

Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil
Núcleo Orientado para Inovação da Edificação

**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO, ACÚSTICO E LUMÍNICO
DE EDIFICAÇÃO ESCOLAR COM ESTRATÉGIAS
SUSTENTÁVEIS E BIOCLIMÁTICAS: O CASO DA ESCOLA
MUNICIPAL DE ENSINO FUNDAMENTAL FREI PACÍFICO**

Carolina B. Gemelli

Porto Alegre
2009

CAROLINA B. GEMELLI

**AVALIAÇÃO DE CONFORTO TÉRMICO, ACÚSTICO E LUMÍNICO
DE EDIFICAÇÃO ESCOLAR COM ESTRATÉGIAS
SUSTENTÁVEIS E BIOCLIMÁTICAS: O CASO DA ESCOLA
MUNICIPAL DE ENSINO FUNDAMENTAL FREI PACÍFICO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia na modalidade Acadêmico

Prof. Miguel Aloysio Sattler
PhD pela University of Sheffield, Inglaterra
Orientador

Prof. Luiz Carlos Pinto da Silva Filho
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Prof. Aloísio Leoni Schmid (UFPR)
Doutor pela Universitat Karlsruhe, Alemanha

Prof. Antonio Cesar Silveira Baptista da Silva (UFPeI)
Doutor pela Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil

Profa. Ana Luiza Raabe Abitante (UFRGS)
Doutora pela Universidade do Rio Grande do Sul, Brasil

G322a Gemelli, Carolina Silveira Barlem

Avaliação de conforto térmico, acústico e lumínico de edificação escolar com estratégias sustentáveis e bioclimáticas : o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico / Carolina B. Gemelli. – 2009.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, BR-RS, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler

1. Conforto ambiental. 2. Sustentabilidade. 3. Satisfação do usuário. 4. Escola. I. Sattler, Miguel Aloysio, orient. II. Título.

CDU-69:658(043)

Aos meus amores, Juliano e Guilherme; e meus pais,
Rogério e Sandra.

AGRADECIMENTOS:

Agradeço a CAPES e ao CNPQ pela bolsa de estudos que possibilitou a realização dessa pesquisa.

Ao meu orientador, professor PhD Miguel A. Sattler, por sua dedicação, incentivo e amizade durante esta longa jornada.

À minha família, pelo apoio e compreensão. Meus pais, pela educação, amor e confiança depositada em todos os momentos. Minhas cunhadas, Sabrine e Tanise, por estarem disponíveis sempre que precisei.

Ao Juliano, meu marido, por toda a sua dedicação. Seu apoio e compreensão foram essenciais para conclusão desse trabalho; agradeço também pelo seu amor dispensado nos momentos mais difíceis.

Ao Guilherme, meu filho, por ser tão especial; pelo seu amor e carinho incondicionais.

Aos amigos do NORIE, por saberem escutar meus problemas e com os quais convivi bons momentos. Em especial a Juliana Brito e Caroline Kehl que provaram ser grandes amigas ao longo da jornada.

A todos os professores e funcionários do NORIE, que fazem do NORIE um lugar tão especial e acolhedor, onde contamos com a presença de pessoas qualificadas que estão sempre prontas a ajudar.

Ao Professor Heitor, que gentilmente me cedeu alguns equipamentos do Laboratório de Conforto da Faculdade de Arquitetura, UFRGS, para a pesquisa. À Luciane pela intermediação no empréstimo destes equipamentos.

E a todos que contribuíram de alguma forma para a realização desse trabalho.

RESUMO

GEMELLI, C. B. Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Lumínico de Edificação Escolar com Estratégias Sustentáveis e Bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2009.

As condições fornecidas pelo espaço físico de instituições de ensino são determinantes para o desenvolvimento das atividades de ensino e aprendizado. O presente trabalho dá continuidade às pesquisas do grupo da Linha de Pesquisa em Edificações e Comunidades Sustentáveis do NORIE/UFRGS, objetivando a avaliação das alternativas propostas para escola de ensino fundamental projetada utilizando estratégias sustentáveis, pelo próprio grupo em 2004. Assim, a presente pesquisa **teve como objetivo** explorar a referida escola, através de **uma avaliação do conforto** ambiental nos espaços construídos. Para tal, foi realizada uma análise exploratória das características dos materiais que envolvem a escola, além de **medições térmicas, acústicas e lumínicas**. Também foi verificado o **nível de satisfação dos usuários**, através de ferramentas quantitativas e qualitativas, buscando verificar como os seus ocupantes respondem à proposta sustentável da edificação e às **condições de conforto ambiental oferecidas a seus ocupantes**. Os dados térmicos, com monitoramento de maio a dezembro de 2008, foram analisados através de valores máximos e mínimos absolutos, zonas de conforto (considerando temperatura e umidade) e gráficos de graus-hora. Os dados lumínicos, coletados próximos aos solstícios e equinócio de primavera, foram analisados em relação às iluminâncias médias do ambiente, coeficiente de uniformidade e contribuição da luz artificial. Os dados acústicos, coletados em dia específico de atividades na escola, através dos níveis de pressão sonora causados por ruídos externos e o tempo de reverberação dos ambientes. Por fim, também foi verificada a satisfação dos usuários através de aplicação de questionário nos alunos e de grupo de foco, realizado junto aos professores. Através do cruzamento de todas as análises realizadas, concluiu-se que a resposta da edificação escolar, em geral, foi satisfatória, e, portanto, capaz de oferecer condições de conforto ambiental aos seus usuários. Espera-se que esta pesquisa contribua para a melhoria da eficiência energética, conforto ambiental e sustentabilidade de edificações escolares.

Palavras-chave: conforto ambiental; edificação escolar; sustentabilidade, satisfação do usuário.

ABSTRACT

GEMELLI, C. B. Thermal, Luminous and Acoustical Evaluation of Educational Buildings Designed with Sustainable and Bioclimatic Strategies: Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2009.

The conditions supplied by the physical spaces of educational buildings are very important for the development of learning and teaching activities. The present work gives continuation to the studies developed by the research group on Sustainable Buildings and Communities at NORIE/UFRGS, aiming to evaluate the different alternatives to a primary school building designed with the use of sustainable strategies, as proposed by the same group in 2004. Therefore, the present study had as main aim to carry out the indoor comfort evaluation of the facilities in use within the above mentioned school, through thermal, acoustic and daylighting measurements. After verifying the users satisfaction, by means of quantitative and qualitative tools, the environmental performance of the building was assessed. The collected data were analyzed in different ways. The thermal data, monitored from May to December of 2008, were analyzed through the absolute maximum and minimum temperatures, comfort zone (temperature and relative humidity) and the degree hours. The lighting data, collected on the solstices and at the spring equinox, were analyzed considering the classroom's illuminance, the distribution of illuminance values in the classroom, and the artificial lighting contribution. The acoustical data, collected in a specific day of regular activities in the school, were analyzed by looking at the different sound levels caused by external sound sources, and at the reverberation time of the classrooms. Finally, the users satisfaction was checked by questionnaires applied to the students and by meetings carried out with the teachers of the school. It was concluded, through the comparison of information from the analysis carried out, that the response of the educational building was satisfactory, therefore able to offer indoor comfort conditions to its users. It is expected that the most important contribution of this study will be related to the improvement of the indoor comfort of educational buildings.

Keywords: indoor comfort; educational buildings, users satisfaction, sustainability.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA.....	18
1.2 PROBLEMA DE PESQUISA.....	20
1.3 OBJETIVOS.....	23
1.3.1 Objetivo principal.....	23
1.4 DELIMITAÇÕES.....	23
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2 CONFORTO AMBIENTAL.....	26
2.1 CONFORTO TÉRMICO.....	26
2.1.1 Percepção humana.....	27
2.1.2 Variáveis climáticas.....	28
2.1.3 Características do ambiente construído.....	29
2.1.4 Índices de conforto térmico.....	32
2.1.4.1 Graus-dia e graus-hora.....	33
2.1.4.2 Carta bioclimática.....	34
2.2 CONFORTO LUMÍNICO.....	36
2.2.1 Percepção humana.....	36
2.2.2 Fontes de Luz.....	37
2.2.3 Luz no ambiente construído.....	38
2.2.4 Níveis de iluminância, segundo a Norma.....	40
2.3 CONFORTO ACÚSTICO.....	41
2.3.1 Percepção humana.....	42
2.3.2 Fontes de ruído.....	43
2.3.3 Ruídos no ambiente construído.....	43
2.3.4 Níveis de pressão sonora, segundo a norma.....	46
2.4 SATISFAÇÃO DOS USUÁRIOS.....	48
2.5 CONFORTO AMBIENTAL NAS EDIFICAÇÕES ESCOLARES.....	50
2.5.1 Conforto térmico nas edificações escolares.....	50
2.5.2 Conforto lumínico nas edificações escolares.....	51
2.5.3 Conforto acústico em edificações escolares.....	53
2.5.4 Satisfação dos usuários em edificações escolares.....	53
3 MÉTODO DE PESQUISA.....	54
3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA.....	54
3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	55
3.3 DETALHAMENTO DAS ETAPAS DA PESQUISA.....	56

3.3.1	Caracterização da pesquisa.....	56
3.3.1.1	Localização da edificação escolar.....	57
3.3.1.2	Características climáticas.....	57
3.3.1.3	Projeto executivo.....	57
3.3.1.4	Materiais e técnicas construtivas.....	58
3.3.1.5	Caracterização da ocupação da edificação escolar.....	59
3.3.1.6	Medições pré-teste.....	59
3.3.1.7	Questionário piloto.....	60
3.3.2	Coleta e processamento dos dados.....	60
3.3.2.1	Medições térmicas.....	61
3.3.2.2	Medições lumínicas.....	61
3.3.2.3	Medições acústicas.....	62
3.3.2.4	Satisfação dos usuários.....	62
3.3.3	Análise de dados.....	63
3.3.3.1	Resultados das medições térmicas.....	63
3.3.3.2	Resultados das medições lumínicas.....	64
3.3.3.3	Resultados das medições acústicas.....	65
3.3.3.4	Resultados da verificação de satisfação dos usuários.....	65
4	ESCOLA FREI PACÍFICO: DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO.....	67
4.1	LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ESCOLAR.....	67
4.2	CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS.....	68
4.3	PROJETO EXECUTIVO.....	70
4.4	MATERIAIS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS	73
4.5	DADOS DE OCUPAÇÃO.....	75
5	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	78
5.1	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES TÉRMICAS.....	78
5.1.1	Equipamentos de medição térmica.....	78
5.1.2	Definição da amostra de medição térmica.....	79
5.1.3	Caracterização da amostra para medição térmica.....	80
5.1.4	Ventilação.....	81
5.1.5	Temperatura do ar.....	83
5.1.6	Umidade relativa.....	85
5.1.7	Gráficos graus-hora.....	88
5.1.7.1	Temperaturas externas.....	88
5.1.7.2	Temperaturas internas.....	90
5.1.7.3	Temperaturas internas, durante o período de ocupação.....	93
5.1.8	Carta bioclimática.....	96
5.1.9	Conclusões das medições térmicas.....	102
5.2	RESULTADOS DAS MEDIÇÕES LUMÍNICAS.....	104
5.2.1	Equipamento de medição lumínica.....	104

5.2.2	Definição da amostra de medição lumínica.....	105
5.2.3	Malha para medições lumínicas.....	105
5.2.4	Caracterização da amostra para medição lumínica.....	107
5.2.5	Iluminação.....	108
5.2.6	Resultados da medição no solstício de inverno.....	110
5.2.7	Resultados da medição no equinócio de primavera.....	118
5.2.8	Resultados da medição no solstício de verão.....	124
5.2.9	Conclusões medições lumínicas.....	129
5.3	MEDIÇÕES ACÚSTICAS.....	133
5.3.1	Equipamento de medição acústica.....	134
5.3.2	Definição da amostra de medição acústica.....	135
5.3.3	Tempo de reverberação.....	138
5.3.4	Medição do ruído externo.....	140
5.3.5	Medição na sala de aula.....	142
5.3.6	Medição na circulação.....	144
5.3.7	Medição na quadra de esportes.....	147
5.3.8	Conclusões da medições acústicas.....	148
5.4	SATISFAÇÃO DOS USUÁRIOS.....	149
5.4.1	Questionário definitivo.....	149
5.4.2	Definição da amostra.....	152
5.4.3	Grupo de foco.....	152
5.4.4	Resultados do questionário fechado aplicado nos alunos.....	153
5.4.4.1	Questões gerais.....	154
5.4.4.2	Questões relativas ao conforto térmico.....	155
5.4.4.3	Questões relativas ao conforto lumínico.....	156
5.4.4.4	Questões relativas ao conforto acústico.....	159
5.4.4.5	Conclusões dos resultados obtidos na aplicação dos questionários.....	161
5.4.5	Resultados do grupo de foco com professores.....	164
5.4.5.1	Questões gerais.....	164
5.4.5.2	Questões relativas ao conforto térmico.....	165
5.4.5.3	Questões relativas ao conforto lumínico.....	166
5.4.5.4	Questões relativas ao conforto acústico.....	167
5.4.5.5	Conclusões resultantes dos grupo de foco.....	168
5.4.6	Conclusões sobre os resultados quanto à satisfação dos usuários.....	168
6	CONCLUSÕES.....	170
6.1	CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS.....	170
6.2	SUGESTÕES PARA MELHORIA DA EDIFICAÇÃO.....	172
6.3	SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	173

Lista de Figuras

Figura 1: carta bioclimática proposta em estudo desenvolvido por Givoni em 1992	35
Figura 2: carta bioclimática proposta em estudo desenvolvido por Givoni em 1992.....	36
Figura 3: tempos de reverberação recomendados em 500 Hz, para ambientes fechados destinados a diferentes usos, conforme o volume do mesmo.....	46
Figura 4: gráfico para determinação da distância para comunicação face a face, em função do ruído interferente, dado em termos do nível A-ponderado, SIL e PSIL	47
Figura 5: delineamento da pesquisa.....	57
Figura 6: foto do equipamento utilizado para medições térmicas - pingüim.....	65
Figura 7: foto da interface que transfere dados do pingüim para computador.....	65
Figura 8: localização dos sensores térmicos em planta e corte.....	66
Figura 9: Luxímetro utilizado nas medições lumínicas.....	68
Figura 10: planta baixa com marcação da malha de 36 pontos de medição sala de aula E.....	70
Figura 11: pontos de medição utilizados para verificação da contribuição da iluminação artificial na sala de aula E.....	70
Figura 12: (a) pontos de medição do nível de iluminância no quadro negro da sala de aula E (b) e pontos de medição do nível de iluminância no local previsto em projeto para o quadro negro da sala de aula E.....	70
Figura 13: decibelímetro utilizado nas medições acústicas.....	73
Figura 14: implantação da escola, com localização dos pontos de medição acústica.....	74
Figura 15: questionário definitivo aplicado nos alunos da edificação escolar, nos turnos da manhã e tarde.....	77
Figura 16: roteiro utilizado durante grupo de foco com professores.....	79
Figura 17: vista aérea da localização da Escola Frei Pacífico.....	85
Figura 18: vista aérea da Escola Frei Pacífico.....	85
Figura 19: implantação da Escola Frei Pacífico.....	89
Figura 20: Fachada Norte (Blocos 1,2 e 3) da Escola Frei Pacífico.....	90
Figura 21: Fachada Leste (Bloco 1) da Escola Frei Pacífico.....	90
Figura 22: blocos 01 e 03 com localização das salas de aula e sua utilização conforme turno e ano.....	90
Figura 23: corte sala de aula e circulação coberta	92

Figura 24: planta baixa da sala de aula padrão com esquema de ventilação – ventilação cruzada.....	92
Figura 25: corte da sala de aula padrão, com esquema de ventilação - efeito chaminé.....	92
Figura 26: trajetória solar fachada sul das salas de aula B, C, D e E.....	96
Figura 27: trajetória solar fachada norte esquadrias superiores das salas de aula B, C, D e E	96
Figura 28: distribuição de UR (em horas), sensores externos e internos.....	106
Figura 29: percentuais de conforto, em termos de UR, para (a) sensores externos e (b) sensores internos.....	108
Figura 30: graus-hora, tendo por referência os sensores externos.....	109
Figura 31: percentuais zonas de conforto sensores externos – (a) conforto entre 14°C e 29°C (b) conforto entre 18°C e 26°C.....	109
Figura 32: graus-hora associados aos sensores internos.....	112
Figura 33: percentuais de horas de conforto para sensores internos – (a) zona de conforto entre 14°C e 29°C (b) zona de conforto entre 18°C e 26°C.....	112
Figura 34: percentuais zonas de conforto para sensores internos considerando dados do período de ocupação da escola (a) zona de conforto entre 14°C e 29°C (b) zona de conforto entre 18°C e 26°C.....	114
Figura 35: graus-hora associado aos sensores internos – dados associados a períodos com ocupação e dados globais.....	117
Figura 36: carta psicrométrica, com zonas de conforto, associada aos valores dos sensores dispostos no exterior.....	117
Figura 37: carta psicrométrica com indicação dos dados coletados pelos sensores localizados no interior das salas.....	120
Figura 38: carta psicrométrica resultante dos dados dos sensores internos, considerando os horários de ocupação da escola	122
Figura 39: implantação da escola com resultados finais medição térmica.....	125
Figura 40: Condição do céu no dia da medição (13/06/2008) – céu claro.....	126
Figura 41: mapeamento dos níveis de iluminância obtidos na medição do dia 13/06/08 nos diferentes horários na sala de aula E.....	129
Figura 42: iluminância média encontrada na medição solstício de inverno para os diferentes horários	131
Figura 43: coeficiente de uniformidade para medição solstício de inverno nos diferentes horários.....	131

Figura 44: iluminâncias médias encontradas quadro negro existente e quadro negro projetado no solstício de inverno nos diferentes horários.....	132
Figura 45: ganho de iluminância com iluminação artificial no solstício de inverno nos diferentes horários.....	133
Figura 46: Condição do céu no dia da medição (23/09/2008) – céu predominantemente parcialmente nublado.....	133
Figura 47: mapeamento dos níveis de iluminância obtidos na medição do dia 23/09/08 nos diferentes horários na sala de aula E.....	135
Figura 48: iluminância média encontrada na medição equinócio de primavera para os diferentes horários	137
Figura 49: coeficiente de uniformidade para medição equinócio de primavera nos diferentes horários.....	137
Figura 50: iluminâncias médias encontradas no quadro negro existente e no local projetado para o quadro negro, no equinócio de primavera, nos diferentes horários.....	138
Figura 51: ganho de iluminância com iluminação artificial no equinócio de primavera nos diferentes horários.....	139
Figura 52: Condição do céu no dia da medição (20/12/2008) – céu parcialmente nublado.....	139
Figura 53: mapeamento dos níveis de iluminância obtidos na medição do dia 20/12/08 nos diferentes horários na sala de aula E.....	141
Figura 54: iluminância média encontrada na medição do solstício de verão para os diferentes horários	142
Figura 55: coeficientes de uniformidade para a medição realizada no solstício de verão...	143
Figura 56: iluminâncias médias encontradas sobre o quadro negro existente e no local projetado para o quadro negro projetado, no solstício de verão.....	144
Figura 57: ganho de iluminância com iluminação artificial no solstício de verão nos diferentes horários.....	144
Figura 58: mapeamento das medições lumínicas - solstício de inverno (13/06), equinócio de primavera (23/09) e solstício de verão(20/12), nos diferentes horários.....	147
Figura 59: localização do equipamento nas medições 01 e 02.....	150
Figura 60: nível de pressão sonora, nas medições externas - tráfego	151
Figura 61: medidor do nível de pressão sonora, no momento das medições externas - tráfego.....	151
Figura 62: distribuição de freqüência dos níveis de pressão sonora nas medições 01 e 02	151

Figura 63: localização do equipamento nas medições 03, 04 e 05.....	152
Figura 64: níveis de pressão sonora, nas medições internas – sala E	153
Figura 65: medidor de nível de pressão sonora, no momento das medições internas - sala de aula E.....	153
Figura 66: distribuição de freqüência dos níveis de pressão sonora nas medições 03, 04 e 05.....	154
Figura 67: localização do equipamento nas medições 06, 07 e 08.....	155
Figura 68: nível de pressão sonora, nas medições externas – circulação	155
Figura 69: medidor de nível de pressão sonora, no momento das medições externas - circulação.....	155
Figura 70: distribuição de freqüência dos níveis de pressão sonora, nas medições 06, 07 e 08.....	156
Figura 71: localização equipamento na medição 09.....	157
Figura 72: nível de pressão sonora, na medição quadra de esportes.....	158
Figura 73: distribuição de freqüência dos níveis de pressão sonora, na medição 09.....	158
Figura 74: localização do equipamento nas medições acústicas.....	159
Figura 75: gráficos relativos à questão de opinião geral dos alunos sobre a da escola.....	160
Figura 76: gráficos relativos a questão de opinião geral dos alunos sobre a sala de aula.....	161
Figura 77: gráficos relativos à temperatura interna na sala de aula, no inverno.....	161
Figura 78: gráficos relativos à temperatura interna na sala de aula, no verão.....	162
Figura 79: gráficos relativos à questão da ventilação na sala de aula.....	163
Figura 80: gráficos relativos à incidência de luz solar na mesa.....	164
Figura 81: gráficos relativos à incidência de radiação solar no quadro negro.....	164
Figura 82: gráficos relativos à iluminação natural da sala de aula.....	165
Figura 83: gráficos relativos à iluminação artificial na sala de aula.....	165
Figura 84: gráficos relativos à existência de ruídos externos à sala de aula.....	166
Figura 85: gráfico relativos à procedência de ruídos externos.....	167
Figura 86: Diagrama de Pareto, relacionado aos turnos da escola.....	168
Figura 87: Diagrama de Pareto total da amostra	169

Lista de Tabelas

Tabela 1: iluminâncias em lux, por tipo de atividade (adaptado da fonte: ABNT, 1992a, p.4 e p.11).....	41
Tabela 2: nível critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A) - fonte ABNT (2000, p.3).....	47
Tabela 3: curvas de avaliação de ruído (NC) e níveis sonoros A-ponderados recomendados (adaptado da fonte: ABNT,1987, p.2)	48
Tabela 4: dados de temperatura e umidade relativa do ar em Porto Alegre - período de 1951 a 1970 (fonte: GOULART, LAMBERTS, FIRMINO, 1997, p. 194-196).....	69
Tabela 5: dados climatológicos de Porto Alegre de 1951 a 1970 - fonte (UBER, 1992, p.107-110).....	70
Tabela 6: localização dos sensores térmicos.....	79
Tabela 7: volume de ar renovado de acordo com esquadrias existentes - sala de aula A, B, C, D e E	82
Tabela 8: trocas de ar necessária nas salas de aula - ventilação higiênica.....	82
Tabela 9: temperaturas mínimas registradas nos sensores externos e internos.....	83
Tabela 10: temperaturas máximas registradas nos sensores externos e internos.....	84
Tabela 11: temperaturas máximas, médias e mínimas nos sensores externos e internos....	85
Tabela 12: graus-hora e grau-médio para os valores de temperatura registrados pelos sensores externos 317 e 318.....	89
Tabela 13: graus-hora e grau-médio dos sensores externos e internos no bloco 01.....	92
Tabela 14: graus-hora e grau-médio dos sensores externos e internos no bloco 03.....	92
Tabela 15: graus-hora e grau-médio relativos às condições no interior das salas, considerando apenas o período de ocupação.....	94
Tabela 16: relatório com leituras realizadas pelos sensores externos e ano climático de referência de Porto Alegre.....	97
Tabela 17: relatório com condições de conforto, resultante dos resultados obtidos pelos sensores internos.....	99
Tabela 18: relatório com condições de conforto, resultante dos dados dos sensores internos, considerando os horários de ocupação da escola.....	101
Tabela 19: matriz resultados térmicos.....	102
Tabela 20: área de piso e esquadrias das salas de aula e relação da área de piso para a área efetiva de iluminação.....	107

Tabela 21: PJF (%) percentual de área de janela por área de fachada.....	108
Tabela 22: valores de iluminação natural obtidos, em lux, na medição realizada no dia 13/06/2008.....	110
Tabela 23: valores obtidos, em lux, na medição realizada no dia 23/09/2008.....	117
Tabela 24: valores obtidos, em lux, na medição realizada no dia 20/12/2008.....	122
Tabela 25: matriz com resultados obtidos nas medições lumínicas nos diferentes horários.....	131
Tabela 26: medições acústicas realizadas no dia 21 de novembro de 2008.....	133
Tabela 27: materiais e seus coeficientes de absorção para diferentes frequências (fonte: Bistafa, 2006, p.236).....	135
Tabela 28: tempo de reverberação para salas de aula - considerando diferentes frequências (125Hz, 500Hz e 2000Hz).....	136
Tabela 29: tempos de reverberação das salas de aula - recomendado pela ABNT (1992b)	137
Tabela 30: resultados dos níveis equivalentes de medições acústicas, agrupadas por tipo de ruído.....	145
Tabela 31: resultados obtidos através da análise das respostas de cada turno.....	158
Tabela 32: resultados obtidos através da análise das respostas de toda amostra.....	159
Tabela 33: matriz com resultados encontrados nos questionários e grupo de foco, nos diferentes turnos.....	165
Tabela 34: matriz com os resultados obtidos e a satisfação dos usuários frente às diferentes variáveis.....	168

1 INTRODUÇÃO

A necessidade de edificações eficientes, que ofereçam conforto ambiental aos seus usuários, sem causar grandes danos ao ambiente, é um grande problema enfrentado nos dias de hoje. A seguir, serão apresentados contexto e justificativa, os quais fazem referência à problemática de pesquisa para este trabalho.

