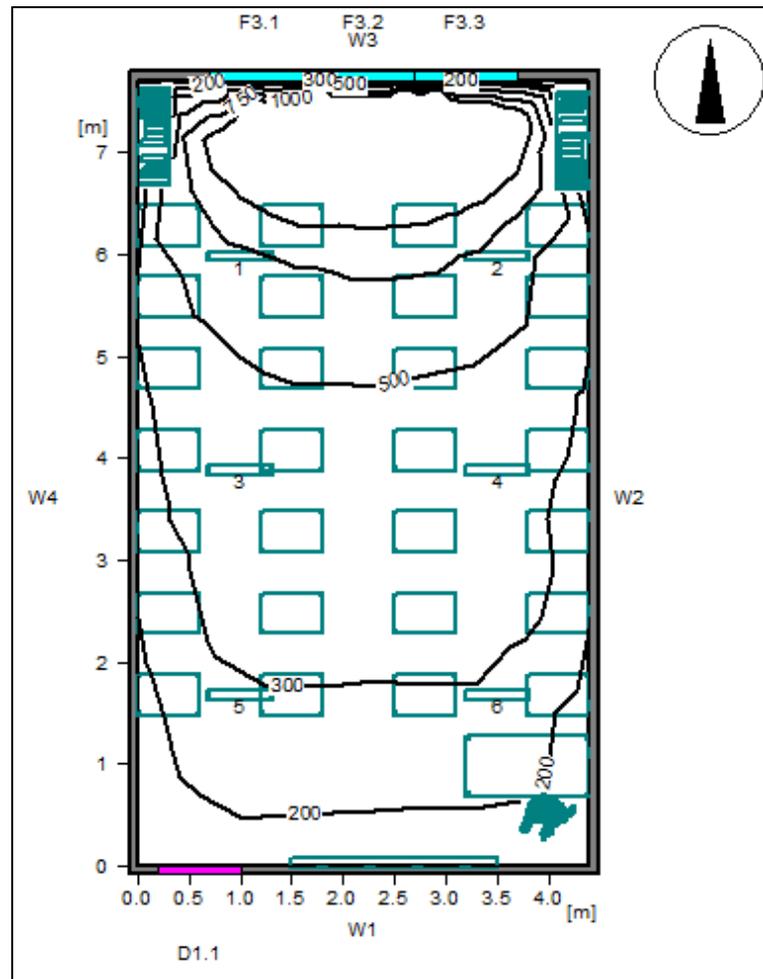


Figura 22: Simulação iluminação natural e artificial, sala de aula na E4, solstício de verão, 13h30min

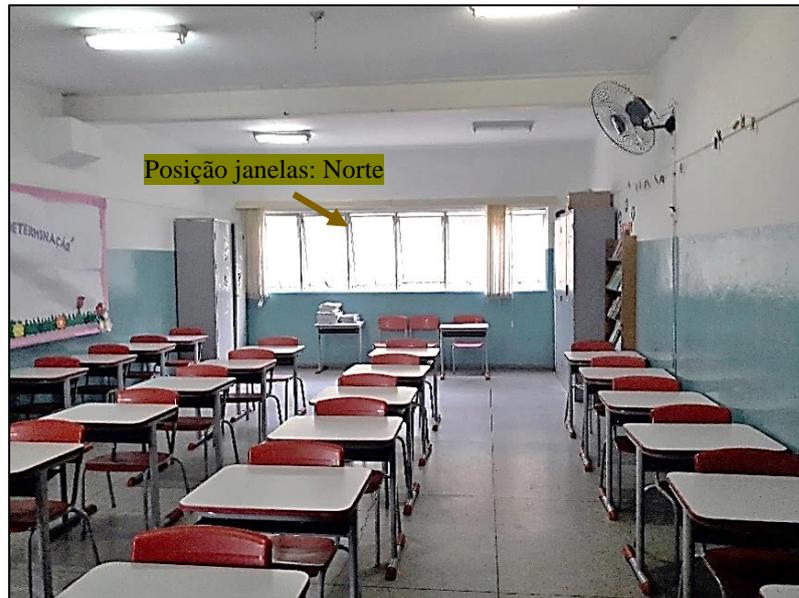


Figura 23: Sala da aula da E4, com indicativo da localização das janelas

Nas áreas onde a iluminação natural é escassa, há necessidade de uso de lâmpadas com maior fluxo luminoso, a fim de obter valores ideais de iluminação. Tanto nos dados medidos, quanto nas simulações a sala de aula E3 está longe de um ambiente adequado para as atividades de leitura e escrita. As Figuras 24 e 25, indicam que apenas o fundo da sala de aula atinge valores de 300 lux. À frente da sala, na parede em que fica posicionado o quadro negro, a iluminância foi de 100 lux no solstício de verão e 75 lux no solstício de inverno. Mostrando que mesmo nas simulações a E3 apresentou nível de iluminância abaixo da norma e os menor nível de iluminação das quatro escolas.

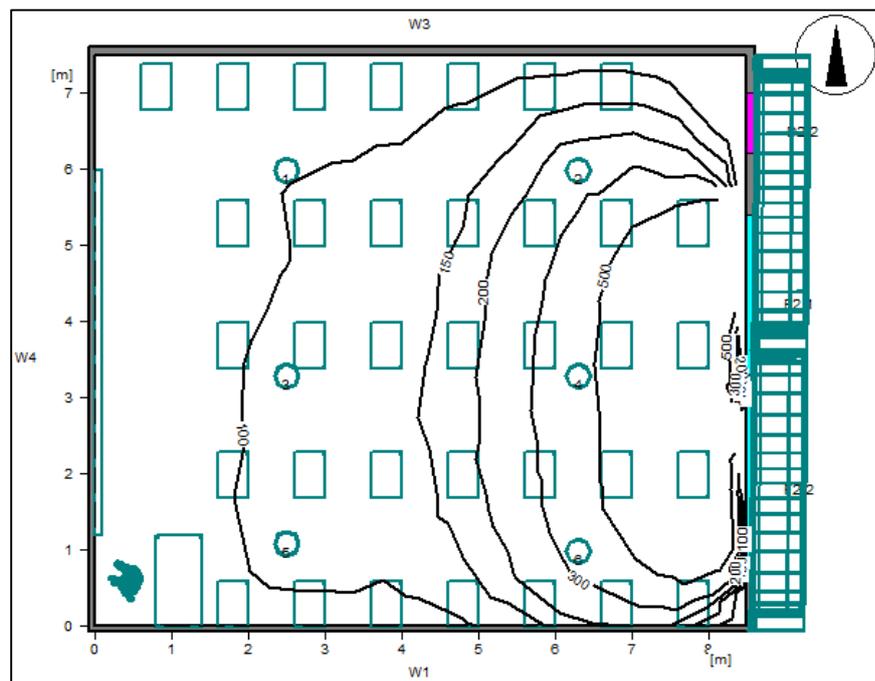


Figura 24: Simulação iluminação natural e artificial, sala de aula na E3, solstício de verão, 13h30min

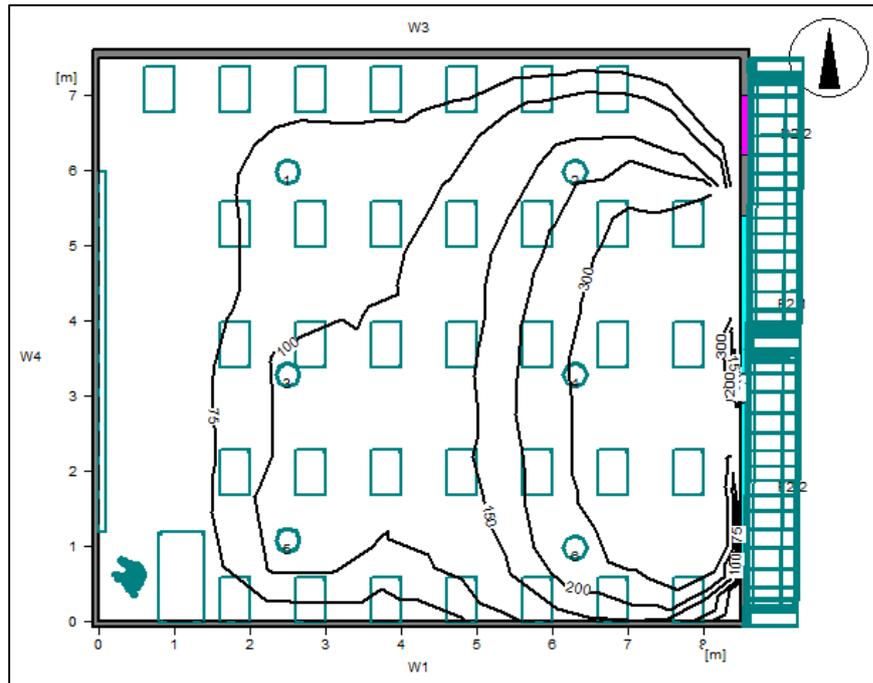


Figura 25: Simulação iluminação natural e artificial, sala de aula na E3, solstício de inverno, 13h30min

As salas de aula analisadas mostraram-se desconfortáveis, com níveis de iluminação abaixo do recomendado pela NBR ISO 8995-1/2013, com exceção da E4 no período de inverno. A melhor escola, com relação a iluminância foi a E2, que indicou apenas 6,7% da iluminância média, abaixo do recomendado (ver Tabela 5).

## 5.6 Material Particulado

As Figuras 26 e 27 mostram a concentração material particulado medido durante as aulas, no verão e inverno de 2018. Durante a campanha de verão, observaram-se três picos na E1, atingindo  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; dois picos na E2 atingindo  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; três picos na E3, com concentrações de até  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e seis picos na E4, que não atingiram valores superiores a  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . No inverno, ocorreu um pico na E1 com concentração de  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; dois picos na E2, atingindo  $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ; um pico na E3 atingindo  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  e, três picos na E4 com concentração de até  $4,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Os picos, observados em determinados momentos, coincidiram com o horário de término e/ou início de aula, e podem estar relacionados ao tráfego de veículos, como observado por Requia et al. (2017) e Nunes et al. (2015). Embora ambos os trabalhos tenham

relatado que as concentrações estão fortemente relacionadas com fontes de poluição interna, também podem estar associadas ao tráfego de veículos, pois as janelas costumam permanecer abertas. Afinal, nas cidades, as emissões veiculares são grandes fontes de material particulado, que variam muito devido às condições e volume de tráfego (TARGINO et al., 2016).

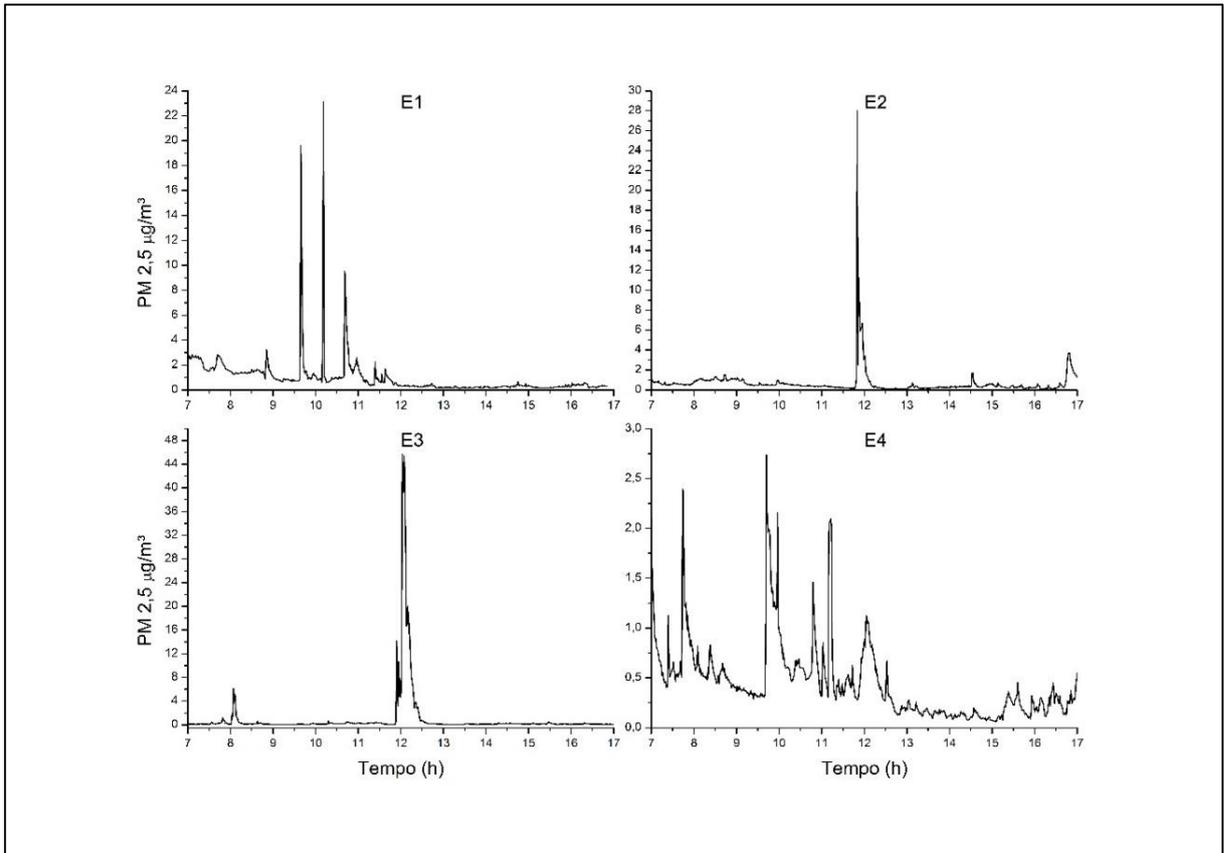


Figura 26: Concentração de partículas finas (PM<sub>2,5</sub>) nas salas de aula, no verão

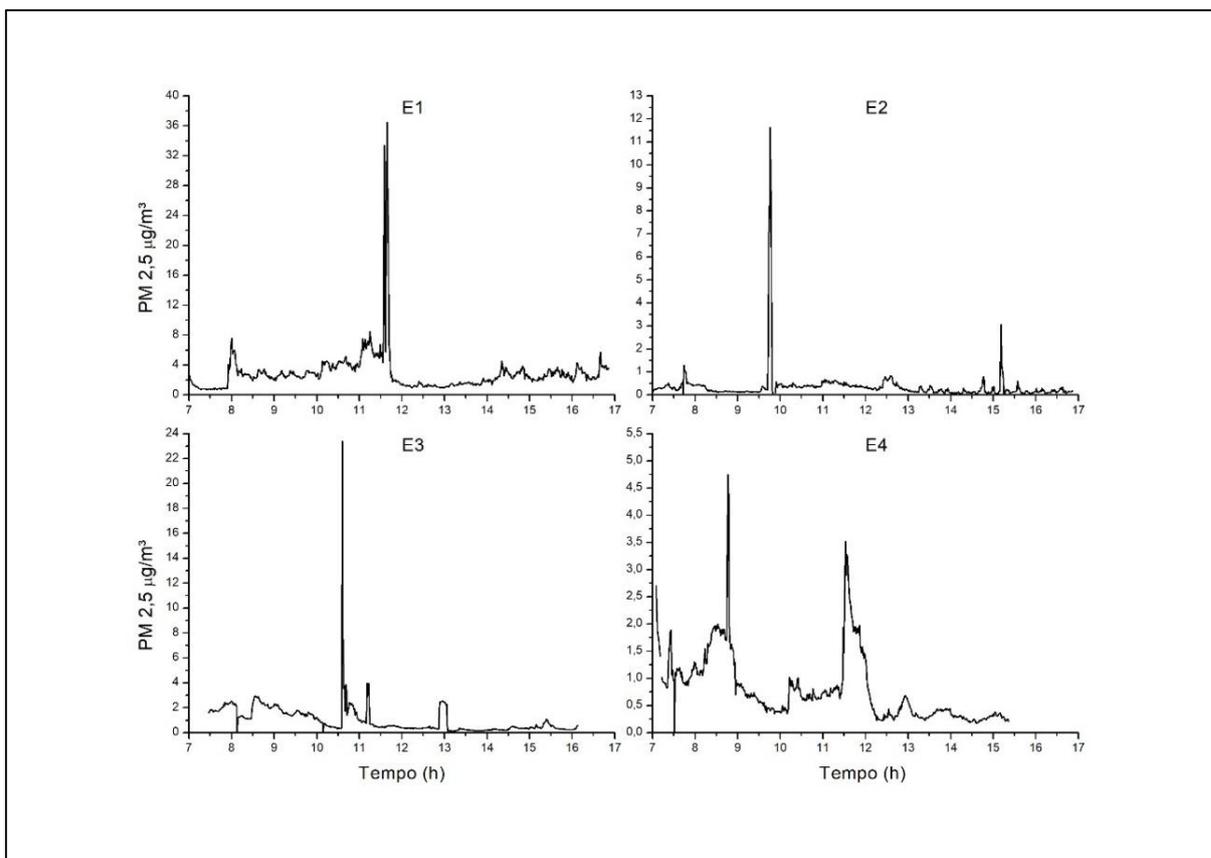


Figura 27: Concentração de partículas finas nas salas de aula, inverno

A Figura 28 mostra os boxplot dos conteúdos de material particulado observados em cada escola, no período do verão e inverno. Devido aos picos observados adotou-se para essa análise o P5 e P95 como limites. Ressalta-se que a grande variabilidade dos limites mínimo e máximo devem-se à sensibilidade do instrumento; ao tamanho das partículas e, ao comportamento dentro das salas de aula, por exemplo, a prática de algum trabalho escolar com uso de tinta e argila, podem ter ocasionado essas variações.