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Segundo Sattler (2004), a indústria da construção civil é uma das responsáveis por muitos dos impactos que estão ameaçando os sistemas de suporte da vida no planeta. Segundo o autor, os elementos essenciais à vida, como o ar, a água, o solo e a energia, estão seriamente comprometidos. Neste sentido, a arquitetura sustentável é aquela que se empenha na busca de novas soluções e alternativas a fim de garantir um futuro saudável às futuras gerações, em relação ao meio ambiente e ao planeta.

Entretanto, a arquitetura sustentável é ainda muito recente no Brasil, e convém ressaltar que a busca pela sustentabilidade das edificações não se restringe apenas ao que diz respeito ao impacto imediato da edificação no meio ambiente. Segundo Roaf, Fuentes e Thomas (2006), a edificação deve buscar, desde a fase de projeto, utilizar o mínimo de energia, através de técnicas de conservação e princípios de projeto que utilizem estratégias passivas. Além disso, a escolha dos materiais também afeta o impacto ambiental de uma edificação, pois os materiais são processados antes de serem incorporados na edificação (ROAF; FUENTES; THOMAS, 2006). Este processamento requer energia e resulta na geração de resíduos. Assim, dentro da preocupação dos impactos ambientais, também se insere o ciclo do material e da edificação. Mas os autores também afirmam que os materiais devem ser cuidadosamente selecionados, optando por materiais de construção locais, visto que estes requerem menor gasto de energia. Em relação aos materiais, os autores também afirmam que estes devem ser não tóxicos e com durabilidade suficiente para atender às necessidades dos usuários.

A busca por uma arquitetura sustentável está também diretamente relacionada ao conforto dos usuários nas edificações. O conforto ambiental é importante, por oferecer condições mínimas de saúde e bem estar aos usuários, e pode ser garantido através de um bom

desempenho físico das mesmas. Segundo Krüger, Adriazola e Takeda (2004), o conforto no ambiente construído afeta diretamente o desenvolvimento das atividades do usuário, onde condições de desconforto baixam o rendimento do mesmo, através de estresse e da falta de concentração em suas atividades. A satisfação dos sentidos humanos vai ao encontro do conforto, pois segundo Day (1999)¹ *apud* Sattler (2004), os órgãos sensoriais nos possibilitam saber o que é importante em nosso entorno. Segundo o autor, vivenciamos tudo através dos sentidos (visão, olfato, paladar, tato, audição), cabendo à arquitetura, no que se refere a projetos ambientais, suprir estes sentidos.

O conforto ambiental também está relacionado à arquitetura bioclimática, que segundo Corbella e Yannas (2003) busca:

“...prover um ambiente construído com conforto físico, sadio e agradável, adaptado ao clima local, que minimize o consumo de energia convencional e precise de instalação da menor potência elétrica possível, o que também leva à mínima produção de poluição”.

Segundo os autores, o conforto ambiental está relacionado com a neutralidade sensorial da pessoa em relação ao ambiente físico, ou seja, uma pessoa em um ambiente confortável consegue senti-lo ou observá-lo, sem qualquer preocupação ou incômodo. Dentro da definição de conforto ambiental, Corbella e Yannas (2003) colocam estratégias de projeto, necessárias para a busca de uma arquitetura bioclimática. Pois um bom projeto de arquitetura bioclimática, segundo os autores, deverá levar em conta todos os aspectos de influência, relacionados ao meio externo. Não tem sentido projetar um edifício com bom conforto térmico, mas que, em consequência do seu partido, proporciona desconforto visual ou acústico, afirmam eles.

Corbella e Yannas (2003) complementam que “as decisões adotadas para resolver cada caso devem ser integradas, a fim de propiciar um bom nível de conforto ambiental”, ressaltando a importância do estudo de conforto ambiental. Entre as estratégias de projeto, propostas pela arquitetura bioclimática, mencionadas pelos autores, estão: controle de ganhos de calor; dissipação de energia térmica do interior da edificação; remoção de umidade em excesso, através da movimentação do ar; promoção de uso de iluminação natural; controle de ruídos.

Dentro deste contexto de sustentabilidade e conforto, as edificações escolares são importantes para a sociedade, pois possibilitam uma integração dos conceitos de sustentabilidade através da educação ambiental. É muito importante que o processo de educação ambiental tenha início nas escolas, pois, como instituições de ensino, elas são capazes de difundir de forma mais efetiva o conhecimento necessário em assuntos ambientais para futuras gerações. Além disso, as edificações escolares devem ser capazes

¹DAY, C. **Places of the Soul- Architecture and Environmental Design as a Healing Art.** 192p. Thorsons, 1999. Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Luminico de Edificação Escolar com Estratégias Sustentáveis e Bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacifico

de proporcionar aos seus usuários condições próprias para o aprendizado. Segundo Funari e Kowaltowski (2005), a configuração física do ambiente escolar e a adaptação do aluno a este ambiente exercem grande influência na evolução do aprendizado. De acordo com as autoras, a qualidade das edificações escolares tem significado muito importante no desenvolvimento social de um país, por serem responsáveis pelo ensino à população.

1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

Segundo Abreu (2004), a verificação do desempenho de uma edificação pode ser feita através de medições ou modelos matemáticos (simulações), no qual ambos apresentam vantagens e desvantagens. Segundo a autora, as desvantagens dos modelos matemáticos estão ligadas à necessidade de aferição dos resultados obtidos, uma vez que eles são realizados através de simplificações e métodos de cálculos. Podem não representar a realidade, que envolve múltiplas variáveis, como a própria interferência do usuário no espaço. Neste contexto, a autora afirma que as diferenças entre resultados obtidos por modelos matemáticos e dados de medição aumentam em ambientes em uso, por causa das incertezas nas intervenções dos usuários na ocupação do ambiente. Assim, apesar de algumas desvantagens, as medições no local representam real resposta da edificação às condições a que esta exposta (ABREU, 2004).

Turik (1985) afirma que os estudos sobre a avaliação do desempenho são complexos por envolverem o entendimento das exigências amplas que garantam satisfação adequada à população alvo. Neste sentido, surge a consciência de que a satisfação do usuário no ambiente construído é um fator de grande relevância.

Segundo Graça e Kowaltowski (2004), muitos dos problemas referentes às condições de conforto ambiental podem ser resultado de decisões erradas, tomadas no início do processo de projeto, quando definidas questões gerais da edificação.

Segundo Frandoso (2001), o espaço interno em edificações escolares vem sendo modificado ao longo dos anos, visando incorporar-se no processo de ensino e aprendizagem e possibilitando o desenvolvimento das habilidades dos usuários, através de seus ambientes. Graça e Kowaltowski (2004) afirmam que o projeto arquitetônico é fator de importância na edificação escolar, possibilitando a sistematização do processo pedagógico e garantindo o bom desempenho da edificação, como ambiente educacional. Destaca-se assim a importância do projeto das edificações escolares, no processo de aprendizagem dos seus usuários, ressaltando a necessidade de condições mínimas de habitabilidade no ambiente construído.

Nas edificações escolares, o conforto deve, portanto, estar sempre presente. Entretanto, tais edificações nem sempre recebem a devida atenção por parte dos responsáveis por sua implantação e gestão. A padronização das edificações escolares é bem comum, atualmente,

nas políticas governamentais. Kowaltowski et al. (2002) afirma que: “A adoção de projetos padrão para as edificações escolares tem sido uma das causas dos problemas de conforto ambiental”. Segundo Krüger, Adriazola, Takeda (2004) e Kowaltowski et al. (2002), a padronização é responsável por edificações escolares desfavoráveis, devido à falta de preocupação em considerar situações locais específicas. A utilização de normas ou códigos de obra que proponham condições de conforto mínimas é uma forma de exigência a ser utilizada, a fim de contribuir para a melhoria dos projetos, afirmam os mesmos autores. Neste caso, ao contrário da padronização, onde o projeto da edificação está pré-definido, indiferente à sua implantação, o projetista deve estudar, diante das normas e características do local de implantação da edificação, a melhor forma de satisfazer às condições mínimas a serem cumpridas pelo ambiente construído.

Apesar de todo esforço, segundo Kowaltowski et al. (2002), estudos na literatura nacional demonstram que a maioria dos ambientes escolares apresenta condições ambientais aquém das desejadas. E a autora observa que as principais falhas observadas dizem respeito às condições de conforto térmico e à funcionalidade. A funcionalidade pode ser entendida por problemas de lotação excessiva nas salas de aula e falta de ambientes específicos para atividades especiais, afirma a autora.

Outro fator agravante, no problema de criar condições adequadas em edificações escolares, segundo Kowaltowski et al. (2002), é a necessidade de muitas adaptações nos prédios escolares, devidas à falta de planejamento dos espaços. A construção de edificações escolares, muitas vezes emergenciais, é outro problema enfrentado, que ocorre no intuito de atender à demanda de matrículas no ensino fundamental.

Assim, a preocupação com o conforto ambiental em edificações escolares existe, mas ainda não é tratada de forma holística. Alguns estudos se preocupam com economia e manutenção das edificações, outros em atender à demanda da população. E apesar da existência de estudos, que buscam atender à questão do conforto através de parâmetros de desempenho físico da edificação, cabe ressaltar a importância da verificação do conforto ambiental do usuário, através da sua real percepção do ambiente construído.

É importante ressaltar que, apesar da existência de escolas precárias, estas, como instituições de ensino, não perdem seu papel e função. Segundo Gifford (1997) *apud* Funari e Kowaltowski (2005), os fatores de conforto ambiental influenciam diretamente no processo de aprendizagem, podendo proporcionar baixo rendimento aos usuários. Segundo os autores, condições inadequadas podem prejudicar a concentração dos usuários, além disso, a falta de conforto causa distração e cansaço, fatores prejudiciais no aprendizado e rendimento dos alunos. Sendo a escola muito importante na formação humana, deve existir uma preocupação na geração de ambientes escolares próprios para esta atividade. Tendo em vista a importância das edificações escolares na formação do homem e a importância do

conforto ambiental no ambiente construído, o estudo de conforto ambiental nas escolas é imprescindível.

O estudo de conforto ambiental em edificações escolares pode, entretanto, se apresentar de forma bem complexa, envolvendo muitos fatores, uma vez que envolve diversas variáveis de interferência nos sentidos humanos. E a fim de comprovar a complexidade do estudo, Graça e Kowaltowski (2004) afirmam que não é possível maximizar todos os aspectos (conforto térmico, luminoso, acústico e funcional), ao mesmo tempo, mas a busca por um conjunto de soluções de compromisso é importante. Assim, através de uma avaliação do conforto ambiental de edificações escolares, o presente trabalho visa buscar as exigências mínimas que devem ser atendidas, considerando o ponto de vista de satisfação dos usuários.

Considera-se, neste contexto, que um monitoramento do comportamento da edificação através de medições periódicas, pode facilitar o entendimento do desempenho físico da edificação, frente às variáveis de conforto ambiental. Da mesma forma, considera-se o grau de satisfação do usuário importante para compreensão da resposta da edificação frente às características do entorno, na qual está inserida, bem como da sua ocupação, através do uso e gerenciamento de seus espaços pelos usuários.

Assim, através de medições, pretende-se diagnosticar as variáveis de conforto ambiental de uma edificação escolar, projetada por alunos do NORIE/PPGEC, que utiliza algumas estratégias sustentáveis e bioclimáticas, a fim de entender o comportamento da edificação frente a características específicas de clima, entorno e técnicas construtivas. A escola também foi escolhida devido à questão da educação ambiental que está relacionada diretamente com o projeto que foi desenvolvido junto à comunidade. Desta forma, pretende-se relacionar a questão da educação ambiental e as variáveis de ocupação da escola, com as variáveis de conforto ambiental, e as estratégias sustentáveis e bioclimáticas, relação esta que constituiu um dos anseios da equipe de projeto da escola.

Conforme exposto acima, pode-se perceber uma problemática que corresponde à seguinte

questão de pesquisa:

Como diagnosticar e avaliar as variáveis de conforto térmico, lumínico e acústico de edificações escolares, que utilizam estratégias que busquem a sustentabilidade e incorporem princípios de arquitetura bioclimática?

E questões intermediárias:

- a) Quais os principais requisitos de conforto ambiental para uma edificação escolar, considerando o microclima no qual está inserida?
- b) Qual a relação entre as variáveis de conforto ambiental (conforto térmico, acústico e lumínico) e o grau de satisfação dos usuários, em relação à edificação escolar?

- c) Como avaliar o conforto ambiental em uma edificação escolar, do ponto de vista de medições técnicas (térmico, acústico, lumínico) e de satisfação do usuário?

1.3 OBJETIVOS

A partir da questão de pesquisa exposta acima é proposto o seguinte objetivo para o presente trabalho.

1.3.1 Objetivo principal

Avaliar a edificação escolar projetada e executada de acordo com princípios de sustentabilidade e de arquitetura bioclimática, considerando as necessidades dos usuários em termos de conforto térmico, lumínico e acústico.

1.3.2 Objetivos específicos

- a) Avaliar os principais requisitos de conforto térmico, acústico e lumínico, aplicáveis em edificações escolares que utilizam estratégias que buscam a sustentabilidade, considerando microclima e entorno em que se inserem.
- b) Caracterizar as possíveis relações entre as principais variáveis de conforto ambiental (térmico, acústico e lumínico) e o grau de satisfação dos usuários da edificação escolar.

1.4 DELIMITAÇÕES

Este trabalho tem algumas delimitações que precisam ser consideradas:

- a) A avaliação do conforto ambiental compreende tão somente a avaliação das condições de conforto térmico, acústico e lumínico, devido ao tempo limitado da pesquisa;
- b) As medições térmicas são feitas com aparelho datalogger, de dois canais, que mede a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. Os demais fatores ambientais de conforto térmico não serão considerados;
- c) As medições térmicas incluíram períodos quentes e frios, compreendidos entre maio e dezembro, aproveitando a disponibilidade de sensores pertencentes ao Laboratório de Conforto Ambiental do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura da Faculdade de Arquitetura da UFRGS;

- d) As medições lumínicas não incluíram a análise do fator de luz diurna, e não buscaram avaliar o sistema de iluminação artificial isolado;
- e) As medições acústicas incluíram somente dados de nível de pressão sonora em alguns pontos característicos de atividades escolares;
- f) Os questionários foram aplicados aos alunos em um momento em que a escola apresentava menos de um ano de ocupação. Portanto, deve-se considerar as suas respostas como uma primeira percepção dos espaços ocupados.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho visa, na sua primeira parte, fazer uma introdução ao tema abordado, apresentando o contexto e as justificativas associadas às questões de sustentabilidade e de conforto ambiental em edificações escolares. No primeiro capítulo – introdução – foi apresentada a importância da avaliação de desempenho em edificações, e a necessidade de se definir as exigências mínimas de conforto ambiental dos usuários, além da importância da etapa de projeto em edificações, e sua ligação direta com o processo pedagógico das escolas. Dentro deste contexto, coloca-se a questão da educação ambiental em escolas, devendo as edificações escolares servir como instrumento para ilustrar questões relacionadas à sustentabilidade. A introdução contempla, ainda, a importância das edificações escolares na sociedade, e as condições mínimas de conforto ambiental que as mesmas devem oferecer, a fim de garantir bem estar durante o processo de ensino e aprendizado de seus usuários. Enfatiza-se que as edificações escolares, mesmo com as precárias condições de conforto, não perdem seu papel de instituições de ensino. Por fim, é colocada a questão da interdependência entre as variáveis de conforto ambiental, onde é importante considerar o problema de forma holística. A questão de pesquisa é apresentada, seguida pelos objetivos geral e específicos. E por último, são estabelecidas as delimitações do trabalho, frente ao estudo a ser realizado.

No segundo capítulo, é apresentada a revisão bibliográfica sobre o tema. A seção referente a conforto ambiental expõe os conceitos das diferentes dimensões de conforto ambiental analisadas neste trabalho: térmico, lumínico e acústico. Além disso, apresenta para cada variável, os fatores de interferência e os parâmetros ou índices de referência a ser utilizados na análise dos dados. Ainda, são apresentados alguns conceitos e definições utilizados em pesquisas tratando de satisfação de usuários. Por fim, é apresentada a questão da avaliação do conforto ambiental nas edificações escolares, considerando as variáveis a serem analisadas.

No terceiro capítulo, é descrito o método utilizado na presente pesquisa. São descritas as etapas seguidas: (1) caracterização da pesquisa; (2) coleta e processamento de dados; (3) análise dos resultados; e as sub-etapas da pesquisa. Neste capítulo, o item que descreve a primeira etapa da pesquisa - etapa de caracterização - engloba aspectos gerais da edificação em estudo. Na segunda etapa é descrita a metodologia utilizada na coleta e processamento dos dados. E, por último, a etapa de análise dos resultados descreve como foram analisados os dados. Em cada uma das etapas, a partir da coleta, dividiu-se a análise segundo o enfoque das análises térmica, lumínica, acústica, e de satisfação dos usuários.

No quarto capítulo, é feita uma breve descrição e caracterização da escola analisada. Neste capítulo são apresentados dados de localização da edificação, características climáticas da região, bem como descrição do projeto executivo da edificação escolar, materiais e técnicas construtivas utilizados e dados de ocupação da mesma.

No quinto capítulo, são apresentados e discutidos os resultados encontrados, subdivididos conforme descrição acima: térmica, lumínica, acústica e satisfação dos usuários, com conclusões sobre a análise, ao final de cada subitem. Em cada item, primeiramente é feita uma descrição da forma como foram coletados os dados, para posterior análise. Alguns itens trazem dados de cálculo, que visam, de forma descritiva caracterizar o envelope da edificação.

No último capítulo são apresentados possíveis cruzamentos de dados obtidos, a fim de gerar contribuições para o conforto ambiental de edificações escolares que utilizam estratégias de sustentabilidade, segundo resposta da edificação estudada às características de clima, entorno, e ocupação. Por fim, neste capítulo, são apresentadas as conclusões gerais do trabalho, bem como as considerações finais, e recomendações para trabalhos futuros.

2 CONFORTO AMBIENTAL

O termo conforto é tratado por Schmid (2005) como aconchego, proteção e bem-estar. Segundo Bertoli (2003), o conforto ambiental, devido a grande quantidade de variáveis que envolve, e a seu caráter subjetivo, pode ser entendido como uma sensação de bem estar. Assim, pode-se entender que a questão de conforto ambiental vai além da medição de variáveis que influenciam na edificação, compreendendo, no termo ambiental, a harmonia do ambiente construído com seu usuário.

Segundo Schmid (2005), o conforto é um dos principais critérios utilizados para a escolha de habitações. E afirmar que a preocupação com o mesmo é uma atitude natural que sempre existiu, segundo o autor, não é correto. Pois, ainda segundo o autor, a busca de conforto aplicado à edificação surgiu no início do século XIX, na Europa, sendo posteriormente ignorada pelo movimento Modernista, no século XX, que pregava a estética acima de tudo. Schmid (2005) afirma que o movimento Modernista ignorava a especificidade geográfica, desconsiderando diferentes climas, paisagens e culturas. Então, somente após algumas décadas, o conforto ambiental surgiu como um esforço de resgatar a arquitetura diante das intenções modernistas (SCHMID, 2005).

Schmid (2005) questiona o fato de que o desempenho da habitação, enquanto abrigo, seja restrito à soma de algumas funções passíveis de mensuração. E, acrescenta o fato de que a satisfação humana não é cabível de ser mensurada em um modelo numérico. Mas o autor destaca que algumas variáveis associadas aos sentidos humanos deveriam normalmente ser consideradas: tato, visão e audição, podendo ainda estar contemplados o paladar e olfato.

Segundo a definição de conforto ambiental apresentada, fez-se uma delimitação das subáreas a serem tratadas no presente estudo, onde foram selecionadas as seguintes: (a) conforto térmico; (b) conforto lumínico; (c) conforto acústico; (d) satisfação dos usuários. As subáreas são apresentadas a seguir, com suas respectivas variáveis, bem como os parâmetros de avaliação utilizados no presente estudo.

2.1 CONFORTO TÉRMICO

O conforto térmico, segundo Schmid (2005), é resultado das trocas de calor entre o usuário

e o ambiente. O autor ainda acrescenta que este processo obedece às leis da física, onde os parâmetros corporais são inegociáveis, enquanto que as variáveis climáticas são impostas, cabendo ao ambiente construído conseguir abrandá-las.

Considerando que a função de uma edificação consiste em isolar, abrigar e proteger o homem de fatores externos, o desempenho térmico se refere, obviamente, à qualidade térmica que o ambiente construído proporciona aos seus usuários. Na parte de conforto térmico é muito polêmica a definição do padrão a ser seguido, uma vez que é um tema complexo, que abrange muitas variáveis. Estas variáveis devem se referir à realidade concreta, que difere bastante de região para região, devendo, portanto, cada região ter uma definição ou estudo próprio das exigências de conforto térmico. A discussão dos critérios envolve questões como o quanto exigir de uma edificação, a fim de proporcionar uma condição de conforto para o seu usuário.

Desta forma, a seguir serão apresentados alguns conceitos relativos à percepção humana, variáveis climáticas e características do ambiente construído, sendo, no final, apresentados os parâmetros de avaliação do desempenho térmico utilizados no presente estudo.

2.1.1 Percepção humana

O ser humano, no seu ciclo de atividades diárias, para ter uma condição de conforto térmico, segundo Shapiro e Epstein (1984), deve manter o seu corpo a uma temperatura interna entre os limites de 36,5°C e 37,5°C. A temperatura de sua pele deve ficar em 30°C, nas extremidades, e entre 34°C a 35°C, no corpo, do tronco à cabeça. Caso estas temperaturas não sejam alcançadas pelo corpo, podem ocorrer transtornos a saúde do indivíduo, afirmam Koenigsberger et al. (1977), causando estresse e perda de eficiência. Shapiro e Epstein (1984) afirmam que duas fontes contribuem para o acúmulo de calor: o próprio corpo, através do seu metabolismo, que é uma fonte de calor interno; e o ambiente, que envolve o indivíduo.

A temperatura do corpo é o resultado do balanço entre os ganhos e as perdas de calor pelo corpo, que ocorrem através dos processos de convecção, radiação, evaporação e condução. A dissipação de calor do corpo para o meio vai depender, principalmente, das diferenças de temperatura. Considerando, assim, as trocas, perdas e ganhos, no balanço térmico de conforto, devem se aproximar de um valor nulo.

Em casos em que o meio não apresenta as condições térmicas adequadas, ou seja, quando não permite que as trocas entre o corpo e o meio ocorram através das formas convencionais, o organismo faz uso dos seus mecanismos termorreguladores. Segundo Frota e Schiffer (2007), a termorregulação controla as perdas de calor do organismo, e apesar de ocorrer de forma natural, representa um esforço extra, e causa uma queda de potencialidade para o trabalho. Estes mecanismos determinam uma sensação de

desconforto térmico, já que requerem energia para funcionar, causando ao corpo um estado de fadiga, apatia, falta de atenção, inadequados para realização de qualquer trabalho com aceitável eficiência (RIVERO, 1985).

Assim, “o organismo humano experimenta sensação de conforto térmico quando perde para o ambiente, sem recorrer a nenhum mecanismo de termorregulação, o calor produzido pelo metabolismo compatível com sua atividade”, afirmam Frota e Schiffer (2007, p.20). Ainda, segundo as autoras, a fadiga termo-higrométrica é resultante do trabalho excessivo deste mecanismo termorregulador, diante de condições ambientais desfavoráveis. Auliciems e Szokolay (1997) afirmam que, além do estresse causado, temperaturas críticas do corpo podem ser letais. É importante ressaltar que existem alguns fatores de interferência humana, que têm uma participação importante na sensação de conforto térmico. E, apesar de serem múltiplas as variáveis diretamente associadas ao ser humano, como idade, sexo, peso e altura, as principais variáveis de interferência são: o nível de atividade física exercida; e a capacidade isolante da vestimenta utilizada.

Por fim, Shapiro e Epstein (1984) salientam que, para se alcançar o conforto térmico, o desafio é manter condições ambientais de tal modo que as dissipações de calor possam ser obtidas por radiação e convecção. O suor deve ser eliminado através da movimentação do ar e a radiação solar deve ser reduzida ao mínimo nas edificações.

2.1.2 Variáveis climáticas

Os processos de troca de calor, conforme expostos anteriormente, dependem de vários fatores ambientais e não somente da temperatura do ar. Koenigsberger et al. (1977) afirmam que a temperatura do ar, a umidade, a radiação solar e a movimentação do ar implicam em efeitos térmicos ao ser humano, devendo ser considerados na predição das respostas humanas.

Rivero (1985) ressalta a importância da movimentação do ar, onde uma velocidade do ar de 1,5m/s (5,4km/h) tem o mesmo efeito térmico sobre uma pessoa que uma queda de 3°C na temperatura do ar. Shapiro e Epstein (1984) afirmam que uma movimentação de ar na ordem de 0,2m/s se equivale a uma redução da temperatura do ar de 1°C, mas que a eficiência da velocidade do vento é limitada, e ventos fortes causam sensação de desconforto. Koenigsberger et al. (1977) salientam que uma velocidade de vento elevada pode causar irritação e desconforto, quando ocorrente por períodos prolongados, apesar de algumas vezes, proporcionar alívio imediato.

Rivero (1985) coloca que a umidade do ar é outro fator importante no conforto térmico, e, conjuntamente com a velocidade do ar, auxilia na perda de calor por evaporação. O homem está sempre perdendo energia térmica sob a forma de calor latente. Quando a temperatura do meio se eleva, dificultando as perdas de calor por convecção e radiação, o organismo

umenta sua eliminação por evaporação. Rivero (1985) afirma que a quantidade de água que o organismo pode evaporar em gramas por hora está associada à atividade exercida e à temperatura do ar.

Além disso a ventilação é muito importante para assegurar a qualidade do ar. Pois, segundo Schmid (2005), a qualidade do ar nos ambientes internos é especialmente importante e envolve três variáveis. Entre elas está o tempo de permanência das pessoas no ambiente, a soma dos poluentes do ar externo com os poluentes do ar interno, gerados pelo próprio ser humano, e o volume de ar interno, limitado ao tamanho do ambiente, sua densidade de pessoas e fonte de poluição, que proporciona níveis de poluentes com concentração muito acima do que o ar externo.

Assim, Bitan (1988) afirma que são muitas as variáveis climáticas que caracterizam uma região, mas algumas têm um maior impacto no desempenho térmico dos espaços construídos. O autor cita, entre estas, a radiação solar, a temperatura e a umidade, o vento e a precipitação. O estudo destas variáveis é de extrema importância para o planejamento de edificações. Segundo Bitan (1988), a experiência tem mostrado que, através do planejamento, considerando estas variáveis, freqüentemente o custo da edificação se mantém o mesmo e, na maioria dos casos, não apresenta custo muito mais elevado do que o usual. Por outro lado, a qualidade de vida é melhorada, e se consegue uma economia constante no uso da energia convencionalmente utilizada para ar condicionado e aquecimento (BITAN, 1988).

2.1.3 Características do ambiente construído

A arquitetura bioclimática pode ser caracterizada como atendendo a alguns parâmetros de projeto, a fim de buscar um melhor desempenho térmico para a edificação. Estes parâmetros devem ser buscados durante o processo de tomada de decisões sobre o projeto da edificação, em conjunto com as outras variáveis já apresentadas: exigências humanas de conforto e condições climáticas de exposição.

“A idéia de uma arquitetura bioclimática é a realização consciente de edificações adaptadas às condições climáticas, para proporcionar aos usuários ambientes termicamente agradáveis...” (SILVA, 1994, p.35-36). O autor ainda complementa que tal conforto térmico deve ocorrer, através de trocas térmicas entre o interior e o exterior da edificação, sem a necessidade da utilização de mecanismos consumidores de energia. Segundo Shaviv (1984), o projeto de edificações engloba grande número de parâmetros, que afetam o comportamento térmico da edificação. E a autora ressalta a importância dos parâmetros de clima, dentro do processo de projeto e execução de uma edificação, que por serem variáveis ambientais, não estão sob o controle humano, mas devem ser incorporadas às variáveis de projeto.

Assim, a arquitetura bioclimática deve atender alguns parâmetros de projeto, a fim de buscar um melhor desempenho térmico da edificação. Segundo Shaviv (1984), estes parâmetros podem ser: (a) orientação da edificação; (b) área do envelope externo da edificação; (c) localização e dimensionamento das aberturas; (d) sombreamento das aberturas e do envelope; (e) cor e textura da edificação; (f) distância de outras edificações; (g) existência de pátios internos. Raja et al.(2001) complementam que as características da edificação influenciam no controle das condições térmicas internas, e aparecem de três formas distintas: (a) transmissão de calor do ambiente externo através do envelope da edificação; (b) transmissão da energia solar através das áreas envidraçadas; (c) infiltração do ar externo.

Silva (1994) destaca que os níveis ótimos de conforto nem sempre podem ser alcançados apenas através de meios passivos, mas a sua combinação com meios ativos pode reduzir sensivelmente o consumo de energia.

A orientação da edificação é um parâmetro de projeto muito importante, por influenciar na ventilação e na quantidade de radiação incidente na edificação. A orientação induz a ventilação, que também sofre influência do dimensionamento e posicionamento relativo entre aberturas, como será comentado a seguir. A radiação solar é um grande contribuinte para os ganhos de calor de uma edificação, podendo estes serem desejáveis no inverno ou indesejáveis no verão, mas que podem ser controlados por dispositivos de sombreamento.

Em um estudo realizado em Israel, considerando apenas o efeito da radiação solar, Shaviv (1984) analisou quatro apartamentos de uma mesma edificação, dispostos em diferentes orientações. Os apartamentos tinham suas fachadas para duas diferentes orientações e foram analisados, quanto ao seu consumo de energia, com aquecimento e resfriamento, respectivamente no inverno e verão. O resultado deste estudo demonstrou que a energia mínima no inverno, para aquecimento, foi requerida pelo apartamento, disposto com suas fachadas orientadas para sul e leste. Por outro lado, o apartamento que utilizou menos energia para resfriamento, no verão, foi o disposto nas fachadas norte e leste. Entretanto, o apartamento com menor consumo de energia anual foi o disposto com suas fachadas orientadas para sul e leste, confirmando que, para regiões localizadas no hemisfério Norte, como Tel Aviv, a orientação sul é mais eficiente tanto no inverno, como no verão.

Outro fator de interferência nos projetos são as aberturas, que são os componentes onde a troca de calor ocorre de maneira mais intensa. Sabe-se que o sol penetra pelo vidro das aberturas de uma edificação, através da radiação de onda curta incidindo sobre os corpos, que se aquecem e emitem para o ambiente radiação de onda longa, em forma de calor. Assim, o vidro que é transparente para radiação de onda curta, mas opaco para a radiação de onda longa, não permite a saída do calor para o exterior, superaquecendo o ambiente interno e causando o conhecido fenômeno **efeito estufa**.

A questão das aberturas influi também diretamente na ventilação da edificação. A ventilação tem uma tripla contribuição para as condições internas de uma edificação, ressalta Shaviv (1984): mistura o ar externo com o ar interno, cria um movimento do ar interno e remove o excesso de umidade. A primeira função é desejável no verão, em situações quando a temperatura externa é menor que a interna, mas indesejável em situações opostas. No inverno, é geralmente indesejável e chamada de infiltração, apesar de ser necessária, de forma branda por questões higiênicas do ambiente. A segunda e a terceira funções estão interligadas, uma vez que ambas visam renovar o ar interno, e assim remover o excesso de umidade que possa estar presente no interior da edificação.

Segundo Becker, Goldberger e Paciuk (2007), a ventilação controlada ou natural abrangente tende a remover contaminantes gerados internamente, nem sempre sendo responsável tão somente pelas condições de conforto térmico. No verão, a ventilação pode remover o excesso de calor produzido tanto pela radiação solar, quanto pelas fontes internas, permitindo alcançar temperaturas internas de conforto. Mas, quando as temperaturas externas excedem o nível da temperatura de conforto requerida, o resfriamento mecânico ativo deve ser providenciado (BECKER; GOLDBERGER; PACIUK, 2007).

Uma forma de dispor as aberturas proporcionando uma boa movimentação é o efeito chaminé. Este efeito, comentado por Shaviv (1984), amplamente utilizado para ventilação, ocorre através da diferença de pressão, onde aberturas a diferentes alturas acabam causando a movimentação do ar e fazendo com que este ascenda e saia do ambiente interior, através da abertura mais elevada.

O sombreamento do envelope da edificação e/ou das suas aberturas é um fator de interferência de projeto, favorável em edificações em zonas quentes secas ou úmidas.

Lamberts, Dutra e Pereira (1997) acrescentam que a vegetação pode ser utilizada como fator de sombreamento, sendo muito eficiente, uma vez que absorve parte da radiação solar para realizar a fotossíntese (metabolismo), emitindo para o solo uma parcela de calor menor que o céu aberto. Os autores ainda afirmam que, a utilização de vegetação caducifólia, permite o sombreamento da edificação no verão e a passagem da radiação solar no inverno.

Outro fator de interferência no desempenho da edificação é o seu envelope, sua área, forma e composição. A composição depende dos materiais que o compõem e suas características termo-físicas. Segundo Shaviv (1984) existem duas propriedades físicas que afetam o desempenho térmico dos materiais na edificação: capacidade de conduzir o calor e a capacidade de armazenar o calor. Esta mesma autora salienta que é importante que a edificação tenha um envelope externo isolante, ou seja pouco condutor de calor. É importante ressaltar que em edificações com envelope externo com alta massa térmica, a ventilação encontra maiores obstáculos para retirar o calor da estrutura do ambiente,

dificultando o processo de resfriamento da edificação.

A grande função das paredes externas de uma edificação deve ser atrasar a transferência de calor do exterior para o interior, e amenizar as temperaturas internas das amplitudes térmicas que ocorrem externamente. Shaviv (1984) afirma que o tempo de atraso térmico de materiais com alta massa térmica pode variar de 5 a 6 horas. Em consequência desta propriedade a edificação consegue esquentar lentamente no verão, atingindo sua temperatura máxima somente quando a temperatura externa estiver mais baixa. E assim, uma boa ventilação noturna pode proporcionar a remoção deste calor, que as paredes estão transferindo para o interior, tornado o interior termicamente agradável.

A cor, no envelope da edificação, tem grande influência na absorção do calor, comprovando a importância de uma preocupação com as características dos materiais na edificação. Cores escuras absorvem a energia em forma de calor, enquanto que cores claras refletem a maior parte desta energia.

2.1.4 Índices de conforto térmico

O estudo sobre zonas de conforto é bem complexo e, apesar da grande quantidade de trabalhos sobre o tema, a pesquisa é ainda insuficiente, pois a influência de cada parâmetro deve ser estudada separadamente, mas, ao mesmo tempo, coordenada sistematicamente com as restantes, o que supõe uma longa tarefa cheia de dificuldades. Um dos trabalhos mais completos na área, baseado na experiência e em simulações, foi o realizado por Fanger (1972).

Fanger (1972), no seu estudo, desenvolveu uma equação de conforto que resume os processos de troca de calor do corpo com o meio. O trabalho dele foi desenvolvido com estudantes da mesma faixa etária e é considerado um dos estudos mais detalhados sobre o assunto. A equação de conforto gerada é bastante complexa e gerou uma série de diagramas comparativos, que exemplificam, através de linhas de conforto ótimo, as variáveis que afetam o conforto.

Lin e Deng (2008) afirmam que os modelos de conforto térmico PMV e PPD de Fanger (1972) têm contribuído para a teoria do conforto térmico e para a avaliação térmica do ambiente interno da edificação. As normas ISO 7730² e ASHRAE (1981) incluem os índices PMV e PPD nos seus parâmetros de conforto.

Becker, Goldberger e Paciuk (2007) afirmam que diversos estudos vêm demonstrando que podem haver diferenças significativas entre valores preditos e reais, comprovando que aspectos locais e de adaptação afetam a fórmula de Fanger (1972). Assim, a avaliação das condições de conforto térmico não pode se basear totalmente só em resultados de simulação. Brager e Dear (1998) acreditam que uma alternativa para a teoria da zona de

² ISO, Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort, 1984.

conforto seria adotar a idéia de que as pessoas são as principais responsáveis pelas preferências térmicas, podendo ocorrer, através da interação com o ambiente, ou pela mudança de comportamento, onde as expectativas gradualmente se adaptam ao ambiente térmico na qual estão inseridas.

Ainda a respeito do conforto térmico, Givoni (1997) define este como a combinação de condições climáticas consideradas confortáveis e aceitáveis no interior de edificações, e ausência de qualquer sensação de desconforto de calor ou frio. Desta forma, a utilização de climatização mecânica resolveria a questão. Entretanto, Höpfe (1988) expõe que muitos problemas de desconforto estão surgindo devido o uso de ar condicionado. E Brager e Dear (1998) colocam que o ajuste comportamental e a expectativa do usuário tem tido grande influência e devem ser considerados no conforto. Eles ainda acrescentam que há uma distinção na resposta do conforto térmico de edificações naturalmente ventiladas e as climatizadas artificialmente, onde, na primeira, o usuário tem expectativas de variações mais amplas e, portanto, é mais tolerante a variações de temperatura. Na edificação climatizada artificialmente, as expectativas são mais rígidas e o usuário fica mais sensível a mudanças nas condições térmicas.

Ainda, segundo Koenigsberger et al. (1977), as condições que são perfeitamente confortáveis podem produzir efeitos adversos se constantes, quando não ocorrem mudanças por períodos prolongados. Acrescenta, ainda, que uma das necessidades humanas básicas é a mudança, variação, fato ignorado por pesquisadores por certo tempo. Kroeling (1988) também salienta, através de um estudo realizado, que edificações equipadas com sistema de ar condicionado podem apresentar disfunções de conforto, bem-estar e saúde aos usuários. Segundo ASHRAE (1981), o conforto térmico de uma pessoa pode ser caracterizado como aquela condição da mente, que expressa satisfação com o ambiente térmico

Na presente pesquisa buscou-se identificar na literatura estudos prévios que relacionassem zonas de conforto com temperatura e umidade, de forma que estes dados pudessem ser utilizados como índices de conforto térmico. Assim, a seguir serão apresentados os parâmetros de conforto térmico utilizados para análise dos dados coletados.

2.1.4.1 Graus-dia e graus-hora

O método conhecido como **graus-dia**, segundo a ASHRAE(1993), é um método simplificado para análise do consumo de energia necessária para aquecer ou refrigerar um ambiente. Segundo Szokolay (1987)³ *apud* Morello (2005), é um parâmetro que pode ser definido através do somatório das diferenças de temperatura-base (T_b), quando a temperatura média diária encontra-se acima ou abaixo desta. Assim, sempre que o valor médio diário for menor, ou maior que a temperatura-base, calcula-se a diferença em graus ($T_b - T_{med}$) e soma-se cada

³SZOKOLAY, S.V. **Thermal Design of Buildings**. Australia, Canberra: Raia Education Division, 1987.

um dos 365 valores do ano. Os **graus-hora** consideram a mesma temperatura-base, entretanto calculam a diferença hora a hora, durante todo o ano.

Segundo Morello (2005), a simples quantificação dos percentuais de desconforto não é suficiente para demonstrar o abrandamento das condições térmicas externas pelo envelope da edificação, pois ela expressa, apenas as horas em que a temperatura do ar interno esteve abaixo ou acima de um valor referencial. Temos, desta forma, um valor absoluto que não expressa a eficiência da envoltória da edificação frente às adversidades do clima. O método graus-dia ou graus-hora pode, neste caso, auxiliar na avaliação do envelope da edificação, já que possibilita estimar a energia necessária para refrigeração ou calefação de um ambiente construído.

Conforme descrito anteriormente, o cálculo dos graus-dia é feito através da diferença entre a temperatura média do dia encontrada e a temperatura base. Quando a temperatura média do dia é menor que a temperatura-base, calcula-se a diferença em graus ($T_b - T_{méd}$) e soma-se cada um dos valores encontrados, para os 365 dias do ano, a fim de encontrar a energia necessária para o seu aquecimento. A temperatura-base menor que a temperatura média diária proporciona uma pequena inversão na fórmula ($T_{méd} - T_b$), que proporciona, como resposta, a energia necessária para a refrigeração do ambiente. Para o cálculo dos graus-hora, apenas substitui-se as temperaturas médias diárias pelas temperaturas nos seus valores horários, onde, desta forma, obtém-se o somatório das 24 horas, dentro dos 365 dias do ano.

Em estudo realizados por Goulart (1993) na cidade de Florianópolis-SC, a autora recomenda o uso de valores de temperatura-base, de 14°C a 18°C, para aquecimento, e 27°C a 29°C, para refrigeração. Papst (1999) sugere a utilização do conceito grau-médio, que é a razão do somatório dos graus-hora, pelo número de horas em que a temperatura esteve acima ou abaixo da temperatura-base. Este conceito é utilizado como forma de representar de forma mais clara a redução do desconforto proporcionada pela envoltória da edificação. Segundo Goulart (1993), este método pode ser adotado como um critério adicional de avaliação do envelope construtivo da edificação, em relação aos valores de temperatura medidos externamente.

2.1.4.2 Carta bioclimática

Givoni (1992) desenvolveu um estudo estabelecendo zonas de conforto, que relacionam valores de temperatura com umidade relativa do ar, considerando regiões de clima tropical e habitantes de países em desenvolvimento. Segundo este estudo, a temperatura interna de conforto estaria compreendida entre 18° e 29°C, e a umidade relativa do ar não poderia ultrapassar 80%. Nesta carta, apresentada na Figura 1, a variação de temperaturas, sugerida como aceitável pelos usuários, é de 18° a 25°C no inverno, e de 20° a 27° no verão. As temperaturas entre 27° e 29°C são consideradas adequadas somente com

2.2 CONFORTO LUMÍNICO

O conforto lumínico, segundo Schmid (2005), pode ser resumido ao ajuste dos níveis absolutos e relativos de brilho das coisas ao propósito que temos para os ambientes, onde as fontes de luz servem para iluminar os objetos e não para serem vistas. Assim, Schmid (2005) afirma que procuramos ver, sem ferir os olhos e sem sofrer estresse, e ver mais daquilo que cada tarefa nos pede e menos daquilo que nos desvia a atenção da tarefa.

Segundo Lamberts, Pereira e Dutra (1997, p. 44): “A boa iluminação deve ter direcionamento adequado e intensidade suficiente sobre o local de trabalho, bem como proporcionar boa definição de cores e ausência de ofuscamento.” Assim, o conforto lumínico depende do controle e previsão da luz natural (insolação e nível de iluminação), do controle de ofuscamento e de aspectos gerais, como superfícies (acabamento, cor, textura, regularidade), afirma Ornstein e Romero (1992). Entretanto, deve, também, estar em harmonia com a atividade do usuário, através da iluminância oferecida (ORNSTEIN; ROMERO, 1992).

A seguir serão apresentados alguns conceitos relativos à percepção humana, fontes de luz, sua relação com o ambiente construído e níveis de iluminância segundo a Norma ABNT (1992a).

2.2.1 Percepção humana

Vianna e Gonçalves (2007) afirmam que o processo visual engloba duas partes: o estímulo visual sobre o olho e a sensação que o estímulo provoca. Segundo estes autores, a percepção humana à luz ocorre através do olho, onde ocorre a transformação da energia luminosa em impulsos nervosos para o cérebro. Assim, a iluminação deve proporcionar as melhores condições visuais possíveis, a fim de que a mente possa proporcionar uma interpretação correta do que estamos, de fato, enxergando.

Segundo Freire (1996), a sensação luminosa que se recebe de uma superfície é regida por dois fatores: a luz recebida da superfície e a luz recebida de todo o campo de visão. Hopkinson, Petherbridge e Longmore (1966)⁴ *apud* Freire (1996) complementam que uma certa quantidade de fluxo, que estimula a retina em determinadas circunstâncias, produzirá uma sensação luminosa diferente da originada pela mesma quantidade de fluxo, em outras circunstâncias. Pois, segundo Freire (1996), a luminância de um objeto é percebida de forma subjetiva pelo olho humano, adaptado às condições gerais de iluminação do ambiente. Sendo o processo visual muito complexo, a quantidade de fluxo luminoso que penetra nos olhos e estimula a retina também recebe estímulo de outros elementos que compõem o ambiente, afirma Freire (1996).

⁴HOPKINSON R.G.; PETHERBRIDGE P.; LONGMORE J. **Iluminação natural**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1966. 776 p.

O homem enxerga bem dentro de um espectro amplo de condições de iluminação. Sob níveis mais elevados de iluminância, os detalhes mais delicados podem ser vistos e as cores dos objetos podem ser reconhecidas com maior nitidez, afirma Freire (1996). O autor ainda complementa afirmando que quando a iluminância é baixa, fica mais difícil distinguir as cores de superfícies de mesma tonalidade. Esta habilidade do olho, em distinguir detalhes, é chamada **acuidade visual** e, está diretamente relacionada com a **luminância** do objeto observado.