As escolas E2 e E4 apresentaram menores concentrações de  $PM_{2.5}$ . As maiores concentrações foram observadas na E1, com P95  $2,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no verão e  $5,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , no inverno. Notou-se que a concentração de partículas foi superior na campanha do inverno, destaca-se a E1, cuja mediana no inverno de  $2,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , aproximou-se do P95 obtido no verão. Destaca-se a grande diferença entre médias e medianas, mostrando que não há comportamento de uma distribuição normal. Em todos boxplot as médias foram superiores às medianas. Por exemplo, na campanha de verão da E3, os valores médios representam menos de 90% das medidas realizadas. E na E2, os valores médios representam menos de 75% das medidas realizadas, indicando a não-normalidade dos dados.

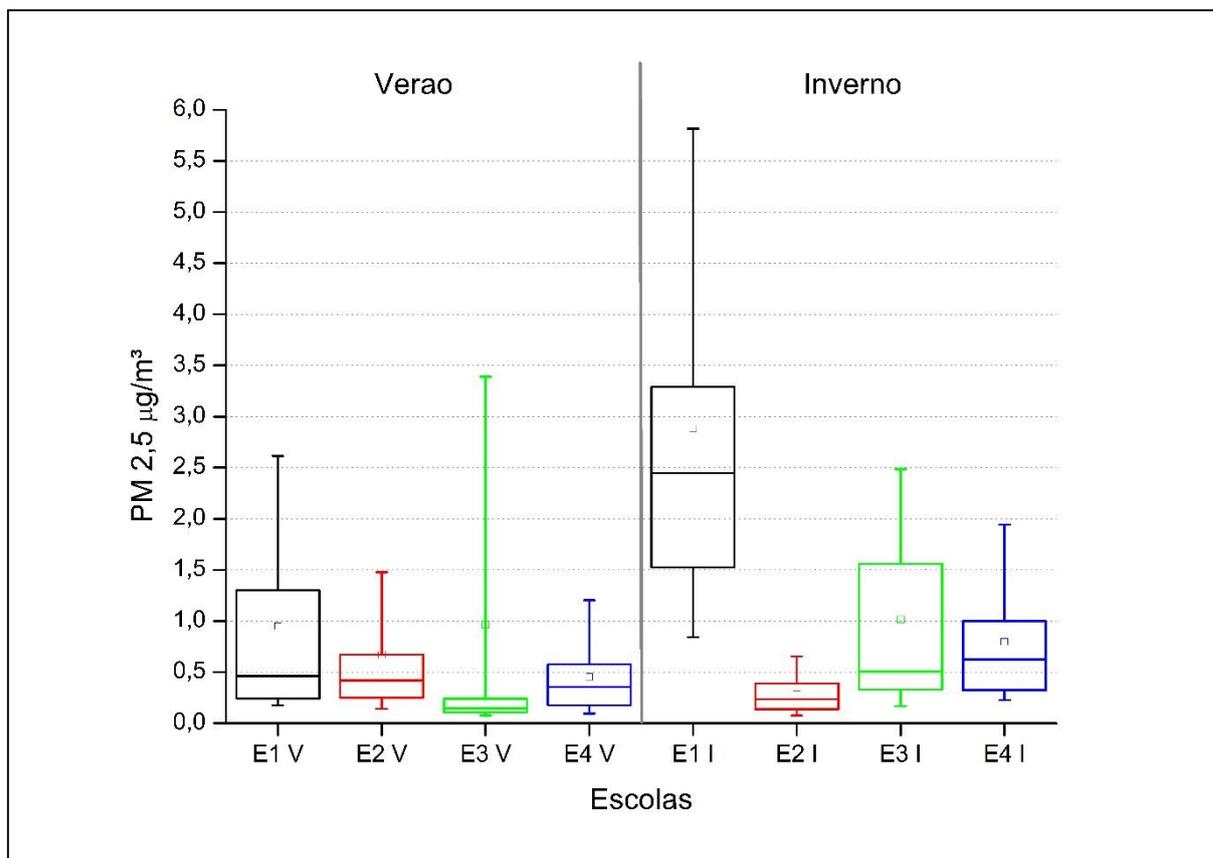


Figura 28: Concentração de material particulado fino, nos períodos do verão e do inverno de 2018. As linhas verticais do boxplot mostram, em seus extremos, o P5 e P95. Os “x” indicam o 1º e 99º percentis e o “□” no interior das caixas indica a média. Por sua vez, os limites das caixas indicam o 1º e 3º quartis e a linha horizontal em seus interiores mostram a mediana (Q2).

A grande diversidade de fontes de material particulado em ambiente interno, também pode influenciar a variabilidade de dados, como observado principalmente na escola E4 que apresentou o maior número de picos. Vilcekova et al. (2017) observaram que vários poluentes *indoor* são comuns em escolas, provenientes de fontes biológicas, como bolor, ácaros, pólen, emissões dos próprios materiais de construção e materiais de limpeza, tais como compostos orgânicos voláteis (COV) e formaldeídos, mostrando a dificuldade em quantificar as exposições em salas de aula. Ressalta-se que, no presente estudo, todas as escolas possuíam quadro negro com giz, que também é considerada fonte de emissão, além dos próprios materiais escolares, principalmente aqueles utilizados nas escolas de ensino infantil, como a E1 e E4, tais como, cola, tinta, argila destacado por Ferreira e Cardoso (2013). Um ponto positivo com relação às escolas avaliadas em Itajubá foi que nenhuma delas utiliza carpetes e não havia presença visual de bolor. Para melhor avaliação seria interessante desenvolver um estudo para avaliar a composição do material particulado no interior das salas de aula, como realizado por Fromme et al. (2008) a fim de identificar as principais fontes de poluição.

No Brasil não há limite de concentração de material particulado em ambiente interno, ventilado naturalmente. As legislações que tratam de poluição *indoor* estão relacionadas apenas ao uso e manutenção de ar condicionado, o que não é a realidade das escolas públicas brasileiras. De acordo com a Resolução CONAMA nº 491/2018, o padrão de qualidade do ar final – PF, consiste nos *guidelines* pela OMS. Essa resolução estabelece como PF a emissão de  $PM_{2,5}$  de  $25\mu\text{g}/\text{m}^3$  média hora diária. Ressalta-se que a OMS adota esse valor tanto para ambiente externo quanto interno. Dessa forma, a Figura 29 compara os valores diários de concentração média-hora obtidos nas salas de aula, com o valor ideal determinado pela WHO (2006).

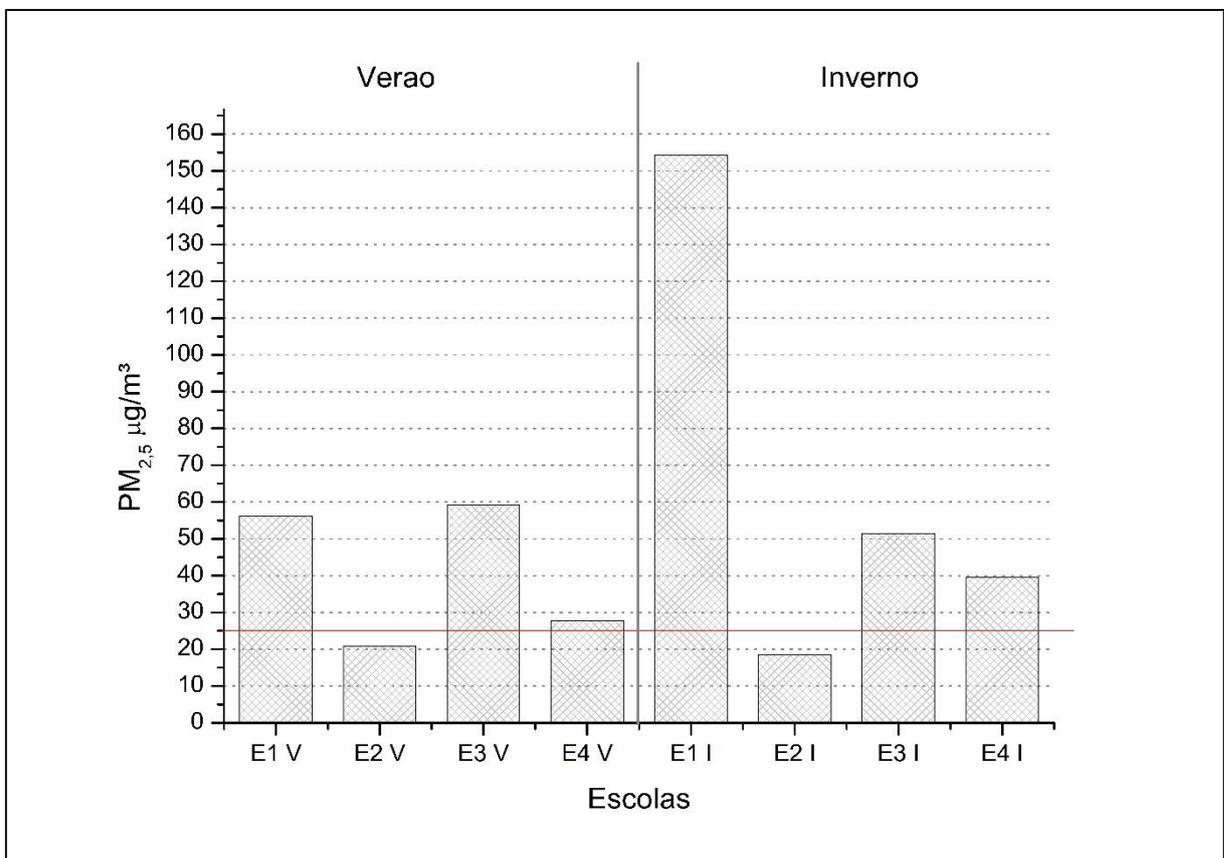


Figura 29: Comparação da concentração média-hora diária  $PM_{2,5}$   $\mu\text{g}/\text{m}^3$  das escolas com o valor ideal, nos períodos de verão e de inverno.