Entretanto, a acuidade visual também está fortemente ligada à capacidade do cérebro de interpretar os sinais visuais recebidos pelos olhos, pois faz parte da função do sistema ótico do indivíduo e da condição física da retina. Assim, um adulto com idade a partir de 40 anos tende a perder sua acuidade visual, aumentando o tempo necessário à adaptação do olho e aumentando, também a sua sensibilidade ao excesso de luz, afirmam Mascaró e Mascaró (1992). Ainda, segundo Hopkinson e Kay (1969)⁵ apud Freire (1996, p.62), apesar de a acuidade visual da criança não diferir muito da de um adulto jovem, o adulto é mais hábil para interpretar uma imagem não muito nítida, pela experiência que traz.

Lamberts, Pereira e Dutra (1997) adicionam que a importância de um nível adequado de iluminação está fortemente ligada ao estado emocional humano, pois a iluminação insuficiente pode causar cansaço, dores de cabeça e irritação, podendo também provocar acidentes. Entretanto, sabe-se que, para a plena recuperação e descanso, dependendo do usuário, sua idade e condições de saúde, são necessárias de 6 a 12 horas de obscuridade por dia, dependendo inclusive da atividade a ser realizada, menores níveis de iluminância podem, em alguns casos, garantir o conforto ao usuário em relação ao descanso do seu corpo.

A atividade do usuário, segundo Romero e Ornstein (2003), determina o nível de iluminância aceitável, presença ou não de ofuscamento, variáveis importantes para o desempenho visual das atividades humanas.

2.2.2 Fontes de Luz

Freire (1996) afirma que a luz solar reúne, de forma interessante, todas as cores da natureza. Li e Tsang (2008) complementam que a iluminação natural é considerada a melhor fonte de luz para proporcionar uma boa interpretação das cores, e a sua qualidade está diretamente ligada ao seu ajuste à resposta visual humana. Segundo Lamberts, Pereira e Dutra (1997), a luz natural, proveniente da radiação solar, é a que melhor possibilita, ao olho humano, o ajuste à variação do seu nível de iluminação. Este fato, segundo os autores, confirma que, qualitativamente, a luz natural é superior a luz artificial.

Entretanto, Freire (1996) contrapõe que a luz proveniente diretamente do sol não é desejada como fonte primária de iluminação, devido à sua elevada carga térmica e luminosa. O autor

⁵HOPKINSON, R.G.; KAY, L. D. **The lighting of buildings**. London: Faber and Faber, 1969.

complementa que, a luz que nos interessa em um projeto de iluminação natural é a luz solar difundida na atmosfera ou refletida pelas superfícies do entorno. Os ofuscamentos, normalmente são gerados pela incidência direta da fonte de luz no plano de trabalho. Assim, ressalta-se que a melhor forma de aproveitar esta fonte de luz natural é através da sua reflexão.

Segundo Mascaró (1983), comparada com o sol, a abóboda celeste tem uma área visível maior, e apesar de apresentar relativamente pouca luminância, constitui uma fonte superficial muito mais adequada como referência para a iluminação natural. A trajetória solar própria de cada latitude, junto com as características locais de nebulosidade e os fenômenos meteorológicos próprios, fazem com que a abóboda celeste pareça mais ou menos luminosa durante o dia e através do ano (MASCARÓ, 1983).

Segundo Romero e Ornstein (2003), na iluminação natural deve-se considerar o tipo de abóboda celeste e as características do entorno. A abóboda celeste varia com a latitude do local, com a época do ano e com as condições climáticas, que permitem uma maior, ou menor, quantidade de raios luminosos atravessando a atmosfera, afirmam os mesmos autores. Com relação às características do entorno da edificação a ser analisada, Romero e Ornstein (2003) mencionam que devem ser verificadas as obstruções naturais e construídas, a sua posição em relação às aberturas, e as reflexões oferecidas pelas mesmas.

2.2.3 Luz no ambiente construído

A quantidade de luz natural entra em uma edificação através das aberturas que provêm uma dupla função: admitir a luz externa e proporcionar uma agradável atmosfera, através do contato visual das pessoas com o mundo exterior (LI; TSANG, 2008).

Atualmente, existe um grande interesse em incorporar a iluminação natural em projetos de edificações, a fim de reduzir o uso de energia nas edificações, afirmam Li e Tsang (2008). Segundo Lamberts, Pereira e Dutra (1997), é possível, através de um projeto eficiente, diminuir o uso de iluminação artificial, provendo o ambiente interno com a luz natural necessária para realização das atividades.

Li e Tsang (2008) afirmam existirem cinco parâmetros-chaves, que afetam o desempenho da iluminação no ambiente construído: (a) área e orientação da edificação; (b) área de janelas; (c) tipo de vidro; (d) sombreamento; (e) obstruções externas. Romero e Ornstein (2003) citam as características das aberturas, considerando suas tipologias e suas dimensões, tipos de vidros e fatores de sombra internos ou externos. Os autores ainda complementam, afirmando que as características do ambiente interno, suas dimensões e cores, assim como as cores das paredes, tetos, pisos e mobiliários, são também intervenientes no processo de conforto lumínico do ambiente construído.

A área e orientação da edificação, segundo Li e Tsang (2008), recebem a luz, pelas esquadrias, através do princípio do fluxo dividido, e quanto maior sua área menor será o aproveitamento, internamente, da luz natural externa. Ainda, segundo os autores, em ambientes iluminados lateralmente, existe um limite de profundidade, a fim de alcançar um ideal no aproveitamento da iluminação natural.

A área de janelas é considerado o fator mais crítico, pois é ele que determina a entrada de iluminação natural em uma edificação. Segundo Li e Tsang (2008), a legislação de Hong Kong determina que a área de janelas deva ser maior que um décimo da área de piso do ambiente. No caso de Viamão, RS, a Prefeitura de Viamão (1989), através do código de edificações, determina que a área de janelas deva ser, no mínimo, um sétimo da área de piso, apesar de não estabelecer área de caixilhos, e portanto não definir a área efetiva de iluminação.

Outro fator a ser considerado na área de janelas é a sua relação com a área de fachada, PJF (porcentagem da área de janela por área de fachada). Segundo Li e Tsang (2008), a área de janelas, representada pelo índice de área de janela para área de parede (WWR), define um índice de área total de janelas, para o total bruto de área de fachadas, incluindo janelas.

Em relação ao tipo de vidro, Li e Tsang (2008), afirmam que, este controla a quantidade de iluminação natural que penetra em um interior em termos de transmitância interior. Segundo os autores, a transmitância de luz, em vidro simples, o mais comumente utilizado, provém de uma alta transmissão natural, permitindo, também, o ingresso substancial de energia solar no interior da edificação. Neste sentido, os autores explicam que o vidro *low-e* contém uma fina camada de óxido metálico, que, substancialmente, reduz o ganho de calor, sem reduzir proporcionalmente a transmitância de iluminação natural, sendo, desta forma, efetivo em termos de minimização dos ganhos de calor solar na presença de radiação de onda curta. Entretanto, devido a seu elevado custo, Li e Tsang (2008) afirmam que este tipo de vidro se justifica apenas em edificações comerciais.

Sabe-se que existem dispositivos capazes de proteger as esquadrias da radiação direta do sol, permitindo uma iluminação natural difusa. O uso de proteções solares, em uma abertura, é um recurso importante para reduzir os ganhos térmicos. Entretanto estes não devem prejudicar a iluminação natural. Neste sentido, as proteções internas são bastante flexíveis, do ponto de vista de operação, porém não evitam o efeito estufa no interior da edificação. Li e Tsang (2008) salientam que os dispositivos internos, como cortinas cegas e persianas não são tão eficientes quanto os externos, como marquises e brises, porque apenas os externos bloqueiam a luz solar direta, antes de o calor entrar no ambiente. Lamberts, Dutra e Pereira (1997) afirmam que os dispositivos de sombreamento externos, quando bem dimensionados, garantem a redução da incidência de radiação solar quando

necessária, sem interferir na luz natural. Os autores ainda colocam que a proteção tipo *light shelf* (também conhecida como prateleira de luz) tem por objetivo interceptar a radiação direta do sol, redirecionando a mesma para o forro. Desta forma, a mesma consegue, além de reduzir o ganho de calor solar, uniformizar a distribuição da luz natural no ambiente interno, sendo a sua aplicação limitada a fachadas de orientação Norte.

Li e Tsang (2008) afirmam que a eficiência da iluminação natural é freqüentemente avaliada em termos de fator de luz diurna (DF – daylight factor), a qual, por definição, é o índice de iluminância interna relativamente à iluminância externa, simultaneamente disponível no plano horizontal de um conjunto do céu desobstruído, expresso como um percentual. Aqui, a iluminância externa deve ser medida considerando o nível de obstrução existente, com refletâncias oferecidas pelo entorno e luminância oferecida pela abóboda celeste visível no local, afirmam os autores. Assim, considera-se que as obstruções externas influenciam no desempenho lumínico em dois aspectos: (a) na quantidade da abóboda celeste que está obstruída ou desobstruída; (b) na cor final das superfícies externas, podendo ser considerada como luminância refletida pelos edifícios que a circundam. (LI; TSANG, 2008).

2.2.4 Níveis de iluminância, segundo a Norma

A distribuição da luz sobre uma superfície exprime-se em termos de lúmens por unidade de área e é chamada de iluminância. Define-se iluminância, segundo a NBR 5413 (ABNT, 1992a, p.1) como “limite da razão do fluxo luminoso recebido pela superfície em torno de um ponto considerado, para a área da superfície, quando esta tende para o zero”.

A norma ABNT (1992a) ainda estabelece que a iluminância deve ser medida na altura do plano de trabalho, e quando avaliada em apenas um ponto, os demais não devem apresentar valor inferior a 1/10 do adotado como referência para o campo de trabalho. A ABNT(1992a) também menciona que a iluminância no ambiente avaliado não deve apresentar nenhum ponto, do campo de trabalho, com nível de iluminância inferior a 70% da iluminância média, que é determinada conforme a mesma norma.

Assim, para o cumprimento de tais exigências, a norma ABNT(1992a) apresenta diferentes classes, conforme atividades e sua exigência de iluminação, dividindo estas em A, B e C. A classe “A” representa atividades simples, que requerem baixa iluminância, enquanto a classe “C” exige maior iluminância, por incorporar atividades que englobam tarefas visuais difíceis.

Além disso, a ABNT(1992a) também estabelece diferentes pesos, que através das características do grupo, devem ser considerados. Pessoas de mais idade requerem mais iluminação do que pessoas mais jovens, para realização de mesmas tarefas. Da mesma forma, a ABNT(1992a) também coloca que atividades de maior precisão e fundo com menor refletância devem receber maior iluminância.

Tabela 1: iluminâncias em lux, por tipo de atividade (adaptado da fonte: ABNT, 1992a, p.4 e p.11)

Escolas				Residências			
	min	med	max		min	med	max
Salas de aula	200	300	500	Salas de Estar geral	100	150	200
Quadros negros	300	500	750	Salas de Estar leitura	300	500	750
Salas Artes	200	300	500	Cozinhas geral	100	150	200
Laboratório geral	150	200	300	Cozinha local	200	300	500
Laboratório local	300	500	750	Dormitórios geral	100	150	200
Anfiteatro – platéia	150	200	300	Dormitórios local	200	300	500
Anfiteatro – tribuna	300	500	750	Hall, circulação	75	100	150
Sala de Desenho	300	500	750	circulação local	200	300	500
Sala Reuniões	150	200	300	Banheiros	100	150	200

Por fim, a ABNT(1992a) apresenta uma tabela, apresentada parcialmente na Tabela 1, com diferentes valores de iluminância para diferentes locais. Assim, deve-se considerar o valor da coluna do meio como iluminância de conforto, devendo ser utilizados em todos os casos. A ABNT(1992a) coloca que os valores mínimos podem ser usados em casos extremos, de alta refletância e pouco uso, e os valores máximos, em casos, também extremos mas, de baixa refletância, ou em atividades de alta precisão e alta produtividade. Entretanto, ressalta-se que a iluminância sozinha não caracteriza o conforto ou acuidade visual, pois deve ser considerada juntamente com a reflectância das superfícies, que produzem a luminância. A norma, no entanto, não apresenta valores de luminância mínimos para as superfícies.

2.3 CONFORTO ACÚSTICO

O conforto acústico, segundo Schmid (2005), está associado à conveniência de se ouvir o necessário, e de não se ouvir o que pode causar estresse ou distrair a atenção necessária para tarefa que porventura nos ocupe. Segundo Ornstein e Romero (1992), o conforto acústico depende do controle do ruído, contínuo ou intermitente, da inteligibilidade do som e do tempo de reverberação.

Romero e Ornstein (2003) ressaltam que o objetivo da acústica, no ambiente construído, é proporcionar o melhor desempenho em qualquer atividade, eliminando eventuais incômodos causados por ruídos. Portanto, o grau de conforto acústico está diretamente ligado ao nível de ruído interno, que varia à medida que o nível de exigência da atividade exercida também varia (ROMERO; ORNSTEIN, 2003).

A fim de avaliar o conforto acústico de uma edificação, Romero e Ornstein (2003) afirmam que se deve caracterizar as fontes externas e internas de ruído, as características da envoltória da edificação e as atividades humanas que influenciam ou são influenciadas pelos ruídos encontrados.

Assim, a partir destas informações, a seguir serão tratados os assuntos relativos à

percepção humana aos sons, as fontes de ruídos, os ruídos no ambiente construído e os níveis de pressão sonora recomendados pela Norma.

2.3.1 Percepção humana

Schmid (2005) define que: “O som é definido como a vibração mecânica do meio em frequência e intensidade tais que possam sensibilizar o aparelho auditivo humano.” Nunes (2005) complementa que a audição humana, com suas características, deve ser o principal fator a ser considerado na análise de dados provenientes de uma medição acústica. Desta forma, deve-se entender as relações entre as propriedades físicas medidas e a percepção humana do som, sabendo-se que diferentes fontes de ruído produzem reações diferentes nas pessoas. Schmid (2005) complementa afirmando que o ambiente construído é um espaço sonoro principalmente pela presença de vida.

Segundo Nunes (2005), para se incorporar as características da reação auditiva humana, dentro de uma medição de ruído, é desejável que o nível de pressão sonora se relacione com a percepção humana do som. No entanto, Nunes (2005) afirma que o desenvolvimento de escalas para fontes específicas envolve estágios de processos complexos, que podem abranger a relação entre resposta humana do som, em termos de volume e incômodo, duração e impulsividade da fonte de ruído, de comportamentos ou atitudes subjetivas diante de determinadas fontes. Bistafa (2006) destaca que a reação das pessoas ao ruído depende, além da audibilidade, tonalidade e características espectrais, da hora de ocorrência e sua duração.

O som, assim como outros tipos de estímulos, podem provocar reações de atração ou repulsa que estão ligadas à percepção ambiental de cada pessoa, afirma Broadbent (1957)⁶ *apud* Nunes (2005). O autor ainda pondera que, na avaliação da percepção do ruído, devem-se evitar dois tipos de erro de interpretação: definir o tipo de dano em função da fonte e concluir que, na ausência de relato de incômodo, não existe dano.

Szokolay (1980) estabelece subdivisões entre os limites da audição humana, relacionados a diferentes atividades. Schmid (2005) afirma que: “A adequação requer que o ambiente sonoro seja coerente com a atividade desenvolvida.” Ainda segundo o autor, quando esta atividade requer a comunicação sonora, ruídos mais agudos que o som transmitido podem mascarar o som, dificultando o entendimento do mesmo. Segundo Schmid (2005), o ouvido humano tem maior tolerância a sons graves, pois não dá resposta plena a estes sons, diferentemente dos sons agudos, que, por isso, são menos tolerados e incomodam mais os seres humanos.

Segundo Egan (1988)⁷ *apud* Nunes (2005), a fala, ou conversação, pode variar entre 50 e

⁶BROADBENT, D. E. Effects of Noise on Behavior. In: HARRIS, C. M. **Handbook of Noise control**. New York: McGraw-Hill, 1957. p.10-1 – 10-34.

⁷EGAN, M. D. *Architectural Acoustics*. McGraw-Hill, Inc., 1988.

75dB(A), e, a partir de 100dB(A), pode haver surdez temporária, o que pode ser alcançado tanto em concertos de música ou em corridas de motocicleta. Szokolay (1980) afirma que níveis acima de 65dB podem causar fadiga mental e física, e um ruído de 150dB causa perda instantânea da audição.

Bistafa (2006) afirma que o silêncio absoluto também é um problema, pois, após alguns minutos em um ambiente muito silencioso, tornam a audição mais sensível, e o indivíduo fica mais susceptível aos ruídos do corpo humano. Segundo Bistafa (2006), a completa eliminação do ruído não faz sentido quando o ruído de fontes secundárias se sobrepõe ao ruído principal. Pois, segundo o autor esse, conhecido como ruído de fundo, normalmente não pode ser eliminado, sendo necessária, apenas, a sua redução para melhor compreensão do ruído principal. Assim, o objetivo, segundo Bistafa (2006), é controlar o ruído e não eliminá-lo.

2.3.2 Fontes de ruído

Segundo Bistafa (2006, p.5): "...o ruído é um som sem harmonia, em geral de conotação negativa". Entretanto, o autor pondera que a definição de ruído como "som indesejável" depende do contexto, e sons qualificados como ruídos podem, muitas vezes, transmitir informações úteis.

O **ruído ambiente** é definido como uma superposição de ruídos, de naturezas diferentes e origens distintas, próximas ou remotas. Porém não é objeto de interesse, ou consideração específica, afirma Bistafa (2006). Existe, ainda, segundo o autor, o **ruído básico**, ou residual, que é o nível sonoro mínimo, e que não se reduz durante o intervalo de tempo de medição. Bistafa (2006) ainda exemplifica que o **ruído residual** pode ser oriundo de diversas fontes, como o tráfego de veículos em vias mais distantes, ou do movimento da vegetação, causado pelo vento, que, no entanto, combinados, geram um ruído estacionário básico. Entretanto, "o ruído residual não deve ser confundido com o **ruído de fundo**, o qual é definido como o conjunto de sons e ruídos que ocorre conjuntamente com o fato sonoro objeto de interesse, ou consideração específica" (BISTAFA, 2006, p.105).

As fontes de ruído, ou o ruído propriamente dito, fazem parte do cotidiano de todas as pessoas que residem em centros urbanos, sendo, muitas vezes, contínuo, e difícil de definir, quanto às suas características físicas, afirma Nunes (2005). A autora ainda afirma que, para se medir o ruído, é necessário caracterizar o tipo de fonte, principalmente para poder definir os parâmetros do equipamento a ser utilizado.

As características físicas do som podem ser definidas segundo sua frequência, intensidade e duração, mas o contexto sonoro também é importante, podendo provocar reação a um som não esperado (NUNES, 2005).

2.3.3 Ruídos no ambiente construído

Além da caracterização das fontes de ruído, o conforto acústico depende também dos componentes do ambiente construído e suas superfícies, sendo estes responsáveis pela distribuição dos ruídos no ambiente, sua inteligibilidade e o tempo de reverberação. Segundo Schmid (2005), a questão acústica é o aspecto físico que traz maior complexidade no estudo do conforto no ambiente construído. Tal complexidade se deve ao fato das superfícies do próprio ambiente, bem como o volume do mesmo serem responsáveis por uma maior ou menor distribuição dos sons.

Sabe-se que quando uma onda sonora incide sobre uma superfície, parte de sua energia é absorvida, outra é refletida e outra é transmitida. Segundo Bistafa (2006, p.231) "...em recintos, a propagação da onda, a partir da fonte, sofre interferência das ondas que são refletidas nas superfícies que delimitam o recinto – paredes, teto e piso."

Assim, a intensidade sonora a ser absorvida depende das características do material que compõe as superfícies do ambiente. Bistafa (2006) afirma que materiais fibrosos ou porosos são utilizados para absorver os sons, enquanto que os materiais resistentes ao fluxo de ar não apresentam a mesma característica, sendo, desta forma, utilizados para refletir os sons. Entretanto, o coeficiente de absorção, se apresenta na forma de uma curva, que varia de acordo com as frequências.

A norma NBR12179 (ABNT, 1992b) traz alguns valores de coeficientes de absorção, nas diferentes frequências, para materiais construtivos. Assim, a capacidade de absorção sonora de uma superfície depende, além do coeficiente de absorção sonora, da área da superfície do material.

Considerando a capacidade de absorção do material, pode-se analisar o tempo de reverberação que o ambiente oferece. A fórmula de Sabine é um dos métodos de cálculo existentes, na qual relaciona estes dois fatores. A reverberação é o fenômeno onde o som é repetido instantes depois da sua transmissão, dificultando sua compreensão e clareza, e tornando-se confuso. Segundo Schmid (2005), este fenômeno pode ser característico de ambientes construídos compostos por superfícies duras e despojados de objetos.

Os tempos de reverberação são estipulados pela norma ABNT (1992b), que, podem ser estimados através de um gráfico (Figura 3), variando em função do volume do ambiente e da frequência do som. O tempo de reverberação deve ser compatível com o uso do espaço, que, para cada atividade, requer diferentes valores. Em ambientes destinados a fala, um tempo de reverberação longo é inadequado, porque o som permanece muito tempo no ambiente através de reflexões, interferindo no som direto e reduzindo sua inteligibilidade, afirma Bistafa (2006). Entretanto, segundo o mesmo autor, em ambientes destinados a concertos, o tempo de reverberação deve ser longo, a fim de garantir uma qualidade acústica da música.

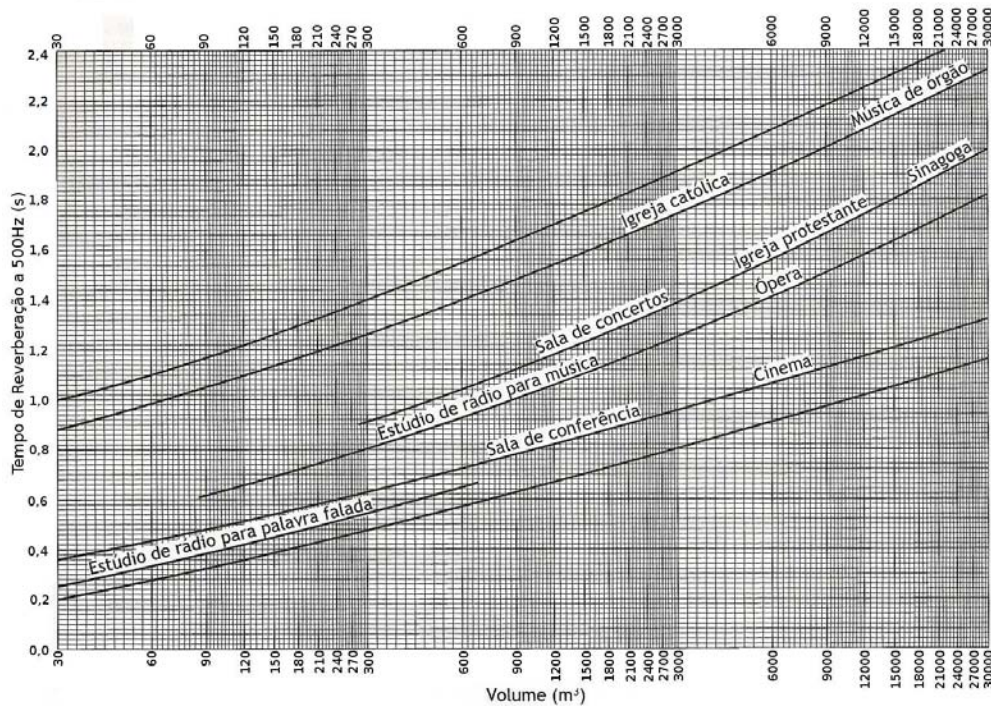


Figura 3: tempos de reverberação recomendados em 500 Hz, para ambientes fechados destinados a diferentes usos, conforme o volume do mesmo (fonte: ABNT, 1992b, p.9)

Em relação ao tempo de reverberação, Freire (1996) declara que no caso de salas de aula, se o volume do espaço disponível por aluno for inferior a 4m^3 , a reverberação será de valor aceitável. Se este valor for superior, deve-se empregar materiais absorventes na parede e teto, a fim de diminuir o tempo de reverberação do ambiente.

Segundo Bistafa (2006) “a interferência nos sons da fala causa frustração, perturbação e irritação.” Segundo o autor, a inteligibilidade da fala é importante, e sua eficiência pode ser reduzida por ruídos em ambientes de trabalho, que aumentam a chance de erros de comunicação. Em um ambiente de sala de aula, o excesso de barulho pode proporcionar o não entendimento da comunicação do professor pelos alunos.

“A interferência do ruído nos sons da fala é, essencialmente, um processo de mascaramento sonoro” afirma Bistafa (2006). O mascaramento provoca o deslocamento do limiar da audibilidade, e, como resultado, somente poucos sons serão escutados, dificultando a inteligibilidade satisfatória (BISTAFA, 2006).

Assim, baseado na importância deste problema, foi desenvolvido um método de estimativa da inteligibilidade da fala, na presença de ruído, que permite a obtenção de um número denominado índice de articulação (articulation index, AI), conforme norma ANSI S3.5 (1986)⁸ *apud* Bistafa (2006). Outra forma de estimar a inteligibilidade da fala é feito a partir de medições físicas, onde é medido o nível A-ponderado do ruído interferente, e a partir de um gráfico (Figura 4) pode-se verificar a distância necessária para atender às condições de inteligibilidade da fala (BISTAFA, 2006).

⁸ANSI3.5-1969, American national standard methods for the calculation of the articulation index, R1986

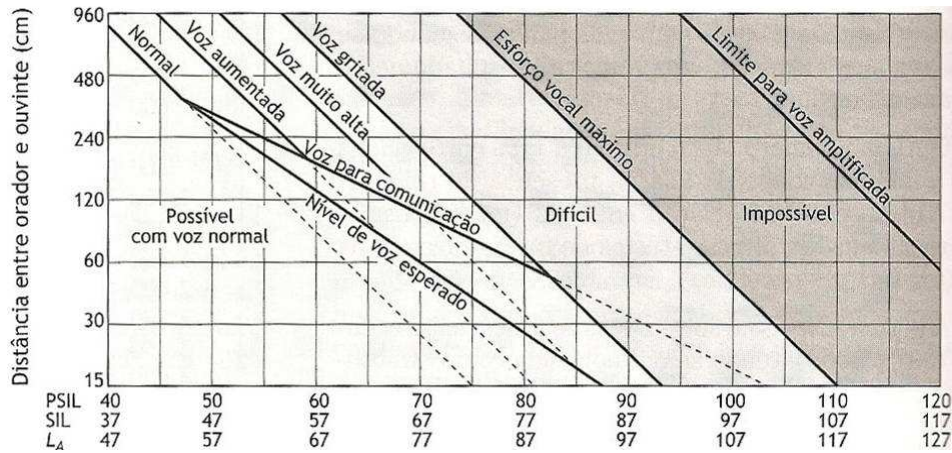


Figura 4: gráfico para determinação da distância para comunicação face a face, em função do ruído interferente, dado em termos do nível A-ponderado, SIL e PSIL (fonte: BISTAFÁ, 2006, p.122)

A partir do gráfico apresentado na Figura 4, pode-se, também, determinar as condições de inteligibilidade da fala, a partir dos valores de nível de interferência sonora (SIL - Speech Interference Level) e do nível de interferência na fala preferencial (PSIL – Preferred Speech Interference Level). Segundo Bistafa (2006), o SIL é resultado da média aritmética dos níveis de ruído nas bandas de oitava de 500, 1.000, 2.000 e 4.000Hz. E o PSIL resultado da média aritmética dos níveis sonoros das bandas de oitava de 500, 1.000 e 2.000 Hz. (BISTAFÁ, 2006).

2.3.4 Níveis de pressão sonora, segundo a norma

Os níveis sonoros ponderados, segundo Bistafa (2006, p.102), “são as medidas básicas e elementares para se avaliar o grau de perturbação causado por ruídos estacionários”. Segundo as normas e legislações vigentes, a medição deve ser realizada em nível sonoro total A-ponderado, afirma Bistafa (2006). Segundo o mesmo autor, a audibilidade está mais correlacionada com medições C-ponderadas. Entretanto, considera-se que medições A-ponderadas avaliem melhor o risco de perda de audição e o incômodo humano.

Os níveis sonoros em função do tempo podem ser caracterizados de forma mais concisa através de grandezas estatísticas, afirma Bistafa (2006). Através de um histograma é possível apresentar, estatisticamente, os níveis sonoros que ocorrem dentro de um intervalo de tempo. Bistafa (2006) complementa que, através do histograma, é possível calcular a porcentagem do tempo, que um determinado nível sonoro é excedido, durante o período de medição. Estes níveis de excedência, segundo Bistafa (2006), são os níveis estatísticos, sendo os mais usuais: L_{90} , L_{50} e L_{10} . O autor ainda define: L_{90} nível sonoro excedido em 90% do tempo de medição; L_{50} nível sonoro excedido em 50% do tempo de medição; L_{10} como o nível sonoro excedido em 10% do tempo de medição. Assim, o L_{90} é uma medida do nível de ruído residual, L_{50} é o nível de ruído mediano, e o L_{10} é uma medida de nível de ruído de pico, que ocorre dentro do período da medição (BISTAFÁ, 2006).

Segundo Bistafa (2006) a diferença entre L_{90} e L_{10} é um indicador da variabilidade do ruído durante o período de medição, e, de modo geral, quanto maior a diferença, maior será o incômodo do ruído, devido a variações bruscas de nível. O autor, por fim, afirma que os níveis estatísticos são utilizados para avaliar ruídos de sistemas de transporte, e que o **nível critério**⁹ em áreas onde há necessidade de tranqüilidade, como áreas abertas e parques, é de $L_{10}=60\text{dB(A)}$, em escolas e, em áreas residenciais, o nível critério é $L_{10}=70\text{dB(A)}$.

O **nível equivalente** (L_{eq}) é uma grandeza utilizada em diversas normas e legislações relativas à exposição ao ruído, e, segundo Bistafa (2006), pode ser calculado a partir do histograma que gera os níveis estatísticos, sendo bem aceito para avaliação de ruídos não-estacionários.

Segundo Bistafa (2006), a EPA (Environmental Protection Agency – USA) recomenda, como requisito para proteção da saúde e bem-estar da população, o nível critério A-ponderado, externamente, em áreas residenciais, de $L_{eq} 55\text{dB(A)}$. Isto com o fim de garantir internamente, um L_{eq} de 45dB(A) , considerando uma diferença média de 15dB(A) , mais algumas correções, entre o nível de ruído externo e interno, na condição da habitação com janelas abertas (BISTAFA, 2006).

No Brasil, a NBR 10151 (ABNT, 2000) apresenta condições para avaliação do ruído em comunidades. O L_{Aeq} , segundo a norma, pode ser corrigido em $+5\text{dB}$, caso o ruído tenha características impulsivas ou de impacto, gerando, a partir do nível critério corrigido, o nível critério de avaliação, conforme mostra a Tabela 2.

Na avaliação de ruídos internos, a EPA fixa o nível de ruído de 45dB(A) , considerando a interferência do ruído na comunicação oral. Bistafa (2006) ressalta a necessidade de se estabelecer o nível de ruído em função da atividade exercida em determinado ambiente.

Tabela 2: nível critério de avaliação para ambientes externos, em dB(A) - fonte ABNT (2000, p.3)

Tipos de áreas	Diurno	Noturno
Áreas de sítios e fazendas	40	35
Área estritamente residencial urbana ou de hospitais ou de escolas	50	45
Área mista, predominantemente residencial	55	50
Área mista, com vocação comercial e administrativa	60	55
Área mista, com vocação recreacional	65	55
Área predominantemente industrial	70	60

Assim, a NBR 10152 (ABNT, 1987) apresenta as curvas NC recomendadas, e seus respectivos níveis sonoros A-ponderados, a fim de estabelecer níveis de ruído compatíveis com conforto acústico em ambientes diversos, conforme suas atividades (Tabela 3).

As curvas de critério de ruído (noise criteria curves), também conhecidas como curvas NC, associam cada valor de NC a um espectro em bandas de oitava. Segundo Bistafa (2006), o

⁹Nível critério, segundo Bistafa (2006) é o nível máximo recomendável para a grandeza

método de utilização dessas curvas consiste em medir o nível de ruído em determinado ambiente, nas bandas de oitava de 63 a 8.000Hz. Posteriormente, plota-se sobre as curvas NC, os valores encontrados, e a curva imediatamente acima do nível plotado mais elevado é aquela que classifica o nível do ruído do ambiente (BISTAFA, 2006).

Tabela 3: curvas de avaliação de ruído (NC) e níveis sonoros A-ponderados recomendados (adaptado da fonte: ABNT,1987, p.2)

Locais		dB(A)	NC
Hospitais		35 – 55	30 – 50
Escolas	Bibliotecas, salas de música, salas de desenho	35 – 45	30 – 40
	Salas de Aula, laboratórios	40 – 50	35 – 45
	Circulação	45 – 55	40 – 50
Hotéis		35 – 55	30 – 50
Residências	Dormitório	35 – 45	30 – 40
	Salas de Estar	40 – 50	35 – 45
Auditórios		30 – 45	25 – 35
Restaurantes		40 – 50	35 – 45
Escritórios		30 – 60	25 – 55
Igrejas e Templos		40 – 50	35 – 45
Locais para Esportes		45 – 60	40 – 55

2.4 SATISFAÇÃO DOS USUÁRIOS

A avaliação do desempenho de uma edificação e de seus componentes deve garantir o desempenho físico adequado da edificação e a satisfação das necessidades dos seus usuários. Reis e Lay (2006) afirmam que edificações que apresentam um desempenho satisfatório, como resultado de avaliações envolvendo usuários, podem ser considerados projetos qualificados. Entretanto, é importante, também, a avaliação do desempenho físico, pois aspectos relevantes podem não estar inclusos na avaliação de desempenho envolvendo apenas os usuários.

A construção de uma edificação enfatizando as dimensões humanas e o bem-estar físico e mental dos seus usuários, segundo Ornstein e Romero (1992) é responsabilidade social dos profissionais envolvidos. Muitas vezes, na priorização de algumas variáveis, esta responsabilidade social não é adequadamente atendida, gerando edificações impróprias para satisfação das reais necessidades dos usuários.

Ornstein e Romero (1992) ressaltam a importância do trabalho de conscientização, que deve ressaltar a seriedade dos aspectos a serem considerados na avaliação das edificações em uso, destacando a avaliação pós-ocupação como uma ferramenta capaz de garantir isto. Assim, segundo Ornstein e Romero (1992), a avaliação do ambiente construído pode ser: (a) avaliação técnica – abrangendo ensaios em laboratório ou *in loco*; (b) avaliação a partir do ponto de vista dos usuários (comportamental) - verificando o atendimento das expectativas psico-comportamentais dos usuários do ambiente construído.

Segundo Ornstein e Romero (1992), na análise de dados de satisfação e percepção dos

usuários não se deve generalizar as informações obtidas, por grupos de pessoas com ocupações diferentes, que utilizam o espaço de forma diferente, ou possuem formações distintas. Não deve ser esquecido que a formação e ou utilização de um espaço pode ser percebido pelos usuários de forma distintas, conforme características próprias do usuários. Desta forma, Ornstein e Romero (1992) ressaltam que os valores dados a extratos amostrais de leigos e não-leigos, em construção, não devem ser somados ao final da avaliação, mas colocados lado a lado, para efeito de análises e interpretações comparativas, e não de forma simplista, acumulativas. Pois, segundo os mesmos autores, os leigos, normalmente, atribuem notas mais baixas a aspectos funcionais e de conforto do que aos aspectos estéticos do ambiente construído, enquanto que os não-leigos atribuem notas mais rigorosas e inferiores a aspectos estéticos (ORNSTEIN; ROMERO, 1992).

Entretanto, quando a avaliação do desempenho da edificação em uso é orientada à área de conforto ambiental, considerando a qualidade do ambiente interno, deve-se priorizar as análises físicas e de resposta junto ao usuário. A avaliação do conforto ambiental, segundo Ornstein e Romero (1992), deve considerar as questões que garantam: (a) conforto térmico e ventilação natural; (b) conforto acústico; (c) iluminação natural; (d) conservação de energia.

Segundo Fransson, Västfjäl e Skooga (2007), as medições técnicas podem falhar na captura de experiências subjetivas de dimensão simples sensorial, justificando a importância de se obter uma avaliação sob o ponto de vista do usuário no ambiente interno. Pois, segundo Västfjäll (2004)¹⁰ *apud* Fransson, Västfjäl e Skooga (2007), a maioria das linhas de pesquisa têm mostrado que pessoas tendem a perceber mais informações do que captam equipamentos de medição física. E Våljamäe et al.¹¹ *apud* Fransson, Västfjäl e Skooga (2007) complementam, afirmando que este fato é compreensível, uma vez que é difícil para as pessoas isolar os sentidos, um dos outros. Assim as pessoas não estão conscientes do que influencia suas reações.

Considerando que a eficiência da edificação faz parte da fase de uso, podemos compreender a importância da avaliação da satisfação do usuário, no processo construtivo. Ornstein e Romero (1992) afirmam que o comportamento do ser humano em relação ao ambiente construído, e as relações ambiente-comportamento não são plenamente conhecidas. E muito ainda deve ser estudado quanto aos métodos de avaliação de desempenho de edificações, a partir da coleta de opiniões de usuários, e nível de satisfação dos mesmos.

Segundo Alves et al. (2005), os estudos de percepção dos indivíduos, em relação ao ambiente construído, através de técnicas que incluem as utilizadas em avaliação pós

¹⁰ Västfjäll D. Contextual influences on sound quality evaluation. **Acta Acustica** 2004;90:1029–37.

¹¹ Våljamäe et al. Perception of sound in mediated environments. **Handbook of Presence**, in press.

ocupação (APO), visando contribuir para melhoria da qualidade de vida dos usuários, são de grande importância. Segundo Romero e Ornstein (2003), a diversidade de métodos e técnicas que podem ser adotados (questionários, entrevistas, observações, registros fotográficos, vistorias técnicas, outros), sendo alguns com resultados predominantemente quantitativos e outros com resultados predominantemente qualitativos, e a comparação entre eles, aumentam a confiabilidade dos diagnósticos finais e de seus cruzamentos.

2.5 CONFORTO AMBIENTAL NAS EDIFICAÇÕES ESCOLARES

Sabe-se da importância do conforto ambiental em edificações escolares a fim de garantir o bom desempenho e aprendizado dos seus usuários. Cabendo também salientar que as edificações escolares se diferenciam das habitações, pela sua atividade, tempo de ocupação e sua importância dentro do processo de formação de seus usuários.

Mendell e Heath (2005) afirmam que a preocupação com a qualidade ambiental nas edificações escolares deve ser uma prática, uma vez que as crianças gastam mais tempo nos ambientes internos da escola, do que na sua própria edificação residencial. Ornstein (1995) afirma que o não atendimento aos requisitos mínimos de conforto ambiental é um aspecto da arquitetura escolar que têm grande influência negativa no aprendizado dos alunos. Schmid (2005) ainda afirma que o conforto ambiental, deve ser mais que uma prática e sim um valor, por sua vez composto por quatro contextos: físico, psico-espiritual, sócio-cultural e ambiental.

2.5.1 Conforto térmico nas edificações escolares

Segundo Yannas (1995), o período de ocupação em edificações escolares é diferente do período de ocupação em edificações residenciais, em geral. No período mais frio do inverno, intervalo noturno, as edificações escolares não são freqüentadas pelos alunos, bem como no período mais quente do verão, na qual os alunos entram em período de férias, retornando às aulas somente no final do verão, afirma o autor. Na questão térmica, Krüger, Adiazola e Takeda (2004) salientam que o nível de atividade também é determinante na sensação de conforto do indivíduo, em edificações escolares. Pois, segundo os autores, nas salas de aula, onde o aluno permanece em atividade sedentária, apenas assistindo e fazendo anotações, sua percepção de conforto será diferente do aluno que está no ginásio, exercendo atividades físicas forçadas.

Theodosiou e Ordoumpozanis (2008) realizaram um estudo na Grécia, em escolas (maternais e de ensino fundamental), onde foram analisados o conforto, a eficiência energética e qualidade interna do ar, através de medições, consumo de energia e questionários. Neste estudo, os autores afirmam que, o maior problema encontrado foram as esquadrias, componentes com elevada transmitância térmica, apresentando locais de

grande perda de calor através do emprego de vidros simples sem devida vedação. Outro fato observado por Yannas (1995) e Becker, Goldberger e Paciuk (2007) é que as salas de aula, local mais utilizado nas edificações escolares, são também o local com maior densidade de usuários. Este fato dificulta um pouco a obtenção de conforto, pois alta concentração de pessoas traz problemas de higiene do ar, além de ser uma grande fonte de calor. O próprio corpo humano é responsável pela emissão de odores, vapor d'água e CO₂, causando preocupação quanto à qualidade do ar interno. E assim, deve haver um controle do mínimo de trocas de ar, que devem ocorrer por hora, em cada sala de aula, buscando uma renovação do ar e qualidade do mesmo. A ventilação natural higiênica torna-se essencial e fundamental nestes casos, afirma Yannas (1995). Theodosiou e Ordoumpozanis (2008) afirmam que a alta densidade ocupacional das salas de aula (de 1,8 a 2 alunos por m²) causa excessivo ganho interno durante as horas de ocupação, e requer o aumento de ventilação, a fim de assegurar condições próprias de saúde física e mental. Entretanto, segundo Becker, Goldberger e Paciuk (2007), as grandes taxas de ventilação, apesar de necessárias em espaços freqüentados por muitas pessoas, a fim de prover taxa de qualidade do ar adequada, podem causar significativas perdas de energia, especialmente em edificações escolares, bem como eliminação do excesso de calor, que possa vir a ser gerado no ambiente interno.

2.5.2 Conforto lumínico nas edificações escolares

Na questão lumínica, de edificações escolares, Yannas (1994) afirma que os parâmetros controláveis de projeto são o dimensionamento, a geometria e a localização das aberturas, juntamente com a refletância das superfícies internas do ambiente. Assim, Yannas (1995) complementa que a iluminação natural nas edificações escolares, quando mal projetada, pode gerar ofuscamentos no plano de vista dos usuários, bem como gerar calor excessivo, aumento significativo da temperatura, através da radiação direta do sol. "Nos edifícios escolares, a iluminação assume um papel fundamental no desempenho das tarefas visuais e, conseqüentemente, no rendimento escolar", afirmam Nery, Coelho e Andrade (1999). A iluminação uniformemente distribuída deve garantir a leitura e a escrita no plano de trabalho, assim como, a leitura do quadro negro, afirmam Freire (1996), Nery, Coelho e Andrade (1999), sem provocar excesso de luz ou sombras. Segundo Freire (1996, p.60), "...em salas de aula a iluminação é considerada apropriada quando permite o máximo de rendimento da visão com o mínimo de esforço visual".

O ambiente deve oferecer iluminação adequada às atividades escolares, de forma a não proporcionar fadiga, oferecendo um bom rendimento escolar e o bem estar dos usuários. Segundo Freire (1996), na sala de aula é necessária visibilidade, tanto à distância (para enxergar o que estiver escrito no quadro negro), como à pequena proximidade (para

escrever sobre um caderno). “Além disso, de qualquer ponto de vista da sala de aula, a luz que incidir sobre o quadro de giz não deve produzir reflexo velador”, afirma Freire (1996, p.60).

Freire (1996) afirma que o ambiente deve ser iluminado de forma uniforme, sem contrastes excessivos e reflexos indesejáveis. Pois, segundo o autor, a impressão subjetiva de conforto visual depende da relação entre as luminâncias das superfícies (planos de trabalho) e seu entorno. Segundo o autor, o olho humano acomoda-se à luminância média do ambiente. Assim, em tarefas visuais que requerem deslocamentos constantes para diferentes campos visuais – a leitura no quadro negro intercalada com a escrita, na mesa de trabalho – a iluminação mais uniforme garante um melhor conforto visual. “Se a criança tiver que olhar para o quadro de giz altamente iluminado, e imediatamente de volta para o seu caderno em condição inferior de luminância, a readaptação ocular deverá ser lenta, e o desempenho visual poderá ser prejudicado”(FREIRE, 1996, p. 65).

Em relação ao ofuscamento, este é causado tanto pelo excesso de luz, como pela falta de controle da luz, dentro do campo de visão, sendo um incômodo, que distrai a atenção, podendo até reduzir a habilidade do observador em enxergar com acuidade. Segundo Freire (1996), num ambiente de sala de aula, o ofuscamento depende da localização da fonte luminosa direta ou refletida no campo de visão do observador. As luminâncias consideradas aceitáveis em áreas de forro podem ser excessivas e desconfortáveis para áreas de parede, por estarem mais visíveis através do campo de visão, afirma Freire (1996). Assim também, as luminâncias na superfície do quadro negro, não devem causar reflexos indesejáveis, segundo Freire (1996).

Em estudo realizado por Theodosiou e Ordoumpozanis (2008), em salas de aula, as escolas mantinham as cortinas ou persianas fechadas em dias ensolarados de inverno, devido a presença de brilho e problemas de ofuscamento. Segundo os autores, este problema é diretamente relacionado ao projeto da edificação, que não oferece controle para iluminação natural. A presença da radiação solar direta em salas de aula é considerada inadequada principalmente sobre os planos de trabalho (horizontais e verticais), por ser responsável por reflexos e contrastes excessivos, causando ofuscamento prejudicial à visão, afirma Freire (1996).

2.5.3 Conforto acústico em edificações escolares

“A prevenção e o controle do ruído em edificações escolares começa desde a concepção desses espaços, definição do uso e ocupação do solo, até chegar aos materiais de construção adequados a cada ambiente”, afirma Freire (1996, p.72). A presença de estímulos sonoros inadequados originam dificuldades no ensino/aprendizagem, principalmente no que diz respeito à inteligibilidade do som ambiente, afirma Freire (1996).

Segundo o autor, as interferências do ruído podem causar dificuldades na comunicação oral em salas de aula, como a elevação do nível natural da voz, a necessidade de repetição e interrupção nas explicações.

Os ruídos, em uma edificação escolar, podem ser oriundos do interior da sala de aula, de áreas de uso comum da escola e do entorno da mesma. Portanto, ao definir o uso e ocupação do solo em edificações escolares, é importante isolar os espaços que produzem ruídos excessivos, a fim de evitar problemas acústicos nas salas de aula, afirma Freire (1996). Recomenda-se que as aberturas não sejam voltadas para vias públicas, e a edificação escolar deve ser implantada nas proximidades de vias arteriais, coletoras ou locais, com fachadas cegas (sem aberturas), voltadas para vias principais (BRASIL, 1986¹² *apud* FREIRE, 1996).

Entretanto, tais exigências, em muitos casos, não podem ser impostas, pois geram grandes sacrifícios do ponto de vista das demais exigências de conforto, tais como as térmicas e lumínica.

Em relação às superfícies que compõem o ambiente da sala de aula, sabe-se que as reflexões, causadas por estas, produzem ondas secundárias, que fazem prolongar a permanência do som residual no ambiente. E, segundo Freire (1996), se o tempo desta reverberação é muito grande, a comunicação sonora durante as aulas pode ser prejudicada. Este fenômeno, depende do volume do ambiente e da capacidade de absorção dos materiais que compõem o espaço.