Com exceção da escola E2, os valores de exposição média-hora diária são superiores aos definidos pela legislação. A escola E1 indicou a maior concentração entre as escolas, principalmente na campanha de inverno. Sua proximidade com Rodovia BR 459, poderia ter contribuído com essas concentrações, pois vários autores relacionaram as emissões de PM com o tráfego de veículos (NUNES et al., 2005; REQUIA et al., 2017; TARGINO et al., 2016). Durante o inverno, na região de Itajubá a prática de queimadas para limpeza e preparo do solo

é comum e poderia explicar a grande concentração de  $PM_{2,5}$  observada na E1, pois esta escola está localizada em uma zona mais afastada do centro urbano, com presença de atividades agrícolas a um raio de 3 km.

Estudos já mostram forte associação de aumento de concentração de material particulado e agravos a saúde respiratória (CÉSAR et al., 2016; NASCIMENTO et al., 2017), com valores de exposições até mesmo abaixo dos limites permitidos e risco carcinógeno (XU et al., 2018). Como em ambientes fechados a remoção de poluentes é menor, se comparados ao ar livre, onde as taxas de ventilação são maiores, esses resultados são preocupantes.

Destaca-se que a Resolução CONAMA nº 491/2018, publicada em 19 de novembro de 2018, incluiu padrões de Qualidade do Ar para  $PM_{2,5}$ , estabeleceu uma equação para obter o Índice de Qualidade do Ar – IQAR, que será definido em um Guia Técnico a ser elaborado pelo Ministério do Meio Ambiente no prazo de 12 meses.

Avaliações de IQAR já vinham ocorrendo, porém não havia classificação para as partículas finas. Essas mudanças mostram a importância da inclusão de  $PM_{2,5}$  no monitoramento de qualidade do ar. Espera-se que futuramente essa preocupação também seja voltada para ambientes internos públicos, como já acontece em outros países.

## **5.7 Conforto ambiental nas escolas**

A Tabela 6 mostra um resumo dos fatores que interferem no conforto ambiental, indicando o número de vezes em que as salas de aula ultrapassaram os limites estabelecidos pelas normas adotadas nesse estudo, ocasionando desconforto, com: a faixa de conforto definida pela ASHRAE Standard 55/2017, para conforto térmico, nível de pressão sonora, para o conforto acústico, nível de iluminância para conforto visual e concentração de material particulado, para a qualidade do ar. Não foram encontradas correlações estatísticas significativas entre as grandezas avaliadas, indicando que as diferentes fontes de desconforto podem ser proporcionadas de modos independentes.

Tabela 6: Percentual de desconforto ambiental encontrado nas escolas, no período do verão e inverno.

	Verão (%)				Inverno (%)			
	E1	E2	E3	E4	E1	E2	E3	E4
<b>Percentual indicativo de desconforto por calor</b>	0	18,5	0	18,9	0	13,5	0	0
<b>Percentual indicativo de desconforto por frio</b>	14,8	0	28,2	0	15,5	49,4	0	3,9
<b>Percentual de NPS superiores a 50 dB(A)</b>	90,8	87,0	94,5	96,6	98,1	81,0	97,5	90,3
<b>Percentual de iluminância inferior a 300 lux</b>	100,0	56,3	100	90,6	81,3	56,3	100,0	50,0
<b>Percentual de PM<sub>2,5</sub> superior a 25µg/m<sup>3</sup>-hora</b>	10	55	30	30	70	25	70	60

No verão, as salas de aula da E2 e E4 apresentaram 18% de desconforto por calor e as escolas E1 e E3 desconforto por frio. No inverno as salas E2 apresentaram desconforto por calor em 13%, bem como por frio em 49%, mostrando que é a escola mais desconfortável termicamente.

Com relação ao ruído, todas as escolas apresentaram desconforto em mais de 81% dos casos e a E1 foi considerada a mais ruidosa, com 98,1% das medidas acima do ideal. Nesta escola as salas de aula são distribuídas ao redor do pátio, onde são realizadas as atividades de educação física, o que pode contribuir para aumentar o nível de ruído nas salas de aula. Como foi observado por Braga (2017) locais onde são realizadas brincadeiras e jogos apresentaram Leq a 75 dB(A) e, durante o intervalo, onde há maior movimentação de crianças o Leq atingiu 86 dB(A). Além disso, essa escola é frequentada por crianças de menor faixa etária, atendendo aos anos iniciais do ensino fundamental, que normalmente são mais barulhentas.

A E3 foi a escola que apresentou o maior desconforto visual, com 100% dos valores medidos abaixo da norma. Além das luminárias utilizadas possuírem baixo fluxo luminoso, o tipo e número de luminárias existentes nas salas de aula mostrou-se insuficiente. Enquanto nas demais escolas as luminárias utilizadas comportam 2 lâmpadas fluorescentes tubulares, na E3 as 6 luminárias existentes na sala comportam 1 lâmpada compacta cada.

Quanto às concentrações de PM<sub>2,5</sub>, observou-se grande variabilidade nos dados. E o período de inverno apresentou maior percentual de concentração hora superior a 25µg/m<sup>3</sup> com destaque para as salas da escola E1 e E3 que indicaram 70% da concentração acima do valor recomendado. Sabe-se que a emissão de material particulado nas escolas é oriunda de fontes diversas e podem ser provenientes tanto de fontes externas, caracterizada principalmente pelo tráfego de veículos, como fontes internas, pelos materiais construtivos, materiais de limpeza e materiais utilizados durante as aulas. A proximidade da E1 com a Rodovia, onde há maior circulação de veículos pesados e o perfil de tráfego no entorno da E3, caracterizado com maior volume de ônibus e caminhões, se comparado com as escolas E2 e E4, também poderia

contribuir para o percentual maior de particulado nessas escolas. Além disso, durante o inverno, a prática de queimadas é comum na região de Itajubá e poderia colaborar com o alto percentual de PM acima do recomendado.

Esses resultados mostram que as escolas avaliadas apresentam parâmetros incompatíveis à caracterização de conforto, principalmente com relação ao ruído e iluminância, sendo necessário melhorar a acústica e iluminação das salas de aula. Uma atenção dever ser dada à escola E2 na questão de conforto térmico, pois tanto na campanha de verão, quanto na campanha de inverno, as salas indicaram desconforto. A NBR 15.220-3/2005, determina diretrizes construtivas para cada Zona Bioclimática Brasileira. Atendendo suas recomendações é possível melhorar o desempenho térmico das edificações. No caso de Itajubá/MG que está inserido na Zona Bioclimática 2, recomenda-se aberturas médias para ventilação com sombreamento das aberturas e, permitir insolação durante o inverno, para o aquecimento da edificação.

Algumas medidas como a implantação de toldos nas fachadas direcionadas para o Norte podem minimizar a insolação, para reduzir o desconforto térmico e visual, como ocorre na E4. Substituir lâmpadas existentes, por lâmpadas de maior fluxo luminoso é o ideal. Como foi possível notar na E4, após a manutenção e troca de lâmpadas, a iluminância melhorou em 40%. Porém na E3, apenas a substituição das lâmpadas pode ser insuficiente, as simulações no Relux mostraram que o ideal seria substituir as luminárias compactas por tubulares.

Quanto ao ruído, sugere-se adotar arranjos nas paredes e teto com materiais absorventes. Russo e Ruggiero (2019) utilizaram painéis de polietileno de baixa densidade (Stratocell®, Whisper®), devido ao custo acessível e suas características adequadas ao uso nas salas de aula: antibacteriano, a prova de fogo, resistente à umidade e lavável. Segundo os autores, após testes, o melhor arranjo foi a distribuição de painéis no teto e na parte superior da parede em frente à mesa do professor. Peng et al. (2015) também notaram melhora na acústica das salas de aula após a instalação de materiais absorventes no teto das salas, porém com materiais de fibra mineral.