2.5.4 Satisfação dos usuários em edificações escolares

Por fim, a importância da verificação da satisfação dos usuários em edificações escolares é demonstrada pelo estudo realizado por Camargo e Kowaltowski (1997), em duas escolas de São Carlos – SP. As autoras, neste estudo, constataram que houve uma semelhança nas respostas dos usuários de ambas as escolas, relativas às percepções e desejos, mostrando que os alunos, mesmo inseridos em ambientes com características diferentes, apresentam uma homogeneidade nas expectativas e necessidades de conforto.

¹²BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria Geral. CEDATE. **Programa Monhangara: arquitetura de edificações escolares de primeiro grau. Manual Técnico.** Coordenado por Maria Amélia Teles. Brasília, 1986. Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Lumínico de Edificação Escolar com Estratégias Sustentáveis e Bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico

3 MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa utilizado para o presente trabalho será descrito e justificado a seguir. Em uma primeira etapa, é abordada a estratégia de pesquisa aplicada no trabalho, sendo, posteriormente, apresentado o delineamento da pesquisa, seguido pela descrição das etapas da pesquisa.

3.1 ESTRATÉGIA DE PESQUISA

A estratégia de pesquisa visa definir a metodologia que será utilizada durante o trabalho, e, desta forma, verificar se esta é coerente com o problema de pesquisa a ser estudado. A pesquisa deve alcançar o objetivo de descobrir as respostas, através do método científico proposto para a pergunta, que faz parte do problema lançado na pesquisa. Segundo Yin (1994), a escolha da estratégia de pesquisa depende do tipo de questão da pesquisa, do limite entre o fenômeno estudado e seu contexto, e do controle necessário sobre o objeto estudado e a contemporaneidade dos eventos. Assim, o tipo de pergunta, bem como o objeto de estudo e seu contexto determinam a estratégia a ser utilizada.

Desta forma, como a pergunta lançada, juntamente com o problema de pesquisa, é do tipo “como”, pretendendo ser um estudo exploratório de fenômenos contemporâneos, a estratégia de pesquisa a ser utilizada será o **estudo de caso**. Pois, segundo Yin (1994), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa que permite compreender fenômenos sociais complexos, preservando as características holísticas e significativas dos acontecimentos reais. No caso desta pesquisa, o estudo de caso também se caracterizou por tratar de eventos contemporâneos de edificação escolar em funcionamento no município de Viamão, e os dados relevantes coletados não sofrerão nenhum tipo de intervenção ou manipulação por parte da pesquisadora. Na pesquisa, o estudo de caso visa diagnosticar as variáveis de conforto ambiental de edificação escolar, que utiliza estratégias sustentáveis e bioclimáticas, onde foram coletados dados de medições térmicas, acústicas e lumínicas e de resposta à satisfação dos usuários, sem objetivar a interferência ou manipulação dos mesmos.

O estudo de caso teve um caráter descritivo e exploratório, visando descrever fenômeno contemporâneo e tentando entender, ou responder, questão através destes fenômenos. A pesquisa também foi do tipo empírico, uma vez que feita em ambiente da vida real, onde

não existe uma definição clara entre o contexto e o fenômeno. Os dados coletados são analisados, conforme será descrito, através de uma análise qualitativa, buscando, através da pesquisa, uma visão total do conforto ambiental da escola e, não apenas visando obter dados de medições abstratas de variáveis físicas.

3.2 DELINEAMENTO DA PESQUISA

A seguir, é apresentado o delineamento proposto para a presente pesquisa, e suas respectivas etapas, esquematicamente representadas na Figura 5. A pesquisa foi distribuída em três etapas distintas, apesar de interligadas, a fim de garantir retroalimentação no processo e gerar, na última etapa, uma resposta da pesquisa, como um todo. Assim, são apresentadas três etapas: (a) Etapa 1: Caracterização da pesquisa; (b) Etapa 2: Coleta e processamento dos dados; (c) Etapa 3: Análise e discussão dos dados.



Figura 5: delineamento da pesquisa

A primeira etapa foi realizada de janeiro a abril de 2008 e teve como objetivo principal caracterizar a edificação a ser analisada, bem como definir aspectos a serem considerados durante aplicação de questionários e realização de medições técnicas. Foram realizados estudos de caracterização da edificação, considerando aspectos como: localização, fatores climáticos do seu entorno, processo de projeto, materiais e técnicas construtivas utilizadas e aspectos gerais de sua ocupação. Nesta etapa do estudo também foram realizados estudos pré-teste, tanto em relação às medições técnicas, quanto aos questionários a serem

aplicados. Tais informações auxiliaram na definição dos parâmetros de avaliação, a serem utilizados na etapa de coleta de dados.

A segunda etapa foi realizada de maio a dezembro de 2008 e teve como objetivo coletar dados através das medições técnicas, e verificação de satisfação dos usuários. Nesta etapa, realizou-se assim, a instalação e monitoramento dos equipamentos responsáveis pelo registro das medições térmicas. As medições lumínicas foram realizadas próximas aos solstícios e ao equinócio de primavera, em base horária, com equipamento próprio. As medições acústicas foram realizadas em dia único de atividades normais na escola, compreendendo dados de diferentes atividades. A aplicação do questionário definitivo, em amostra previamente definida, e do grupo de foco, com os professores nos diferentes turnos, também fizeram parte desta etapa. Estes foram analisados e tratados como dados de satisfação dos usuários.

A terceira etapa foi dedicada à análise dos dados coletados na etapa anterior. Nesta etapa, os dados obtidos nas medições térmicas, acústicas e lumínicas e os dados de verificação da satisfação dos usuários, foram tabulados e analisados. Por fim, estes dados foram cruzados com a caracterização da edificação, realizada anteriormente, a fim de, através de uma análise descritiva, proporcionar um diagnóstico final da edificação, frente ao conforto ambiental proporcionado aos seus usuários.

A revisão bibliográfica ocorreu em paralelo com todas as etapas, a fim de buscar elementos de avaliação utilizados em outros estudos, e conceitos existentes, que pudessem auxiliar para uma melhor análise e definição do modelo de avaliação a ser utilizado. Assim, também, a revisão bibliográfica ajudou na validação do diagnóstico final encontrado, tendo como resultado final, recomendações a serem propostas.

3.3 DETALHAMENTO DAS ETAPAS DA PESQUISA

A presente pesquisa foi, assim, composta por três etapas, como segue: (a) Etapa 1: Caracterização da pesquisa; (b) Etapa 2: Coleta e processamento dos dados; (c) Etapa 3: Análise e discussão dos dados.

3.3.1 Caracterização da pesquisa

A primeira etapa foi nomeada de **caracterização da pesquisa** e visou gerar, através de um estudo de caracterização da edificação, uma base de dados, capaz de identificar as características físicas relevantes da edificação escolar.

A seguir serão descritas as informações e dados coletados nesta etapa, que foi composta pelos seguintes subitens: (a) Localização da edificação escolar; (b) Características climáticas; (c) Projeto Executivo; (d) Materiais e técnicas construtivas; (e) Características de ocupação; (f) Medições pré-teste; (g) Questionário piloto.

3.3.1.1 Localização da edificação escolar

A localização da edificação escolar foi essencial para referenciar a edificação no seu entorno. Nesta etapa se buscou identificar e caracterizar o local de implantação do edifício escolar devido sua posição geográfica. Assim, foram levantados dados de orientação solar da edificação, assim como latitude e longitude. Os dados de localização, gerados neste subitem, proporcionaram uma melhor caracterização do entorno para o restante do trabalho.

3.3.1.2 Características climáticas

As características climáticas do entorno da edificação escolar foram essenciais para o entendimento de alguns resultados encontrados no desenvolvimento do trabalho. Os dados apresentados, neste item do trabalho, foram retiradas de dados de estudos realizados em estações meteorológicas de Porto Alegre. A escolha destes dados ocorreu devido a maior existência de estudos nesta localidade. Também devido a não proximidade de nenhuma estação meteorológica de Viamão no entorno, capaz de caracterizar o microclima da edificação. Os dados de temperatura e umidade relativa apresentados, compreendidos entre 1951 e 1970, foram extraídos de estudo realizado por Goulart, Lamberts e Firmino (1997). Algumas menções também são feitas sobre a velocidade dos ventos característica da localidade, sua direção, e relação em função da estação do ano. O índice pluviométrico anual da localidade é citado também, como caráter ilustrativo.

O objetivo desta caracterização climática foi gerar alguns dados e informações no estudo, capazes de, durante o desenvolvimento do trabalho, auxiliar na análise de resposta da edificação às variáveis climáticas. O conhecimento das características climáticas ajuda a entender algumas escolhas de projeto, e o seu funcionamento ou não em relação ao abrandamento dos fatores climáticos.

3.3.1.3 Projeto executivo

Neste item foi apresentado, de forma descritiva, o projeto executivo da edificação escolar. Esta etapa foi primordial para o desenvolvimento do trabalho por gerar informações que agregaram valor na compreensão do processo de análise.

Os dados do projeto executivo da edificação foram apresentados, como forma de verificar e entender as estratégias bioclimáticas e sustentáveis utilizadas no projeto, e suas adequações frente às condições do local de implantação. O projeto foi descrito e relacionado com a edificação existente no local, que devido a problemas de ordem financeira e administrativas não pode ser executado na sua íntegra. As intenções de projeto, diante de cada escolha, foram também apresentadas. Assim, além da implantação do projeto executivo, são apresentadas plantas baixas e fotos da edificação escolar existente, conforme observação direta feita no local. A questão da educação ambiental, que deve ser

introduzida dentro das escolas, é trazida pelos projetistas que ressaltam as vantagens de se aplicar a sustentabilidade no ambiente escolar.

Por fim, esta caracterização da edificação, através do projeto, possibilitou e proporcionou uma análise mais criteriosa dos materiais e técnicas construtivas empregados na edificação. Assim como, a verificação do funcionamento das estratégias bioclimáticas tencionadas em projeto.

3.3.1.4 Materiais e técnicas construtivas

A caracterização dos materiais e técnicas construtivas da edificação escolar foi importante para a análise da resposta da edificação, frente às diferentes variáveis encontradas.

Dados de materiais e técnicas construtivas utilizados na edificação foram verificados, através de visitas de reconhecimento no local, e através de registro fotográfico da edificação. Neste item de materiais e técnicas construtivas foram, também, gerados dados preliminares de características físicas da edificação, a fim de iniciar o processo de análise dos elementos da edificação, buscando pontos críticos da edificação, considerando o conforto ambiental na mesma.

Assim, esta etapa objetivou descrever de forma clara os materiais e as técnicas construtivas utilizadas na escola, restringindo-se àquelas que foram consideradas, de alguma forma, importantes para o processo de análise do conforto ambiental da edificação escolar estudada.

3.3.1.5 Caracterização da ocupação da edificação escolar

A caracterização da ocupação da edificação escolar foi necessária para possibilitar um maior entendimento do uso da edificação e comportamento dos seus usuários. A ocupação da escola, nesta etapa, foi investigada a partir de entrevista com pessoa-chave, neste caso, a diretora da escola.

Buscou-se uma compreensão do uso da edificação, com o objetivo de entender o projeto pedagógico, e caracterizar o funcionamento das atividades educacionais e a faixa etária dos alunos. Esta ferramenta de entrevista foi utilizada para fazer uma primeira análise dos pontos mais críticos, no processo de ocupação das edificações, considerando o conforto ambiental no seu aspecto global, e caracterizar a percepção geral dos usuários após sua ocupação. Dados como número de alunos, faixa etária destes, e número de professores e funcionários foram identificados e apresentados nesta etapa. A maior ênfase deste item é dada às características próprias de ocupação dos usuários. Assim, são descritos alguns aspectos gerais de conduta dos usuários, tanto nas questões do dia-a-dia na escola, como em relação aos problemas encontrados ao longo do uso dos ambientes da edificação.

Esta etapa mostrou-se importante, e objetivou maior compreensão da forma como ocorreu a apropriação dos espaços pelos usuários, e seu entendimento dentro do processo da

educação ambiental. A entrevista com a diretora, também, possibilitou uma primeira análise dos pontos mais críticos, no processo de ocupação, considerando o conforto ambiental no seu aspecto global, sob o ponto de vista dos usuários.

3.3.1.6 Medições pré-teste

A medição pré-teste foi realizada apenas em relação à coleta de dados térmicos e de iluminação da escola. Assim, a medição térmica pré-teste auxiliou na determinação dos equipamentos a serem utilizados para a coleta dos dados térmicos, além de contribuir para a escolha da localização dos pontos monitorados, conforme será apresentado no item 3.3.2.1 (Medições térmicas). Na medição pré-teste, os dados não puderam ser obtidos em sua íntegra. Apesar de os equipamentos terem sido instalados na escola em março de 2008, os dados coletados não puderam ser recuperados, devido a problemas de bateria nos equipamentos, e, desta forma, não integrados nesta pesquisa. Assim, de março a maio de 2008, não foi registrado nenhum dado de temperatura e umidade relativa. Após resolução do problema e de se ter certeza do funcionamento correto dos equipamentos, estes foram instalados na escola para medições definitivas. Assim, então, os dados passaram a ser coletados a partir do mês de maio de 2008.

Os dados de iluminação da medição pré-teste também não foram utilizados nesta pesquisa. A medição pré-teste foi realizada em apenas um horário, em data não interessante para o estudo, e, por questões técnicas, não pode ser feita uma comparação precisa com os demais dados de iluminação, coletados na segunda etapa. A medição pré-teste foi realizada na sala de aula nomeada A, disposta no bloco 1, e contou com a presença de dispositivos de sombreamento nas esquadrias, que foram considerados na opção “fechados” e “abertos”, com e sem iluminação artificial. Apesar da não utilização dos dados coletados nas medições pré-teste, estas foram fundamentais para determinar parâmetros a serem seguidos nas medições definitivas, realizadas na etapa de coleta de dados.

3.3.1.7 Questionário piloto

O questionário piloto foi aplicado nos alunos do 6º ano da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico, objetivando verificar como os alunos, usuários da sala de aula, percebiam, utilizavam e se referiam a este ambiente construído, dentro da edificação escolar.

O questionário aplicado, nesta etapa, foi aberto, visando entender a percepção dos alunos quanto à utilização da escola. O questionário, primeiramente, foi muito longo e dificultou a concentração dos alunos, e, no final, os mesmos apresentavam sinais de cansaço para escrever o conjunto total das respostas. Assim, a primeira consideração foi diminuir o questionário, de 26 questões, para 10, tornando-as mais objetivas e simplificadas.

O questionário aberto também dificultou a resposta, onde se percebeu, mesmo no 6º ano,

uma certa dificuldade dos alunos para se expressarem. O período de aplicação deste questionário também se estendeu além do desejável, e por isso houve a modificação do questionário, de aberto para fechado, no questionário definitivo, visando diminuir o tempo de resposta.

No caso das respostas obtidas, estas se apresentaram dispersas em torno do assunto de interesse da pesquisa, e insuficientes para categorização na área de conforto ambiental. Assim, as questões, no questionário definitivo, se restringiram a questões de interesse direto pelos assuntos de conforto térmico, acústico e lumínico.

Através de análise descritiva e exploratória foi possível a elaboração de um novo questionário, onde foram elaboradas perguntas fechadas, com escala de valores, conforme será apresentado no item 5.4.1 (Questionário definitivo).

3.3.2 Coleta e processamento dos dados

A segunda etapa da pesquisa, designada de **coleta e processamento dos dados**, visou buscar dados de desempenho e resposta da edificação frente ao ambiente externo, bem como dados de satisfação dos usuários. A coleta de dados priorizou, além das medições das variáveis físicas do local, buscar, através de fontes de evidência adicionais, explicações para o comportamento dos usuários e das condições de resposta da edificação oferecidas frente às diferentes variáveis.

Assim, a seguir serão descritos os dados que foram coletados nesta etapa, bem como, a forma como estes foram obtidos e sobre os parâmetros e equipamentos utilizados durante esta etapa. As medições técnicas, realizados no local, foram divididas em térmicas, acústicas e lumínicas, e serão analisadas na etapa seguinte, análise de dados. A definição da amostra, em relação ao monitoramento técnico, também foi feita durante esta etapa considerando fatores que serão citados a seguir, dependendo da variável a ser coletada.

Assim, esta etapa foi composta das seguintes sub-etapas: (a) Medições térmicas; (b) Medições lumínicas; (c) Medições acústicas; (d) Satisfação dos usuários.

3.3.2.1 Medições térmicas

As medições térmicas foram feitas conforme disponibilidade dos equipamentos e visando coletar dados de temperatura e umidade relativa do ar no local, buscando caracterizar de forma técnica o conforto térmico da escola, em diferentes salas de aula.

As medições coletaram dados de temperatura (°C) e umidade do ar (%), com a utilização de aparelho datalogger dois canais, conforme será descrito a seguir. O equipamento foi instalado em diferentes salas de aula, e na circulação coberta aberta, conforme definição da amostra a ser descrita. O equipamento permaneceu instalado na escola durante período em que esteve disponível para a pesquisa, coletando informações em período quente e frio, entre os meses de maio a dezembro.

Os equipamentos de coleta de dados foram instalados na escola no dia 16 de maio de 2008, às 11h, onde permaneceram até o dia 30 de maio de 2008, às 12h, sendo novamente instalados no dia 25 de junho de 2008, às 16h, onde permaneceram até o dia 23 de setembro, às 15h. No último período de medição, os equipamentos foram instalados no dia 26 de setembro, às 11h, e retirados no dia 20 de dezembro, às 0h.

3.3.2.2 Medições lumínicas

As medições lumínicas foram realizadas com aparelho que mede iluminância e feitas em dias específicos, próximos aos solstícios de verão e de inverno (21 de junho e 22 de dezembro) e ao equinócio de primavera (22 de setembro), buscando dias com maior e menor iluminância, em base horária, conforme estabelecido pela ABNT(2004).

Assim, as medições foram iniciadas no dia 13 de junho de 2008, com novas séries de medições nos dias 23 de setembro de 2008 e 20 de dezembro de 2008, datas próximas aos solstício de inverno, equinócio de primavera e solstício de verão. No equinócio de outono, 22 de março de 2008, não pode ser feita a medição. No entanto, acredita-se, que devido à posição solar, a resposta da sala de aula, em termos de iluminação natural, seria bem similar ao resultado encontrado no equinócio de primavera.

A coleta de dados, em todas as medições, seguiu o mesmo critério, sendo realizada de duas em duas horas, conforme disponibilidade da sala de aula e horário de funcionamento da escola. Outro aspecto analisado, considerando o desempenho lumínico, foi a verificação de pontos de ofuscamento nos planos internos de trabalho, através do cruzamento da carta de trajetória solar, apresentada no item 5.2.5(Carta de trajetória solar), com observações diretas feitas no local, durante as medições.

Durante esta etapa também é apresentado o equipamento utilizado nas medições lumínicas, e a amostra, a sala de aula objeto das medições lumínicas, sala de aula E. Também são apresentados o padrão e a malha utilizados para medição no ambiente, e uma breve descrição dos materiais e fechamentos que compõem o ambiente em análise. Esta caracterização visa oferecer melhor compreensão dos resultados lumínicos, apresentados no item 5.2 (Resultados das medições lumínicas). Desse modo são descritas as dimensões, cores e texturas de diferentes superfícies que intervêm no processo do conforto lumínico do ambiente construído.

3.3.2.3 Medições acústicas

As medições acústicas foram realizadas com decibelímetro, conforme é descrito a seguir, em dia específico, a fim de verificar níveis de ruído externos e internos. A acústica das salas de aula foi analisada de acordo com a resposta dos usuários, sendo investigados problemas relatados por usuários.

As medições acústicas foram feitas no dia 21 de novembro de 2008, turno da manhã, em

condições de atividades normais na escola, sendo coletados dados de nível de pressão sonora, mínimo, máximo e equivalente, em diferentes circunstâncias. Também foram coletados: o percentual de ocorrência dos mesmos e o nível de pressão sonora correspondente aos ruídos de fundo. O equipamento foi instalado no dia da medição em diferentes pontos, conforme é descrito no item 5.3.2(Definição da amostra de medição acústica), mas incluindo pontos significativos, como: a área de circulação, sala de aula, quadra de esportes e via de acesso, rodovia. Os dados da medições foram analisados, visando, buscar entender o comportamento do envelope da edificação, através das diferenças de nível de pressão sonora proporcionadas pela envoltória, ou mesmo pela distância entre elementos, conforme é descrito no item 3.3.3.3 (Resultados das medições acústicas).

3.3.2.4 Satisfação dos usuários

A satisfação do usuário foi medida, na presente pesquisa, através de duas ferramentas de coleta de dados: questionário aplicado aos alunos e grupo de foco com professores.

O questionário aplicado aos alunos teve, primeiramente, uma aplicação piloto nos alunos do 6º ano da mesma escola. Este questionário piloto teve como propósito uma verificação, de forma exploratória, a fim de proporcionar dados capazes de gerar modificações necessárias para reaplicação em amostra definitiva do conjunto de usuários.

O grupo de foco foi realizado em dois momentos, com professores divididos em turnos, conforme período de ocupação na escola, a fim de não gerar conflitos nas informações coletadas, conforme descrito no item 5.4.4(Grupo de foco).

3.3.3 Análise de dados

Nesta etapa seguinte, foi feita uma **análise de todos os dados**, disponibilizados na etapa anterior, e apresentados no capítulo 5 (Apresentação e análise dos resultados). Esta análise dos dados foi realizada de forma distinta, para os diferentes dados. Assim, esta etapa também foi composta dos tópicos: (a) Resultados das Medições Térmicas; (b) Resultados das Medições Lumínicas; (c) Resultados das Medições Acústicas; (d) Resultados de Verificação de Satisfação dos Usuários.

Os dados das medições técnicas (térmicos, lumínicos e acústicos) foram analisados de forma a melhor entender o comportamento das edificação e de seu envelope, em particular. Estes dados, ao final desta etapa, foram cruzados com a caracterização da edificação. Nesta última etapa, também foi feito um cruzamento das informações obtidas através das medições técnicas e de verificação da satisfação dos usuários, no que concerne ao conforto ambiental oferecido pela edificação. Os dados foram analisados, objetivando gerar um diagnóstico final, que será apresentado e discutido na última parte do capítulo 5 (Apresentação e análise dos resultados).

3.3.3.1 Resultados das medições térmicas

Os dados térmicos foram analisados, nesta etapa, visando compreender a resposta da edificação com seus materiais e suas características, frente às diferentes variáveis climáticas.

Assim, esta etapa compreendeu, primeiramente, uma rápida apresentação do equipamento utilizado na medição, juntamente com a definição dos pontos da amostra selecionada, e sua caracterização. A ventilação foi caracterizada, no local, de forma simplificada, e assim foram apresentadas diversas análises que expressam, de formas distintas, os dados coletados de temperatura e umidade relativa do ar: (a) temperaturas do ar absolutas; (b) umidade relativa do ar absoluta; (c) gráficos grau-hora; (d) carta bioclimática.

Na primeira análise foram feitas considerações sobre as temperaturas do ar ocorrentes, valores absolutos máximos e mínimos, e amortecimento e atraso térmico determinados pelo envelope da edificação. Na análise da umidade relativa do ar, verificou-se as faixas de maior ocorrência, através de gráfico percentual, e a resposta dos ambientes internos às variações externas.

Na análise dos gráficos grau-hora, as temperaturas foram agrupadas em valores admitidos como estando dentro da zona de conforto, e foi efetuada a soma dos graus-hora que estão fora desta zona de conforto, bem como das horas de sua ocorrência, tanto as associadas a desconforto por calor, quanto por frio. Esta análise foi baseada nos valores registrados pelos sensores externos e internos. Por fim, também foram analisados os sensores internos, considerando os dados tão somente do período de ocupação da escola.