Com relação à qualidade do ar, especificamente ao material particulado analisado, o uso de plantas nas salas de aula pode trazer benefícios, pois as plantas tem capacidade de coletar e armazenar poluentes atmosféricos. Gawrońska e Bakera (2015) mostraram que a planta ornamental *Chlorophytum comosum L.*, conhecida como planta de aranha, possui capacidade de acumular PM de todas as frações de tamanho, em áreas internas, independente de sua localização e atividade desenvolvida no ambiente. No experimento realizado pelos autores os resultados obtidos com o acúmulo de PM nas folhas das plantas aranha, foi

significativamente maior do que o depositado nas placas de alumínio usadas como comparação. Além disso, a *Chlorophytum comosum* L. tem capacidade de remover também formaldeído, dióxido de nitrogênio, óxido de carbono, ozônio, benzeno, tolueno, fumaça de cigarro e amônia (GAWROŃSKA; BAKERA, 2015). Embora seja uma espécie exótica, originárias da África do Sul, ela é conhecida e muito utilizada como planta ornamental no Brasil (ALTHAUS-OTTMANN; CRUZ; FONTE, 2011; DIEGUES; ETGES; SANTOS, 2015; SIVIERO et al., 2014).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em relação aos aspectos ambientais externos às salas de aula, o tráfego de veículos foi identificado como a principal fonte de poluição. Por outro lado, em relação às características do próprio ambiente, a posição das janelas, as lâmpadas de baixa iluminância e o barulho provocado pelos próprios alunos foram os aspectos que mais prejudicaram o conforto.

A temperatura e umidade relativa do ar, o ruído, a iluminação e concentração de material particulado  $PM_{2,5}$  medidos comparados com as normas da ASHRAE, ABNT e CONAMA apontaram situações de desconforto. Os resultados indicaram desconforto térmico, por calor em duas escolas e desconforto por frio; nível de ruído elevado e iluminação insuficiente em todas as escolas. A concentração média diária de  $PM_{2,5}$  foi superior aos limites estabelecidos pela legislação vigente em três das escolas avaliadas. Os testes estatísticos aplicados não mostraram correlações significativas entre as grandezas avaliadas, isso indica que as diferentes fontes, externas ou internas, podem proporcionar episódios independentes de desconforto.

Para melhorar o conforto das salas de aula, sugere-se trocar as lâmpadas existentes por lâmpadas de maior fluxo luminoso e montar um arranjo com painéis de espuma na parte superior da parede em frente à mesa do professor e no teto das salas, para melhorar a acústica. De modo geral, os resultados desta pesquisa mostraram que maior atenção deve ser dada aos ambientes e salas de aulas de escolas públicas, pois as mesmas não se mostraram confortáveis e precisam de melhorias em diferentes aspectos. Quando se trata de conforto, diversas variáveis estão envolvidas, além dos dados físicos aqui analisados, sugere-se também que avaliações subjetivas sejam realizadas.

Como perspectivas propõem-se: i) avaliar a resposta fisiológica dos estudantes a essas condições; ii) estudar as possíveis correlações entre tais respostas e as grandezas medidas; e, iii) estimar o impacto causado pelas mudanças do clima sobre o conforto térmico e a qualidade do ar nas salas de aula, caso não sejam realizadas melhorias da infraestrutura das salas.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução nº 176, de 24 de outubro de 2000. Determina a publicação de Orientação Técnica elaborada por Grupo Técnico Assessor, sobre Padrões Referenciais de Qualidade do Ar Interior, em Ambientes climatizados artificialmente de uso público e coletivo. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 25/10/2000. Disponível em:

<<http://www.anvisa.gov.br/scriptsweb/anvisalegis/VisualizaDocumento.asp?ID=136&Versao=1>>. Acesso em: 27 dez. 2017.

ALTHAUS-OTTMANN, M. M.; CRUZ, M. J. R.; FONTE, N. N. Diversidade e uso das plantas cultivadas nos quintais do Bairro Fanny, Curitiba, PR, Brasil. **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 1, 2011.

AMARAL, E. M. R.; MORTIMER, E. F. Uma proposta de perfil conceitual para o conceito de calor. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 1, n. 3, p.1-14, 2011.

ALMEIDA, R.M.S.F; FREITAS, V. P. Indoor environmental quality of classrooms in Southern European climate. **Energy and Buildings**, Sydney, v. 81, p. 127-140, 2014.

ARBEX, M. A.; PAULA SANTOS, U.; MARTINS, L. C.; SALDIVA, P. H. N.; PEREIRA, L. A. A.; BRAGA, A. L. F. A poluição do ar e o sistema respiratório. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 38, n. 5, p. 643-655, 2012.

ASA. **Term Database**. Disponível em: <<http://asastandards.org/asa-standard-term-database/>>. Acesso em: 09 jan. 2017.

ASHRAE STANDARD 55. **Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy**. Atlanta: ASHRAE, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR. 10.151. **Acústica- Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade- Procedimento**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2000.

\_\_\_\_\_. NBR 10.152. **Níveis de ruído para conforto acústico**, Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2017.

\_\_\_\_\_. NBR 15.215-4. **Iluminação Natural - Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações – método de medição.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004.

\_\_\_\_\_. NBR. 15.220-3. **Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2005.

BAGNATO, V. S.; PRATAVIEIRA, S. Luz para o progresso do conhecimento e suporte da vida. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 37, n. 4, 2015.

BARBOSA, M. J.; WEILLER, G. C. B.; LAMBERTS, R. Disposição dos equipamentos para medição da temperatura do ar em edificações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 86051, p. 89-108, 2008.

BELLIA, L., PEDACE, A.; BARBATO, G. Lighting in educational environments: An example of a complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants. **Building and environment**, West Lafayette, v. 68, p. 50-65, 2013.

BENWARD, B.; SAKER, M. Introduction The Materials of Music: Sound and Time. In: BENWARD, B.; SAKER, M. **Music in Theory and Practice**. 8 ed. v. 1. Boston: McGraw-Hill Higher Education, 2008.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle de ruído**. 2a ed. rev. São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

BLUYSSSEN, P. M. Health, comfort and performance of children in classrooms—new directions for research. **Indoor and Built Environment**, Barnsley, v. 26, n. 8, p. 1040-1050, 2017.

BOSSA. **Building Occupants Survey System Australia**. Disponível em: <<http://www.bossasystem.com/about-bossa.html>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

BOUDIAB, L. D.; KOLCABA, K. Comfort Theory: Unraveling the Complexities of Veterans' Health Care Needs. **Advances in Nursing Science**, Philadelphia, v. 38, n. 4, p. 270-278, 2015.

BRAGA, M. S. F. **Exposição ao ruído nas salas de aula em escolas do ensino básico da cidade de São Paulo e a sua influência em tarefas de leitura: um estudo preliminar.**

2016. 63f, Dissertação (Higiene e Segurança nas Organizações) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

BRASIL. Lei nº 13.589, de 4 de janeiro de 2018. Dispõe sobre a manutenção de instalações e equipamentos de sistemas de climatização de ambientes. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 05/01/2018. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2015-2018/2018/Lei/L13589.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/Lei/L13589.htm)>. Acesso em: 09 jan. 2018.

BRICKUS, L. S.; AQUINO NETO, F. R. D. A qualidade do ar de interiores e a química. **Química Nova**, v. 22, n.1, p. 65-74, 1999.

CAMARGO, M. G.; FURLAN, M. M. D. P. Resposta fisiológica do corpo às temperaturas elevadas: exercício, extremos de temperatura e doenças térmicas. **Saúde e Pesquisa**, Maringá, v. 4, n. 2, 2011.

CANÇADO, J. E. D.; BRAGA, A.; PEREIRA, L. A. A.; ARBEX, M. A.; SALDIVA, P. H. N.; SANTOS, U. D. P. Repercussões clínicas da exposição à poluição atmosférica. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, Brasília, v. 32, n. Supl. 1, p. S5-S11, 2006.

CANDIDO, C.; DE DEAR, R.; THOMAS, L.; KIM, J.; PARKINSON, T. BOSSA-Building Occupants Survey System for Australia. In: The 46th Annual Conference of the Architectural Science Association-Building on Knowledge: Theory and Practice. **Anais...** Brisbane: Griffith University. 2013. Disponível em: <<http://anzasca.net/wp-content/uploads/2014/02/p80.pdf>>. Acesso em: 18 mar. 2019.

CANDIDO, C.; LAMBERTS, R; BITTENCOURT, L.; DEAR, R. Aplicabilidade dos limites da velocidade do ar para efeito de conforto térmico em climas quentes e úmidos. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 59-68, 2011.

CASTRO, H. A. D.; CUNHA, M. F. D.; JUNGER, W. L.; CUNHA-CRUZ, J.; LEON, A. P. D. Efeitos da poluição do ar na função respiratória de escolares, Rio de Janeiro, RJ. *Revista de Saúde Pública*, v. 43, n. 1, p. 26-34, 2009.

CENTER FOR THE BUILT ENVIRONMENT. **CBE Thermal Comfort Tool**. Disponível em: <<http://comfort.cbe.berkeley.edu/>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

CESAR, A. C. G.; NASCIMENTO, L. F. C.; CARVALHO JR, J. A. D. Association between exposure to particulate matter and hospital admissions for respiratory disease in children. **Revista de saúde pública**, São Paulo, v. 4, n.6, p.1209-1212, 2013.

CESAR, A. C. G.; NASCIMENTO, L. F. C.; MANTOVANI, K. C. C.; VIEIRA, L. C. P. Material particulado fino estimado por modelo matemático e internações por pneumonia e asma em crianças. **Revista Paulista de Pediatria**, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 18-23, 2016.

CLIMATE-DATA. **Climograma: Itajubá**. Disponível em: < <https://pt.climate-data.org/location/24906/>>. Acesso em 12 fev. 2018.

CONAMA. Resolução 491 de 19 de novembro de 2018. Dispõe sobre padrões de qualidade do ar. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 21/11/2018. Disponível em: < <http://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?data=21/11/2018&jornal=515&pagina=155&totalArquivos=178>>. Acesso em: 29 nov. 2018.

DACUNTO, P. J., KLEPEIS, N. E., CHENG, K. C., ACEVEDO-BOLTON, V., JIANG, R. T., REPACE, J. L., OTTO, W. R.; HILDEMANN, L. M. Determining PM 2.5 calibration curves for a low-cost particle monitor: common indoor residential aerosols. **Environmental Science: Processes & Impacts**, Zürich, Dv. 17, n. 11, p. 1959-1966, 2015.

DALVITE, B.; OLIVEIRA, D.; NUNES, G.; PERIUS, M.; SCHERER, M. J. Análise do conforto acústico, térmico e lumínico em escolas da rede pública de Santa Maria, RS. **Disciplinarum Scientia, Artes, Letras e Comunicação**, Bragança Paulista, v. 8, n. 1, p. 1-13, 2007.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Manual de Estudos de Tráfego**. Rio de Janeiro: DNIT, 2006. cap.5 e 6.

DE VECCHI, R.; CANDIDO, C.; LAMBERTS, R. O efeito da utilização de ventiladores de teto no conforto térmico em salas de aulas com condicionamento híbrido em um local de clima quente e úmido. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 13, n. 4, p. 189-202, 2013.

DE VECCHI, R.; LAMBERTS, R.; CANDIDO, C. M. The role of clothing in thermal comfort: how people dress in a temperate and humid climate in Brazil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 69-81, 2017.

DIEGUES, C. S.; ETGES, M. F.; SANTOS, F. L. Vegetação em áreas verdes urbanas: Estudo de caso no Campus do Vale UFRGS, Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas, Botânica**, v. 68, p. 319-334, 2015.

DROSSI, R. C. F.; MOMENSOHN-SANTOS, T. O ruído e sua interferência sobre estudantes em uma sala de aula: revisão de literatura. **Pró-Fono Revista de Atualização Científica**, Barueri, v. 17, n. 2, p. 251-8, 2005.

FERREIRA, A. M. C. **Avaliação do conforto acústico em salas de aula: estudo de caso na Universidade Federal do Paraná**. 2006, 128f, Dissertação (Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

FERREIRA, A. M. C.; CARDOSO, S. M. Estudo exploratório da qualidade do ar em escolas de educação básica, Coimbra, Portugal. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 47, n.6, p. 1059-1068, 2013.

FISK, W. J., MIRER, A. G., & MENDELL, M. J. Quantitative relationship of sick building syndrome symptoms with ventilation rates. **Indoor air**, Singapore, v. 19, n. 2, p. 159-165, 2009.

FONSECA GUIMARÃES, A. C., NUNES SANTOS, J., TERRA VASCONCELOS RABELO, A., CASTRO MAGALHÃES, M. A Influência do ruído na habilidade auditiva de ordenação temporal para sons verbais. **Revista CEFAC**, São Paulo, v. 17, n. 1, p. 209-215, 2015.

FORNS, J.; DADVAND, P.; FORASTER, M.; ALVAREZ-PEDREROL, M.; RIVAS, I.; LÓPEZ-VICENTE, M.; ... GRELLIER, J. Traffic-related air pollution, noise at school, and behavioral problems in Barcelona schoolchildren: a cross-sectional study. **Environmental health perspectives** [s.l.], v. 124 n. 4, p. 529-535, 2016.

FRONTCZAK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, West Lafayette. v. 46, n. 4, p. 922-937, 2011.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. T. R. **Manual de conforto térmico**. 5 ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.

GIULI, V.; ZECCHIN, R.; CORAIN, L.; SALMASO, L. Measured and perceived environmental comfort: field monitoring in an Italian school. **Applied ergonomics**, Pittsburgh, v. 45, n. 4, 1035-1047, 2014.

GRAUDENZ, G. S., DANTAS, E. Poluição dos ambientes interiores: doenças e sintomas relacionados às edificações. **Revista Brasileira de Medicina**, São Paulo, v. 2, p. 23-31, 2007.

GUYTON, A. C.; HALL, J. E. **Tratado de fisiologia médica**. 12. ed.. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier, 2011, Cap. 73, p. 913-294.

HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U; SHAUGHNESSY, R. J; COLE, E. C; TOYINBO, O.; MOSCHANDREAS, D. J. An assessment of indoor environmental quality in schools and its association with health and performance. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 93, p. 35-40, 2015.

HEINZERLING, D.; SCHIAVON, S.; WEBSTER, T.; ARENS, E. INDOOR environmental quality assessment models: A literature review and a proposed weighting and classification scheme. **Building and environment**, West Lafayette, v. 70, p. 210-222, 2013.

HWANG, T.; KIM, J. T. Effects of indoor lighting on occupants' visual comfort and eye health in a green building. **Indoor and Built Environment**, Barnsley, v. 20, n. 1, p. 75-90, 2011.

IBGE. **Itajubá**. Disponível em: < <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/mg/itajuba/panorama>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

\_\_\_\_\_. Mapa Minas Gerais. Disponível em: < [https://7a12.ibge.gov.br/images/7a12/estados//minas\\_gerais.pdf](https://7a12.ibge.gov.br/images/7a12/estados//minas_gerais.pdf)>. Acesso em: 14 fev. 2018.

INSTITUTO NACIONAL DE ESTUDOS E PESQUISAS EDUCACIONAIS ANÍSIO TEIXEIRA. **Nota Técnica Índice de Desenvolvimento da Educação Básica – Ideb**. 2016. Disponível em:<[http://download.inep.gov.br/educacao\\_basica/portal\\_ideb/o\\_que\\_e\\_o\\_ideb/Nota\\_Tecnica\\_n1\\_concepcaoIDEB.pdf](http://download.inep.gov.br/educacao_basica/portal_ideb/o_que_e_o_ideb/Nota_Tecnica_n1_concepcaoIDEB.pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2018.

ISO, NBR. CIE 8995-1. 2013. Iluminação de Ambientes de Trabalho.

JAFARI, M. J.; KHAJEVANDI, A. A.; NAJARKOLA, S. A. M; YEKANINEJAD, M. S; POURHOSEINGHOLI, M. A.; OMIDI, L; KALANTARY, S. Association of Sick Building Syndrome with Indoor Air Parameters. **Tanaffos**, Tehran, v.14, n.1, p. 55-62, 2015.

JOHN, J.; THAMPURAN, A. L.; PREMLET, B. Objective and subjective evaluation of acoustic comfort in classrooms: A comparative investigation of vernacular and modern school classroom in Kerala. **Applied Acoustics**, West Lafayette, v. 104, p. 33-41, 2016.

KALIMERI, K. K.; SARAGA, D. E.; LAZARIDIS, V. D.; LEGKAS, N. A.; MISSIA, D. A.; TOLIS, E. I.; BARTZIS, J. G. Indoor air quality investigation of the school environment and estimated health risks: Two-season measurements in primary schools in Kozani, Greece. **Atmospheric Pollution Research**, Izmir, v. 7, n. 6, p. 1128-1142, 2016.

KIM, K. H.; KABIR, E.; KABIR, S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. **Environment international**, Lancaste, U.K., 74, p. 136-143, 2015.

KRISTIANSEN, J., LUND, S. P., PERSSON, R., SHIBUYA, H., NIELSEN, P. M., SCHOLZ, M. A study of classroom acoustics and school teachers' noise exposure, voice load and speaking time during teaching, and the effects on vocal and mental fatigue development. **International archives of occupational and environmental health**, Dordrecht, v. 87, n. 8, p. 851-860, 2014.