Nesta etapa, também foi feita uma análise de temperaturas e umidade, avaliando a sua inserção nas zonas definidas na carta bioclimática¹³. Tais valores foram assim agrupados considerando a sua inserção nas zonas e mensurados através de percentuais de ocorrência. As zonas, então, foram identificadas como conforto térmico, conforto passível de ser obtido através de técnicas passivas e desconforto, por calor e por frio.

Em relação aos resultados, cabe ressaltar que o monitoramento térmico não foi desenvolvido durante o período de verão, e considerou-se, assim, apenas as temperaturas máximas, que ocorreram durante o outono e final da primavera. Por fim, após análise de todos os dados de monitoramento, buscou-se, nas conclusões, relacionar tais dados com as características físicas da edificação, descritas no início deste item.

3.3.3.2 Resultados das medições lumínicas

Neste item foram apresentados além do equipamento utilizado nas medições lumínicas, os pontos da malha, definida dentro da amostra, e a caracterização da mesma. A carta de

¹³ Para gerar a carta bioclimática foi utilizado o software Analysis Bio, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina, que utiliza conceito da Carta bioclimática proposta por Givoni (1992).

trajetória solar e a área de iluminação efetiva foram apresentadas para auxiliar na análise e cruzamento dos dados encontrados.

Em relação às medições realizadas, os dados lumínicos foram coletados, conforme descrito anteriormente, em diferentes datas, compreendendo os períodos próximos aos solstícios (verão e inverno) e ao equinócio de primavera e em diferentes horários, intervalados de duas em duas horas, compreendendo o horário de funcionamento da escola. Assim, em cada dia de medição, foram analisados, em cada horário, os níveis de iluminância atingidos em cada ponto da medição. Estes dados foram, então, processados de forma a identificar uma iluminância média para o ambiente, em cada horário analisado. Tais valores foram comparados aos níveis mínimos estabelecidos pela ABNT (1992a), considerando as tarefas desenvolvidas na sala de aula. O cálculo da iluminância média ponderada seguiu a orientação recomendada pela ABNT(2003), que também orientou a definição da malha utilizada na medição.

Após análise dos diferentes níveis de iluminância natural, nos diferentes horários e dias, fez-se uma análise do coeficiente de uniformidade do ambiente interno. Este foi calculado através da relação entre o ponto de iluminância mínima e a iluminância média do ambiente, para cada horário de medição. A Norma ABNT(1992a) recomenda que a iluminância, em qualquer ponto do plano de trabalho, não deve ser inferior a 70% da iluminância média. No presente estudo foram encontrados poucas medições, nos diferentes dias e horários, que respeitassem esta condição. Assim, optou-se por apresentar o coeficiente como forma de ilustrar o índice de uniformidade que o ambiente apresentou em cada horário e medição.

Verificou-se, nas medições, a existência ou não de incidência direta de radiação solar nos planos de trabalho e, assim, de ofuscamento no ambiente analisado.

O plano do quadro negro também foi analisado, em relação ao nível de iluminância, medido no plano vertical. Na sala de aula E, verificou-se a iluminância do plano vertical no local originalmente previsto em projeto para locar o quadro negro. Por questões operacionais e administrativas, o quadro negro não foi disposto na parede originalmente prevista. Os níveis de iluminância nestes dois planos foram verificados e comparados, com os valores estabelecidos pela ABNT (1992a).

A iluminação artificial também foi analisada. Esta foi medida simultaneamente à verificação dos níveis de iluminação natural. Tais dados foram utilizados apenas para compará-los com dados de iluminação natural, em termos de percentuais de ganho. Esta medição apresentou alguns problemas associados a simplificações na coleta dos dados. A sua abrangência foi limitada em comparação àquela em que foi medida a iluminância natural, devido ao número reduzido de pontos onde se mediram os níveis de iluminância com iluminação artificial. Em alguns dias e horários, os ganhos de iluminância determinados pela iluminação artificial foram questionados e esclarecidos na análise dos resultados.

Os dados lumínicos são analisados com base nas medições realizadas. Após tais análises, buscou-se, como conclusão, cruzar estes dados com características físicas da edificação, descritas no início deste item.

3.3.3.3 Resultados das medições acústicas

Nos resultados das medições acústicas, primeiramente, foram apresentados o equipamento utilizado nas medições, bem como pontos de coleta de dados. Após apresentação dos pontos, foi caracterizado o tempo de reverberação, através de procedimentos preditivos, de modo a investigar eventuais potenciais problemas de reverberação que pudessem ocorrer, na sala de aula em estudo.

Posteriormente, foram apresentados os dados acústicos, obtidos em único dia de medição, mas associados a atividades distintas. Estes foram agrupados de acordo com os pontos de coleta dos mesmos. A análise dos dados foi realizada para os diferentes pontos, tendo como referência o nível de pressão sonora equivalente, na escala ponderada (A), associando-os às diferentes atividades e ruídos externos ocorrentes no momento da medição. Os níveis de pressão sonora mínimos e máximos também foram medidos, em cada ponto, considerando as atividades e ruídos ocorrentes no momento da medição. Também cotejados os níveis de pressão sonora e ruídos de fundo. Assim, após análise dos dados, estes foram comparados com as prescrições apresentadas em norma (ABNT, 1987), para cada atividade exercida.

Nas salas de aula foram comparados os níveis de pressão sonora encontrados interna e externamente, para diferentes tipos de atividades. Cabe destacar que as medidas realizadas buscaram, não uma avaliação precisa do desempenho acústico da envolvente da edificação, mas antes uma caracterização do clima de ruído identificado na escola, para as diferentes atividades nela realizadas.

3.3.3.4 Resultados da verificação de satisfação dos usuários

Os dados de satisfação dos usuários foram também analisados. A primeira análise realizada visou identificar a percepção dos usuários relativamente às condições que definiriam uma zona de conforto térmico, bem como com os parâmetros referenciais para a obtenção de conforto lumínico e acústico. Posteriormente, foi realizada uma análise estatística simplificada da amostra.

Primeiramente, os dados de satisfação dos usuários foram reunidos em planilhas eletrônicas, de modo a permitir que cada questão e turno fosse analisado separadamente, possibilitando também posteriormente a obtenção de percentuais para cada questão.

Assim, foram gerados gráficos percentuais relacionados às respostas dos usuários. Nesta mesma análise foi gerado um gráfico diferencial com as respostas dos usuários do turno da manhã e do turno da tarde separadamente, para cada questão. Apresentando em conjunto os valores percentuais da amostra total. Esta análise também contou com a construção de

um diagrama de Pareto. Este, segundo Romero e Ornstein (2003), é um gráfico de barras horizontais que demonstra hierarquicamente as notas/médias atribuídas pelos respondentes, segundo uma escala de valores. Neste estudo a escala de valores utilizada foi de 1 a 3 pontos. Através deste diagrama é possível verificar as questões consideradas mais satisfatórias para os respondentes, de forma hierárquica. Posteriormente, foi construída uma tabela com os dados de média, moda e desvio padrão das respostas de cada questão do questionário.

O grupo de foco dos professores foi descrito e seus resultados analisados de forma apenas qualitativa. Na análise das respostas dos professores, foram discriminados os turnos em que ocorriam suas classes, visando verificar alguma tendência específica que pudesse ocorrer.

Por fim, os dados dos alunos e dos professores foram cruzados em uma matriz, a fim de gerar conclusões globais a respeito de sua satisfação, no que concerne ao conforto oferecido pela edificação, para cada um dos ambientes analisados. Dentro desta matriz, tem-se consciência de que as respostas de professores e alunos não têm igual peso. O número menor de professores gera um peso maior para suas respostas; também deve ser considerado que grande número de alunos da tarde, devido a sua baixa faixa etária, não foi capaz de responder de forma clara ao questionário.

4 ESCOLA FREI PACÍFICO: DESCRIÇÃO E CARACTERIZAÇÃO

Neste capítulo, são apresentados resultados relativos à descrição e caracterização da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico, objeto de estudo desta pesquisa. Para tal, o presente capítulo será subdividido em 5 sub-capítulos: (a) Localização da Edificação Escolar; (b) Características Climáticas do Entorno da Edificação Escolar; (c) Caracterização do Projeto da Edificação Escolar; (d) Caracterização dos Materiais e Técnicas Construtivas da Edificação Escolar; (e) Caracterização da Ocupação da Edificação Escolar.

4.1 LOCALIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO ESCOLAR

A Escola Municipal Frei Pacífico situa-se no distrito de Itapuã, município de Viamão – RS, a aproximadamente 50km do centro de Porto Alegre, em zona rural, com acesso pela continuação da RS-118, conforme mostra a Figura 6.

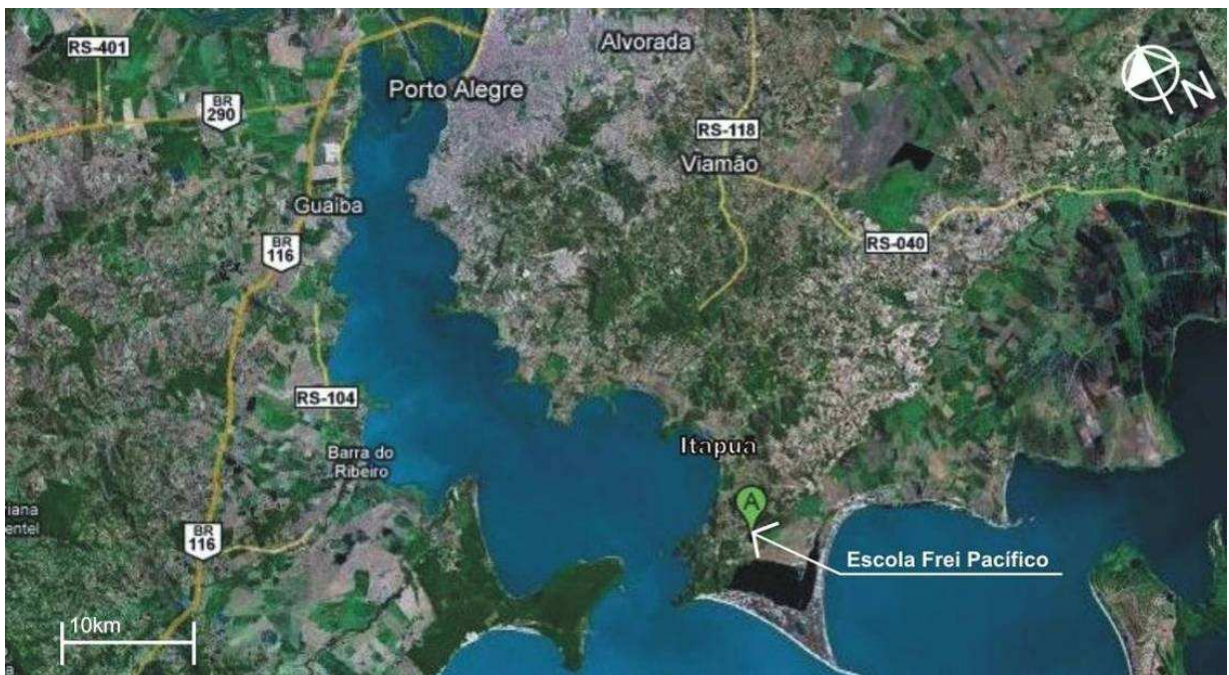


Figura 6: vista aérea da localização da Escola Frei Pacífico (fonte: <http://maps.google.com.br/>)

A escola está localizada na latitude 30°20' sul e longitude 50°59' oeste, próxima ao sul de uma lagoa, conhecida como Laguna Negra.



Figura 7: vista aérea da Escola Frei Pacífico (fonte: <http://maps.google.com.br/>)

O projeto foi desenvolvido em 2004, empregando diversas tecnologias e materiais de baixo impacto ambiental, além de buscar preservar o ambiente natural do local, visto que havia uma área de preservação ambiental adjacente. Assim, a edificação escolar foi implantada com orientação norte, voltada para um bosque de eucaliptos, conforme mostra a Figura 7.

4.2 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS

A análise climática utilizou dados de estudos de estações meteorológicas localizadas em Porto Alegre. As considerações sobre o microclima na qual edificação está inserida são feitas no capítulo de resultados.

Como resultado de uma breve análise climática, pôde-se constatar que, devido à sua localização litorânea, no Estado do Rio Grande do Sul, e à proximidade ao Lago Guaíba, o município de Porto Alegre apresenta dados influenciados por uma massa líquida, que confere a este características de clima subtropical úmido. Segundo Toniolo (2004), por estar em zona de transição climática, onde as massas de ar tropical marítimo (verão) alternam-se com massas de ar polar marítimo (inverno), a cidade de Porto Alegre apresenta uma grande variabilidade de elementos de tempo meteorológico, ao longo do ano.

A Tabela 4 apresenta dados de umidade relativa do ar registrados em Porto Alegre, no período compreendido entre 1951 e 1970, extraídos de estudo realizado por Goulart, Lamberts e Firmino (1997). Através destes dados, constatou-se que a média de umidade relativa do ar anual se apresentou em 80%, sendo que a umidade máxima, de 100%, foi atingida em todos os meses. Considerando apenas as médias de umidade relativa, os maiores valores se concentram de abril a outubro, sendo a maior média registrada no mês de junho, atingindo 86%. As menores médias de umidade relativa do ar foram registradas entre novembro e março, com a menor média no mês de dezembro, de 74%.

Tabela 4: dados de temperatura e umidade relativa do ar em Porto Alegre - período de 1951 a 1970 (fonte: GOULART, LAMBERTS, FIRMINO, 1997, p. 194-196)

Mês	Umidade Relativa (%)			Temperaturas (°C)				
	MÁX	MÉD	MÍN	MÁX	MÉD-MÁX	MÉD	MÉD-MÍN	MÍN
JAN	100	75	27	39,8	30,7	24,7	19,5	11,0
FEV	100	77	26	39,0	30,2	24,4	19,5	11,8
MAR	100	78	30	37,8	28,8	23,1	18,2	8,5
ABR	100	81	32	35,5	25,1	19,5	14,5	4,0
MAI	100	84	30	33,0	22,4	16,5	11,5	1,3
JUN	100	86	5	31,3	19,8	14,4	9,7	-1,9
JUL	100	84	27	31,4	19,9	14,3	9,5	-2,0
AGO	100	83	28	35,4	21,0	15,2	10,1	-1,2
SET	100	83	27	35,8	21,8	16,9	12,7	2,4
OUT	100	80	21	37,2	24,2	19,1	14,7	5,5
NOV	100	75	20	39,0	27,1	21,4	16,2	7,4
DEZ	100	74	19	39,0	29,3	23,3	17,9	9,2
ANO	100	80	5	39,8	25,0	19,4	14,5	-2,0

Os dados de temperatura, registrados no período compreendido entre 1951 e 1970, relativos a Porto Alegre, são apresentados na Tabela 4. Verifica-se que a temperatura média anual ficou em 19,4°C. A temperatura máxima, que alcançou 39,8°C no mês de janeiro, e a temperatura mínima, que registrou -2°C no mês de julho, demonstram a grande variação térmica característica do local. Os valores de temperatura média, quando analisados mês a mês, caracterizam os meses de junho a agosto, como período frio, com média das temperaturas mínimas em torno de 10°C, e os meses de dezembro a março, como período quente, com média das temperaturas máximas ao redor de 30°C.

Em relação às chuvas, conforme apontado por Ferraro e Hasenack (2000) apud Morello (2005), a precipitação mínima absoluta foi registrada em dezembro, com 0,4mm, enquanto a máxima foi encontrada no mês de maio com 405,5mm. Entretanto, através dos dados não se pôde observar tendência de estação seca ou chuvosa, apesar de inverno concentrar maiores índices pluviométricos do período. O índice pluviométrico anual apresentou, segundo os mesmos autores, um valor médio de 1296mm.

O regime de ventos da região se caracteriza, predominantemente, como possuindo ventos oriundos do quadrante leste-sudeste, na maior parte do ano. Entretanto, no período de inverno, os ventos são oriundos dos quadrantes oeste e leste (MARQUARDT, 1969; AROZTEGUI, 1977). Segundo Aroztegui (1977), baseado no período de 1961 a 1974, os meses de inverno apresentam ventos com velocidades de 1m/s, enquanto que no período compreendido por meses de outubro, novembro e dezembro, os ventos podem chegar a 2,3m/s. O mês de setembro é considerado como um período de transição entre as baixas velocidades dos ventos de inverno e as altas velocidades do início da primavera. Os meses compreendidos entre janeiro e abril apresentam transição para as velocidades mais baixas, registradas no inverno. Ainda, segundo Ferraro e Hasenack (2000) apud Morello (2005), a velocidade dos ventos em Porto Alegre pode variar de 1,3m/s, em junho, a 2,8m/s, em

outubro. Entretanto, podem ocorrer rajadas de vento, principalmente no outono e primavera, registrando velocidades de vento bem superiores ao padrão. Segundo Uber (1992), em Porto Alegre, os ventos são predominantemente provenientes da direção sudeste, setembro a novembro, enquanto nos meses de dezembro a abril os mesmos são provenientes da direção leste. Ventos provenientes de oeste ocorrerem de maio a julho. Ventos de sul podem ocorrer no início das tardes, no mês de abril, ao início das manhãs, até o meio das tardes, no mês de agosto. Ainda é importante ressaltar que a direção e velocidade do vento pode ser alterada pela geometria do entorno, relevo e ou vegetação, podendo apresentar características bem específicas a uma determinada região.

Tabela 5: dados climatológicos de Porto Alegre de 1951 a 1970 - fonte (UBER, 1992, p.107-110)

Mês	Temperatura (°C)		Umidade Relativa (%)	
	MÉD	Desvio Padrão	MÉD	Desvio Padrão
JAN	24,7	2,8	75	10,3
FEV	24,4	2,8	76	10,3
MAR	23,1	3,0	78	9,6
ABR	19,4	3,5	81	9,2
MAI	16,4	4,0	84	8,9
JUN	14,3	4,1	86	9,8
JUL	14,2	4,3	84	10,0
AGO	15,1	4,0	83	10,6
SET	16,9	3,6	82	11,0
OUT	19,1	3,3	80	10,6
NOV	21,4	3,1	75	10,5
DEZ	23,3	3,0	73	11,1

Segundo Toniolo (2004), comparando os dados obtidos pelo 8º Distrito de Meteorologia, entre 1968 e 1997, com dados obtidos entre 1912 e 1967, pôde-se observar mudanças significativas no comportamento dos elementos climáticos. Segundo Uber (1992), a temperatura média anual teve elevação de 5°C no segundo período de medições, enquanto os dias de chuva aumentaram em 30% no ano e a chuva anual aumentou em 8%, e, por último o número anual de horas de insolação foi reduzido em 10%.

4.3 PROJETO EXECUTIVO

O projeto para a Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico surgiu de uma demanda da comunidade do distrito de Itapuã, município de Viamão – RS, por uma nova sede da escola, frente à carência de espaço físico adequado e visando atender a demandas da comunidade escolar. O NORIE (Núcleo Orientado para Inovação da Edificação) foi convidado a participar do processo de projeto da nova escola, a fim de incorporar algumas estratégias sustentáveis.

O projeto desta escola demonstra as vantagens de se aplicar a sustentabilidade no ambiente escolar, difundindo seu conceito, através da educação ambiental, afirmam Zanin et al. (2006). Ainda segundo Zanin et al. (2006), no projeto foram empregadas estratégias buscando uma maior sustentabilidade, como: uso de materiais de baixo impacto ambiental,

uso de materiais reciclados, bio-climatização, emprego de telhado verde, tratamento de efluentes, recolhimento e uso da água da chuva, paisagismo produtivo, compostagem, introdução de espécies nativas, mínima intervenção no solo e redução do uso da água.

Zanin et al. (2006) também afirma que o projeto desta edificação escolar empregou estratégias bioclimáticas, como: ventilação eficiente, prateleiras de luz, efeito chaminé, proteção solar, inércia térmica e ainda, telhado verde.

Algumas destas estratégias citadas anteriormente, ainda não puderam ser implantadas na escola, que já se encontra em funcionamento desde novembro de 2007. Assim, também, o projeto não pode ser executado no todo, devido a problemas de orçamento do município, ocasionando o remanejamento de alguns espaços e a extinção temporária de outros espaços previstos em projeto.

O projeto buscou, através de alguns conceitos e diretrizes, respeitar os condicionantes físicos do terreno, utilizando recursos naturais imediatos e considerando o fluxo cíclico de alguns recursos. Além disso, foram utilizadas, segundo Zanin et al. (2006), algumas estratégias de sustentabilidade. O projeto visou explorar a ventilação natural e a utilização da inércia térmica na construção; a utilização de materiais locais; a disposição espacial favorável da edificação frente à vegetação existente e à topografia do terreno; e a utilização da água da chuva (ZANIN et al., 2006).

Ainda segundo Zanin et al. (2006), o objetivo principal deste projeto foi atender à demanda da comunidade escolar local, carente de espaço físico adequado. Entretanto, o projeto tentou, além de atender de forma satisfatória a demanda, proporcionar uma educação ambiental, e proporcionar uma maior integração da comunidade com o espaço escola, através de espaços para eventos, artes, esportes e contato com a natureza. O processo de projeto ocorreu, segundo Zanin et al. (2006), de forma participativa, onde encontros e entrevistas foram realizados, com a comunidade escolar, para apresentar os princípios orientadores de um projeto ecologicamente sustentável, e também para conhecer as expectativas dos mesmos com relação à escola.

A escola foi projetada em sete blocos, conforme mostra a implantação (Figura 8), onde os blocos estão dispostos em uma seqüência determinada pela função: o bloco 1 (Figura 9 e Figura 10) congrega as atividades administrativas e a biblioteca; o bloco 2 (Figura 9) congrega as áreas de serviço e o refeitório; o bloco 3 (Figura 9) reúne quatro salas de aula; o bloco 4 abriga sanitários dos alunos e laboratórios de ciências. O bloco 5 foi projetado para abrigar um auditório com mezanino; o bloco 6 para oferecer uma sala de alfabetização e mais um conjunto de sanitários; e o bloco 7, último bloco da seqüência, foi projetado para reunir mais quatro salas de aula.