KULVE, M.; SCHELLEN, L.; SCHLANGEN, L. J. M.; MARKEN LICHTENBELT, W. D. The influence of light on thermal responses. **Acta Physiologica**, Medford, v. 216, n. 2, p. 163-185, 2016.

LABEEEE. **Analysis SOL-AR**. Disponível em:  
<<http://www.labeee.ufsc.br/downloads/software/analysis-sol-ar>>. Acesso em: 08 abr. 2019.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F.O.R. **Eficiência energética na arquitetura**. 3.ed., Rio de Janeiro: Procel, 2014.

LAMBERTS, R.; XAVIER, A. A.; GOULART, S.; DE VECCHI, R. D. **Conforto e stress térmico**. Florianópolis: LabEEEE, UFSC, 2011.

LUCAS, R. J.; PEIRSON, S. N.; BERSON, D. M.; BROWN, T. M.; COOPER, H. M.; CZEISLER, C. A.; ... PRICE, L. L. Measuring and using light in the melanopsin age. **Trends in neurosciences**, Cambridge, v. 37, n. 1, p. 1-9, 2014.

MARTAU, B. T. A luz além da visão. **Lume Arquitetura**, São Paulo, v. 38, p. 55-61, 2009.

MICHAEL, A.; HERACLEOUS, C. Assessment of natural lighting performance and visual comfort of educational architecture in Southern Europe: The case of typical educational school premises in Cyprus. **Energy and Buildings**, Sydney, v. 140, p. 443-457, 2017.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. A thermal comfort field study of naturally ventilated classrooms in Kharagpur, India. **Building and Environment**, West Lafayette v. 92, p. 396-406, 2015.

MISHRA, A. K.; RAMGOPAL, M. Field studies on human thermal comfort—an overview. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 64, p. 94-106, 2013.

MUJAN, I.; ANĐELKOVIĆ, A.; MUNČAN, V.; KLJAJIĆ, M.; SERBIA, D. R. Igor et al. Influence of Indoor Environmental Quality on human Health and Productivity-A Review. **Journal of Cleaner Production**, Knoxville v. 217, p. 646-657, 2019.

NAM, I.; YANG, J.; LEE, D.; PARK, E.; SOHN, J. R. A study on the thermal comfort and clothing insulation characteristics of preschool children in Korea. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 92, p. 724-733, 2015.

NASCIMENTO, A. P.; SANTOS, J. M.; MILL, J. G.; BOTTONI DE SOUZA, J.; COSTA REIS JÚNIOR, N.; ANSELMO REISEN, V. Associação entre concentração de partículas finas na atmosfera e doenças respiratórias agudas em crianças. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 51, n. 3, p 01-10, 2017.

NAVAI, M.; VEITCH, J.A. **Acoustic satisfaction in open-plan offices: review and recommendations**. Ottawa: Institute for Research in Construction, 2003.

NICOL, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. **Energy and Buildings**, Sydney, v. 36, n. 7, p. 628-637, 2004.

NICOLUSSI, F. H.; MILLA DOS SANTOS, A. P.; DA SILVA ANDRÉ, S. C.; BONAMETTI VEIGA, T.; MAGOSSO TAKAYANAGUI, A. M. Poluição do ar e doenças respiratórias alérgicas em escolares. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 48, n. 2, 2014.

NORHIDAYAH, A., CHIA-KUANG, L., AZHAR, M. K., NURULWAHIDA, S. Indoor air quality and sick building syndrome in three selected buildings. **Procedia Engineering**, Amsterdam, v 53, p. 93-98, 2013.

NUNES, M. N. C.; NOGUEIRA, C. R. M.; RICCI, T. M. Utilização das cores em ambientes residenciais. **Blucher Design Proceedings**, Belo Horizonte, v. 2, n. 9, p. 4898-4910, 2016.

NUNES, M.; RIBEIRO, H. Interferências do ruído do tráfego urbano na qualidade de vida: zona residencial de Brasília/DF. **Cadernos Metrópole**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 319-338, 2008.

NUNES, R. A. O.; BRANCO, P. T. B. S.; ALVIM-FERRAZ, M. C. M.; MARTINS, F. G.; SOUSA, S. I. V. Particulate matter in rural and urban nursery schools in Portugal. **Environmental pollution**, New York, v. 202, p. 7-16, 2015.

PALMA, A., UBIRAJARA, A. D. O., DE ALMEIDA, M. N.; DE OLIVEIRA, G. E. M. C. Nível de ruído no ambiente de trabalho do professor de educação física em aulas de ciclismo indoor. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v.43, n. 2, p. 345-351, 2009.

PARKINSON, T.; A.; DE DEAR, R. Continuous IEQ monitoring system: Context and development. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 149, p. 15-25, 2019.

PENG, J.; WANG, D.; LAU, S. K.; YAN, N.; JIANG, P.; WU, S. An investigation of acoustic treatment for children in a classroom of an elementary school. **Applied Acoustics**, West Lafayette, v. 89, p. 42-45, 2015.

PEREIRA, M. C.; RIBEIRO, L. Stresse, catecolaminas e risco cardiovascular. **Arquivos de Medicina**, Porto, v. 26, n. 6, p. 245-253, 2012.

PRABAKAR, J.; MOHAN, V.; RAVISANKAR, K. Evaluation of low cost particulate matter sensor for indoor air quality measurement. **International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology**, Hyderabad, v. 4, n. 2, 2015.

PUJOL, S., LEVAIN, J. P., HOUOT, H., PETIT, R., BERTHILLIER, M., DEFRANCE, J. ...; MAUNY, F. Association between ambient noise exposure and school performance of children living in an urban area: a cross-sectional population-based study. **Journal of Urban Health**, v. 91, n. 2, p. 256-271, 2014

RABELO, A. T. V., SANTOS, J. N., SOUZA, B. O., GAMA, A. C. C., CASTRO MAGALHÃES, M. The Influence of Noise on the Vocal Dose in Women. **Journal of Voice**, Philadelphia, p.1-6, 2017.

RABELO, A. T. V.; SANTOS, J. N.; OLIVEIRA, R. C.; CASTRO MAGALHÃES, M. Efeito das características acústicas de salas de aula na inteligibilidade de fala dos estudantes. **Codas**, Belo Horizonte, v. 26, n. 5, p. 360-366, 2014.

REBOITA, M. S; RODRIGUES, M; SILVA, L. F; ALVES, M. A. Aspectos climáticos do estado de minas gerais (climate aspects in minas gerais state). **Revista brasileira de Climatologia**, v. 17, p. 205-226, 2015.

REDLICH, C. A; SPARER, J; CULLEN, M. R. Sick-building syndrome. **The Lancet**, London, v. 349, n. 9057, p. 1013–16, 1997.

RELUX. **Relux Desktop – the new approach to planning**. Disponível em: <<https://reluxnet.relux.com/en/relux-desktop.html>. Acesso em: 07 nov. 2018.

REQUIA, W. J.; ADAMS, M. D.; ARAIN, A.; FERGUSON, M. Particulate matter intake fractions for vehicular emissions at elementary schools in Hamilton, Canada: an assessment of outdoor and indoor exposure. **Air Quality, Atmosphere & Health**, Dordrecht, v. 10, n. 10, p. 1259-1267, 2017.

RIBEIRO, M. E.; OLIVEIRA, R. L. D. S., SANTOS, T. M. M., SCHARLACH, R. C. A percepção dos professores de uma escola particular de Viçosa sobre o ruído nas salas de aula. **Revista Equilíbrio Corporal e Saúde**, São Paulo, v. 2, n. 1, 2010.

RUNESON-BROBERG, R., & NORBÄCK, D. Sick building syndrome (SBS) and sick house syndrome (SHS) in relation to psychosocial stress at work in the Swedish workforce. **International archives of occupational and environmental health**, Dordrecht, v. 86 n. 8, p. 915-922, 2013.

RUSSO, D.; RUGGIERO, A. Choice of the optimal acoustic design of a school classroom and experimental verification. **Applied Acoustics**, West Lafayette, v. 146, p. 280-287, 2019.

SAENEN, N. D.; PROVOST, E. B.; VIAENE, M. K.; VANPOUCKE, C.; LEFEBVRE, W.; VRIJENS, K.; NAWROT, T. S. Recent versus chronic exposure to particulate matter air pollution in association with neurobehavioral performance in a panel study of primary schoolchildren. **Environment international**, Lancaster, UK v. 95, p. 112-119, 2016.

SALA, E.; RANTALA, L. Acoustics and activity noise in school classrooms in Finland. **Applied Acoustics**, West Lafayette, v. 114, p. 252-259, 2016.

SANT'ANNA, D. O. **Qualidade ambiental interna e satisfação dos usuários de agências bancárias certificadas verdes e similares convencionais em São Paulo**. 2015, 208 fl, Tese de Doutorado (Arquitetura e Urbanismo). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

SCHIRMER, W. N.; PIAN, L. B.; SZYMANSKI, M. S. E.; GAUER, M. A. A poluição do ar em ambientes internos e a síndrome dos edifícios doentes. **Ciência & Saúde Coletiva**, Rio de Janeiro, v. 16, n. 8, p. 3583-3590, 2011.

SCHMID, A. L. **A ideia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. 2 ed. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005. cap. 1 e 8.

SCHULZ, D., CECONI, T. M., SCHULZ, A., BATISTA, C. R., PARUCKER, L. M. Doença dos legionários: uma revisão. **Revista Brasileira de Análises Clínicas**, Rio de Janeiro, v. 37, n. 4, p. 251-255, 2005.

SEBRAE. **Identidade empresarial dos municípios mineiros: Itajubá**. Belo Horizonte: SEBRAE, 2014. Disponível em: <file:///C:/Users/Jessica/Downloads/Identidade+Empresarial+dos+Munic%C3%ADpios+Min eiros+-+Itajub%C3%A1.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2018.

SECCHI, S.; ASTOLFI, A.; CALOSSO, G.; CASINI, D.; CELLAI, G.; SCAMONI, F.; ... SHTREPI, L. Effect of outdoor noise and façade sound insulation on indoor acoustic environment of Italian schools. **Applied Acoustics**, West Lafayette, v. 126, p. 120-130, 2017.

SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N, Atmospheric Trace Constituents. In: SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. 2 ed. John Wiley & Sons, 2006.

SILVA, L.T.; OLIVEIRA, I. S.; SILVA, J. F. The impact of urban noise on primary schools. Perceptive evaluation and objective assessment. **Applied Acoustics**, West Lafayette, v. 106, p. 2-9, 2016.

SIVIERO, A.; DELUNARDO, T. A.; HAVERROTH, M.; OLIVEIRA, L. C. D.; ROMAN, A. L. C.; MENDONÇA, Â. M. D. S. Plantas ornamentais em quintais urbanos de Rio Branco, Brasil. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Humanas**, Belém, p. 797-813, 2014.

SLINEY, D. H. Radiometric quantities and units used in photobiology and photochemistry: recommendations of the Commission Internationale de l'Eclairage (International Commission on Illumination). **Photochemistry and photobiology**, v. 83, n. 2, p. 425-432, 2007.

SOUZA P. M. B, **Estresse térmico em trabalhadores expostos ao ar livre: perspectivas para o século XXI**. 2017, 91f, Dissertação (Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2017.

SROYKHAM, W.; WONGSATHIKUN, J.; WONGSAWAT, Y. The effects of perceiving color in living environment on QEEG, oxygen saturation, pulse rate, and emotion regulation in humans. In: **2014 36th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society**. IEEE, p. 6226-6229, 2014.

STANSFELD, S.; CLARK, C. Health effects of noise exposure in children. **Current environmental health reports**, Philadelphia, v. 2, n. 2, p. 171-178, 2015.

STERLING, T. D.; COLLETT, C.; RUMEL, D. A epidemiologia dos “edifícios doentes”. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 25, n.1, p. 56-63, 1991.

TAMURA, C. A.; KRÜGER, E. L. Estudo piloto em câmara climática: efeito da luz natural em aspectos de saúde e bem-estar não relacionados à visão. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 2, p. 149-168, 2016.

TARGINO, A. C., GIBSON, M. D., KRECL, P., RODRIGUES, M. V. C., DOS SANTOS, M. M., DE PAULA CORRÊA, M. Hotspots of black carbon and PM<sub>2.5</sub> in an urban area and relationships to traffic characteristics. **Environmental pollution**, New York, v. 218, p. 475-486, 2016.

TELI, D.; JENTSCH, M. F.; JAMES, P. A. B. Naturally ventilated classrooms: An assessment of existing comfort models for predicting the thermal sensation and preference of primary school children. **Energy and Buildings**, Sydney, v. 53, p. 166-182, 2012.

TIESLER, G.; MACHNER, R.; BROKMANN, H. Classroom Acoustics and Impact on Health and Social Behaviour. **Energy Procedia**, Estocolmo, v. 78, p. 3108-3113, 2015.

TURUNEN, M., TOYINBO, O., PUTUS, T., NEVALAINEN, A., SHAUGHNESSY, R.; HAVERINEN-SHAUGHNESSY, U. Indoor environmental quality in school buildings, and the health and wellbeing of students. **International journal of hygiene and environmental health**, Atlanta. v. 217, n. 7, 733-739, 2014.

VILCEKOVA, S., MECIAROVA, L., BURDOVA, E. K., KATUNSKA, J., KOSICANOVA, D.; DOROUDIANI, S. Indoor environmental quality of classrooms and occupants' comfort in a special education school in Slovak Republic. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 120, p. 29-40, 2017.

WARGOCKI, P.; WYON, D. P. Ten questions concerning thermal and indoor air quality effects on the performance of office work and schoolwork. **Building and Environment**, West Lafayette v. 112, p. 359-366, 2017.

WIDMAIER, E. P.; RAFF, H.; STRANG, K. T. **Fisiologia humana: os mecanismos das funções corporais**. Tradução Vander. 10. ed.. Rio de Janeiro, RJ: Guanabara Koogan, 2013. Cap. 7 (Fisiologia Sensorial) p. 209-226.

WIERZBICKA, A.; BOHGARD, M.; PAGELS, J. H.; DAHL, A.; LÖNDAHL, J.; HUSSEIN, T.; GUDMUNDSSON, A. Quantification of differences between occupancy and total monitoring periods for better assessment of exposure to particles in indoor environments. **Atmospheric Environment**, Hong Kong, v. 106, p. 419-428, 2015.

WINTERBOTTOM, M; WILKINS, A. Lighting and discomfort in the classroom. **Journal of environmental psychology**, Washington, v. 29, n. 1, p. 63-75, 2009.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Air quality guidelines: global update 2005**. World Health Organization, 2006.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. Indoor air quality: biological contaminants. WHO regional publications. **WHO**, European series n. 3, p. 1-54, 1990.

XU, H.; GUINOT, B.; HANG HO; S.S.; LI, Y.; CAO, J.; SHEN, Z.; NIU, X.; ZHAO, Z.; . LIU, S.; LEI, Y.; ZHANG, Q.; SUN, J. Evaluation on exposures to particulate matter at a junior secondary school: a comprehensive study on health risks and effective inflammatory responses in Northwestern China. **Environmental geochemistry and health**, v. 40, n. 2, p. 849-863, 2018.

YUN, H; NAM, I.; KIM, J.; YANG, J.; LEE, K.; SOHN, J. A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children. **Building and Environment**, West Lafayette, v. 75, p. 182-189, 2014.

ZANNIN, P.H.T.; ZWIRTES, D. P. Z. Evaluation of the acoustic performance of classrooms in public schools. **Applied Acoustics**, West Lafayette, v. 70, n. 4, p. 626-635, 2009.

ZEE-MG. Mapa de zoneamento. Disponível em:  
<<http://geosisemanet.meioambiente.mg.gov.br/zee/>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

ZOMORODIAN, Z. S.; TAHSILDOOST, M.; HAFEZI, M. Thermal comfort in educational buildings: A review article. **Renewable and sustainable energy reviews**, Belfast, v. 59, p. 895-906, 2016.

ZWOZDZIAK, A.; SÓWKA, I.; WILLAK-JANC, E.; ZWOZDZIAK, J.; KWIECIŃSKA, K.; BALIŃSKA-MIŚKIEWICZ, W. Influence of PM1 and PM2. 5 on lung function parameters in healthy schoolchildren - a panel study. **Environmental Science and Pollution Research**, Pisa, v. 23, n. 23, p. 23892-23901, 2016.

## APÊNDICE A - Check list das informações coletadas para diagnóstico das salas de aula

Escola:	
Data:	
Dados Gerais	
Identificação da sala de aula	
Número de alunos na sala de aula	
Horário início e término aula	
Estrutura	
Número do pavimento	
Dimensão da sala (m <sup>2</sup> )	
Posição das janelas	
Há ventiladores?	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Há cortinas?	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Tipo de iluminação utilizada	<input type="checkbox"/> natural <input type="checkbox"/> incandescente <input type="checkbox"/> fluorescente    (...) led
Cor das paredes	
O quadro é negro com uso de giz?	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Existem plantas nas salas	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não
Periodicidade de limpeza da sala	
Hábitos	
A porta fica aberta?	<input type="checkbox"/> sempre <input type="checkbox"/> as vezes <input type="checkbox"/> nunca
As janelas ficam abertas?	<input type="checkbox"/> sempre <input type="checkbox"/> as vezes <input type="checkbox"/> nunca
Os ventiladores ficam ligados?	<input type="checkbox"/> sempre <input type="checkbox"/> as vezes <input type="checkbox"/> nunca
É utilizada luz artificial?	<input type="checkbox"/> sempre <input type="checkbox"/> as vezes <input type="checkbox"/> nunca