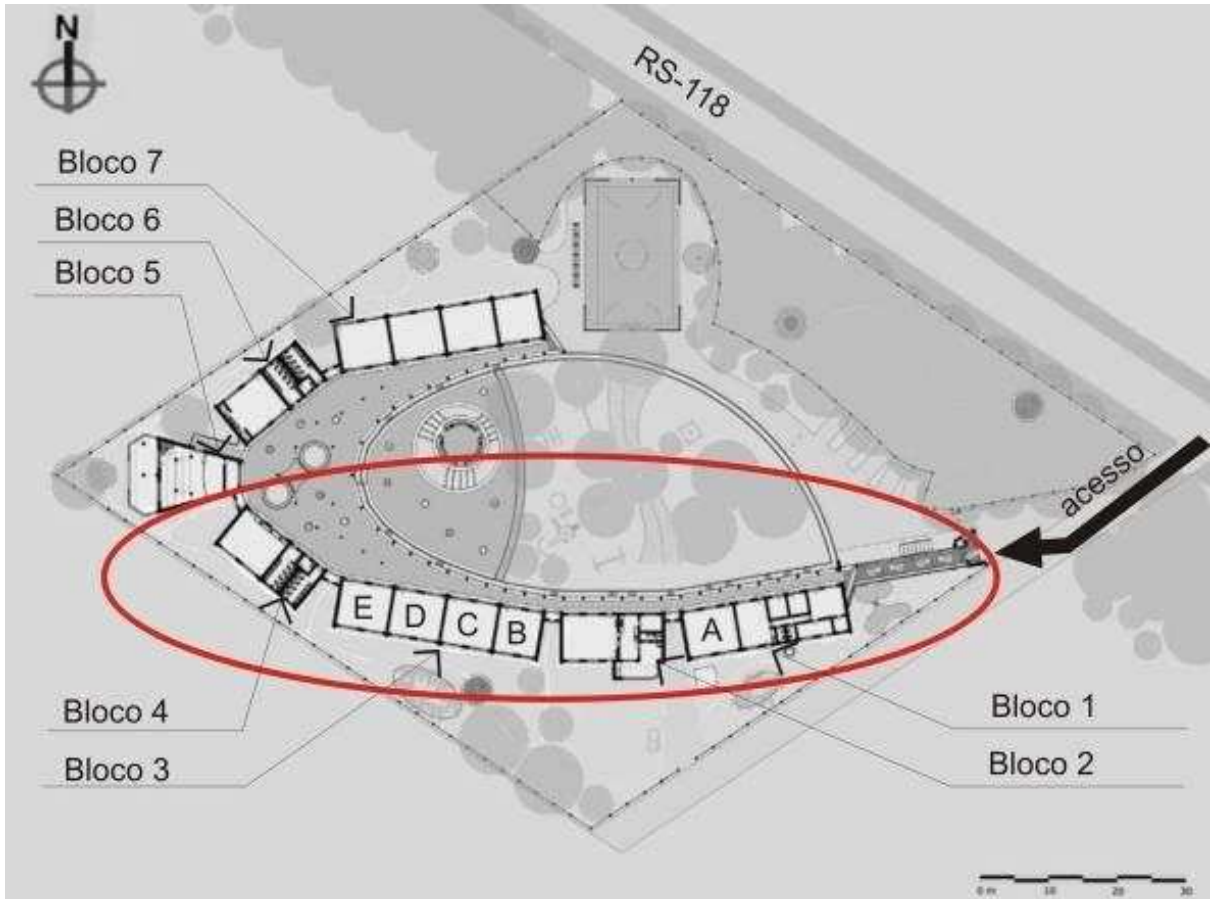


Figura 8: implantação da Escola Frei Pacífico

A implantação também foi proposta com a abertura da edificação para a direção leste, embolsando o vento desejável, no verão, e protegendo o interior da mesma dos frios ventos de inverno, provenientes do oeste. Os blocos estão unidos por uma circulação coberta aberta, que vai se alargando à medida que se aproxima dos blocos dispostos a oeste, proporcionando uma zona maior coberta, para utilização dos alunos em horas de recreação e lazer.



Figura 9: Fachada Norte (Blocos 1,2 e 3) da Escola Frei Pacífico



Figura 10: Fachada Leste (Bloco 1) da Escola Frei Pacífico

Entretanto o projeto foi executado somente até o bloco 4, conforme indica a Figura 8, ficando os demais (blocos 5, 6 e 7) temporariamente fora da implantação. Assim, devido à necessidade de funcionamento da escola, esta teve que reorganizar seus espaços,

enquanto ambiente construído, e alguns espaços, como o laboratório, foram perdidos, além da biblioteca que teve que ser remanejada, a fim de liberar espaço para uma sala de aula adicional. Atualmente, as salas de aula estão localizadas nos blocos 1 e 3, utilizando o espaço inicialmente proposto para biblioteca e dispostas na escola, conforme letras A, B, C, D e E (Figura 8 e Figura 11).

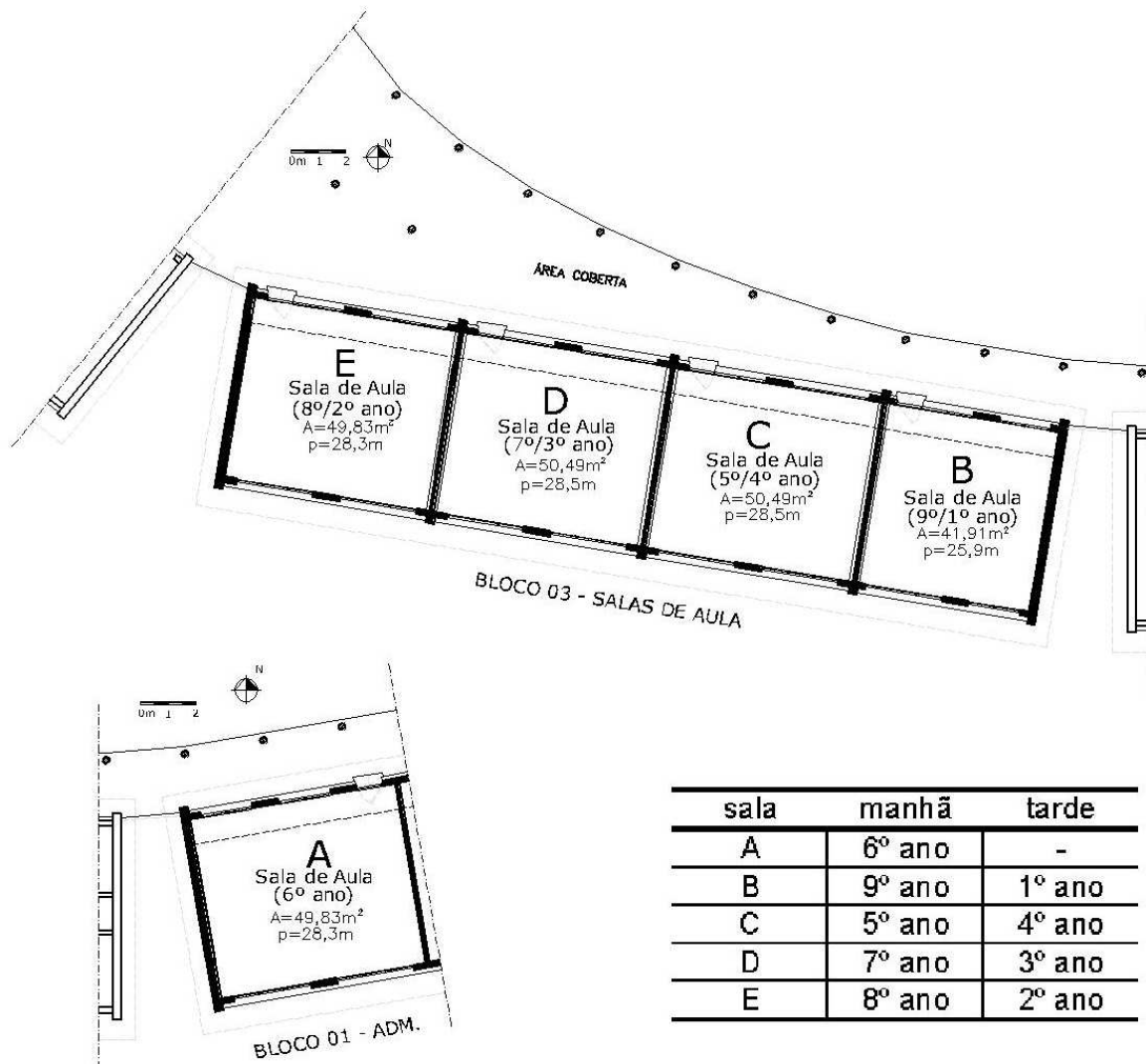


Figura 11: blocos 01 e 03 com localização das salas de aula e sua utilização conforme turno e ano

A sala A, localizada no bloco 1, é utilizada somente no turno da manhã e pelos alunos do 6º ano. As salas B, C, D, e E estão localizadas no bloco 3, e são utilizadas no turno da manhã e tarde. Assim, no turno da manhã, as salas são utilizadas pelos alunos do 9º, 5º, 7º e 8º ano, respectivamente, enquanto, no turno da tarde, as mesmas são utilizadas pelos alunos do 1º, 4º, 3º e 2º ano, também respectivamente, conforme apresentado na Figura 11.

4.4 MATERIAIS E TÉCNICAS CONSTRUTIVAS

Em relação aos materiais e técnicas de execução utilizados na edificação escolar, a mesma teve as suas paredes externas executadas em pedra granítica irregular da região nas

Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Luminico de Edificação Escolar com Estratégias Sustentáveis e Bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacifico

orientações leste e oeste, com espessura mínima de 30 cm, apresentando grande variação dimensional. A pedra granítica foi utilizada com a finalidade de buscar um maior isolamento e massa térmica para o envelope da edificação, de modo a proporcionar um atraso térmico adequado para a edificação, além de aproveitar um recurso produzido na região. Nas paredes dispostas com orientação norte e sul foi utilizada a pedra granítica até uma altura de 95cm, onde começa a alvenaria de tijolos furados, revestida com argamassa e pintura, tanto interna quanto externamente. As paredes internas dos blocos são de alvenaria de tijolos furados, com espessura final de 15cm e revestimento de argamassa com pintura, em ambos lados.

A inclinação do telhado, voltada para sul, busca uma diminuição da transferência de calor absorvido por radiação solar, para os ambientes internos. O telhado foi dotado de uma inclinação de 17°. O telhado é composto por telhas cerâmicas e forro de madeira, onde o forro acompanha a inclinação do telhado.

A proteção solar da fachada norte ocorre através da circulação coberta, que protege as esquadrias inferiores voltadas para norte, de ganhos de calor excessivos no verão. Na circulação aberta coberta foi utilizado um telhado verde, com inclinação de 5° (Figura 12), a fim de abrandar os valores de temperatura nas áreas de circulação.

As prateleiras de luz, instaladas na fachada norte, proporcionam uma maior eficiência luminosa da edificação, através da difusão da luz dentro do ambiente. Conforme mostra a Figura 12, as prateleiras de luz estão dispostas, nas salas de aula, a uma altura de 370cm, com largura de 92cm, em toda extensão da fachada norte.

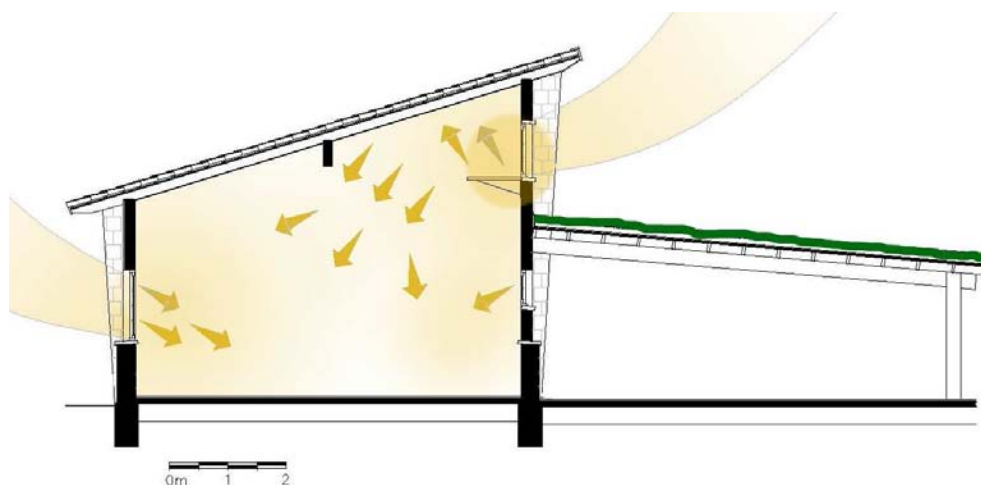


Figura 12: corte sala de aula (detalhe prateleira de luz) e circulação coberta (detalhe cobertura verde)

As esquadrias utilizadas na edificação são de ferro, com marco de madeira, sistema basculante. As salas de aula do bloco 3, na fachada norte, possuem esquadrias com peitoris altos de 155cm, além de esquadrias superiores próximo à prateleira de luz, com peitoril de 375cm. Na fachada sul, as esquadrias se apresentam com peitoril de 95cm. A posição e dimensão das esquadrias possibilitam a ocorrência de ventilação cruzada, valendo-se do

efeito chaminé, que permite a saída de ar quente para fora da edificação, conforme exemplifica a Figura 13 e Figura 14, deste modo possibilitando uma ventilação mais eficiente para os ambientes. No bloco 1, sala A, as esquadrias apresentam, na fachada norte, peitoril igual ao da fachada sul, com 95cm, além das esquadrias superiores próximas à prateleira de luz, que também sugerem ventilação cruzada, com possibilidade de efeito chaminé.

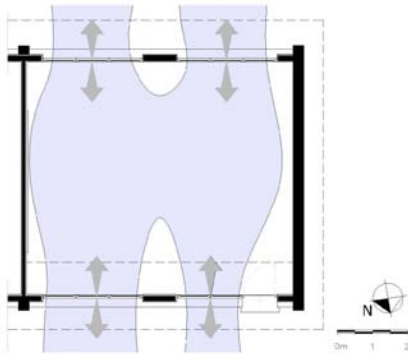


Figura 13: planta baixa da sala de aula padrão com esquema de ventilação – ventilação cruzada

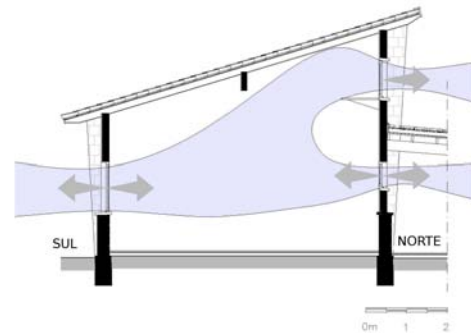


Figura 14: corte da sala de aula padrão, com esquema de ventilação - efeito chaminé

A transmitância térmica também foi analisada na sala de aula em estudo. Após aplicação dos valores apresentados na norma ABNT(2005), obteve-se para as paredes, de tijolo com argamassa, uma transmitância térmica de $3,05\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Enquanto que para as paredes de pedra granítica foi encontrado o valor de transmitância térmica de $3,7\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, para espessura de 30cm. É importante lembrar que esta parede apresenta diferentes espessuras devido irregularidade da pedra, e foi considerada espessura média encontrada no local. A parede de pedra apresentou, assim, uma maior transmitância, mostrando que a pedra deveria ter uma espessura de aproximadamente 47cm a fim de alcançar a mesma transmitância da parede de alvenaria com argamassa. Tais valores de transmitância foram considerados aceitáveis para a região analisada, visto que na norma ABNT(2005) está previsto valores de até $3,6\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, para transmitância de paredes como vedações externas. Em relação à cobertura, foi encontrado o valor de transmitância térmica de $1,55\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Tendo em vista que a ABNT(2005) recomenda para coberturas, uma transmitância térmica de até $2\text{W}/\text{m}^2\text{K}$, o valor encontrado foi, também, considerado aceitável.

4.5 DADOS DE OCUPAÇÃO

“O ensino nos dias de hoje deve envolver mais aos alunos, não podendo estar limitado ao quadro negro, lápis e papel”, afirma a diretora da escola, em entrevista realizada pela pesquisadora, no dia 06 de maio de 2008. Mostra o pronunciamento de sua diretora que a escola se mostra realmente preocupada em atender às necessidades de aprendizado dos alunos.

A escola na oportunidade da entrevista atendia a cerca de 165 alunos da região, com o apoio de 9 professores e 5 funcionários. A escola agrega no seu plano de ensino nove anos, do ensino fundamental, compreendendo turmas do jardim de infância à 8ª série. Entretanto, dentro da escola a nomenclatura 1º ano é designada ao jardim de infância, sendo o 2º ano designado à 1ª série e assim por diante, até o 9º ano que é designado à 8ª série.

Conforme exposto anteriormente, devido ao fato de o projeto não ter sido executado na sua íntegra, algumas salas, como a que deveria acolher a biblioteca, teve que ser adaptada a função de sala de aula para o 6º ano do ensino fundamental. Desta forma, alguns problemas como a instalação do quadro negro, surgiram. Esta sala apresenta a particularidade de possuir janelas baixas, voltadas para o corredor, diferentemente das demais salas de aula. O fato foi “resolvido” pela direção através da colocação de cortinas internas, que impedem a eventual distração dos alunos, com a circulação nos ambientes externos. O 6º ano é composto pela maior turma de alunos da escola, com um total de 38 alunos, podendo-se notar um certo adensamento das mesas dos alunos, e uma dificuldade de livre trânsito entre as mesmas, fato que demonstra o quão a alta densidade afeta a funcionalidade da mesma.

A biblioteca, ainda não está instalada da forma proposta, de acordo com o projeto original, e desta forma, teve que ser adaptada para funcionamento no ambiente onde seria o laboratório. Assim, também, o espaço da biblioteca, hoje, na verdade, funciona como sala multimídia, fato criticado pelos professores. Entretanto, os professores acham importante a sala multimídia estar em um local fixo, para evitar o transporte de televisão e o vídeo para outras salas, sendo afirmado que a mesma é utilizada frequentemente. A biblioteca também está equipada com rádio, e, nos intervalos, como os de recreio, normalmente os alunos escutam música, no pátio da escola.

A quadra de esportes foi executada após a conclusão e ocupação da escola e é normalmente utilizada nos períodos de educação física, às terças, quartas e quintas-feiras, nos últimos períodos, da manhã e da tarde. No horário do intervalo, de recreio, os alunos do 7º ao 9º ano, do turno da manhã, preferem escutar música perto da floreira no pátio, durante os meses quentes, próximos ao verão. No período frio, nos meses próximos ao inverno, os mesmos alunos procuram sentar ao sol no pátio, procurando cadeiras, troncos de árvore e pedras para sentar. Os alunos do 5º ao 7º ano preferem correr no recreio, e utilizam todo o corredor coberto para exercer suas atividades. No período da tarde, os alunos do 1º e 2º ano, passam o recreio acompanhados de seus professores, no refeitório, enquanto os alunos do 3º ao 4º ano preferem correr e brincar de esconder.

A mudança das instalações da escola, para os alunos, foi muito importante, uma vez que a escola anterior estava em condições precárias, e a nova escola está em muito boas

condições. A equipe de funcionários e professores também está motivada com a mudança, demonstrando rigoroso cuidado, junto aos alunos, com relação à limpeza e conservação dos ambientes. Segundo a diretora da escola, a conquista de novas instalações para a escola exigiu empenho da parte dos professores, existindo um bom retorno por parte destes. Cada um, dentro da sua área, está sempre pronto para colaborar e melhorar.

Entretanto, devido ao fato de a escola não ter sido executada com todas as instalações prevista em projeto, a falta de alguns ambientes prejudica o funcionamento da escola. Algumas turmas, que poderiam ser divididas em duas, estão super lotadas, e outras, devido à diferença de faixa etária entre alunos, em turnos que freqüentam a mesma sala de aula, dividem espaço com equipamentos desnecessários para alguns.

A manutenção da escola é de responsabilidade da Prefeitura de Viamão. Após a ocupação da escola, ocorreu um problema de vazamento da caixa d'água, devido a má instalação da bóia. Em decorrência de problema estrutural, na parte com cobertura verde, onde as vigas tiveram que receber reforço, os pilares de eucalipto trabalharam e racharam e ainda não receberam tratamento algum. A área coberta ainda apresentava, na oportunidade de condução de estudos no local, problemas aparentes de deformações nas vigas, que não foram reparados e preocupam aos usuários.

A segurança é feita por guarda (vigia), e a iluminação externa foi instalada conforme necessidades, após a entrega da escola para os usuários. Além dos postes de iluminação foram instaladas lâmpadas com dispositivo fotocélula, nas extremidades da escola, que é uma zona rural de baixa ocupação. Em relação à segurança contra incêndio, ainda não foram providenciados os extintores, que foram prometidos pela prefeitura. Assim também como a iluminação de emergência, que ainda é inexistente.

Outra questão a ser discutida é o emprego de piso claro nas salas de aula e demais compartimentos da escola. Apesar do cuidado da especificação de projeto, para que fosse antiderrapante e proporcionasse maior claridade aos ambientes, contribui para o aspecto de constante sujeira. Ainda, a escola foi beneficiada no decorrer deste estudo, com verba federal para adequação da mesma às normas de acessibilidade universal. Entretanto, como a mesma já estava adequada a estas normas, a verba foi utilizada para a construção de um *playground* “dos sentidos”, que buscou o estímulo e a exploração dos diferentes sentidos pelos alunos.

5 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentados os dados obtidos na Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico, objeto de estudo desta pesquisa, e sua análise. Para tal, o presente capítulo será subdividido em 4 sub-capítulos: (a) Resultados das medições térmicas; (b) Resultados das medições lumínicas; (c) Resultados das medições acústicas; (d) Resultados da verificação de satisfação dos usuários.

5.1 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES TÉRMICAS

A seguir, serão apresentados os equipamentos utilizados durante a medição térmica, bem como a definição da amostra utilizada na medição e sua breve caracterização. Alguns aspectos de caracterização considerados importantes neste item, como ventilação, serão descritos e analisados de forma sucinta, visando fornecer dados para uma posterior análise em conjunto com os dados coletados.

Por fim, serão descritas as análises dos dados de temperatura e umidade relativa do ar, coletados no período compreendido de maio a dezembro de 2008, em base horária. Tais resultados buscam caracterizar o desempenho térmico da escola, analisando um total de 4.523 registros horários.

5.1.1 Equipamentos de medição térmica

O equipamento utilizado para fazer as medições térmicas é um datalogger dois canais, que registra dados de temperatura e umidade relativa do ar, através de sensores internos que medem e armazenam dados em memória eletrônica.

O aparelho é também referido como pingüim (Figura 15), e é fabricado pela empresa Novus Produtos Eletrônicos Ltda, operando entre as temperaturas de -40°C a 85°C, permite até 16.000 registros em sua memória. Estes registros são enviados, posteriormente a um computador, através de uma interface (Figura 16), USB com infravermelho, e um software, Logchart II, para serem passíveis de visualização em tabelas e gráficos. Os equipamentos utilizados foram devidamente calibrados pelo laboratório da PUC, que aferiram uma precisão de mais ou menos 0,2°C, para as temperaturas, e 1%, de umidade relativa, em 2005. Os equipamentos utilizados nesta pesquisa foram gentilmente cedidos pelo Laboratório de Conforto Ambiental da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, da UFRGS.



Figura 15: foto do equipamento utilizado para medições térmicas - pingüim



Figura 16: foto da interface que transfere dados do pingüim para computador

5.1.2 Definição da amostra de medição térmica

A localização dos sensores foi feita de acordo com as posições indicadas na planta anexa (Figura 17) e listadas conforme Tabela 6, buscando coletar dados nas salas de aula dispostas nas extremidades do bloco 03 (salas E e B), e na sala de aula do bloco 01 (sala A).

Tabela 6: localização dos sensores térmicos

sensor	tipo	localização	bloco	posição
317	temp + UR	externo - circulação em frente a sala B	3	norte
318	temp + UR	externo - circulação próximo a sala A	1	norte
321	temp + UR	interno - sala A - 6º ano	1	oeste
322	temp + UR	interno - sala C - 4º e 5º ano	3	(meio)
335	temp + UR	interno - sala E - 2º e 8º ano	3	oeste
336	temp + UR	interno - sala B - 1º e 9º ano	3	leste

* todas as salas são norte - sul - e posição indica orientação no bloco

** medidores externos estão na fachada norte - na circulação coberta aberta

A sala de aula A, disposta no bloco 01, foi analisada, por apresentar características distintas das demais. A sala de aula C foi analisada apenas para verificar a existência de diferenças significativas entre as salas de aula localizadas nas extremidades e as localizadas no meio do bloco. Externamente, os sensores foram instalados em pontas opostas, nos blocos 01 e 03, para verificar a existência de diferença de temperatura ao longo da escola.

Os sensores internos foram pendurados próximos às luminárias localizadas no centro das salas de aula, conforme mostra o corte apresentado na Figura 17, sendo devidamente protegidos de qualquer radiação. Os sensores externos foram dispostos próximos às luminárias que marcam o centro da circulação, também apresentado no corte da Figura 17. A altura dos sensores, 3m internamente e 2,5m externamente, foi arbitrária considerando que a escola está em funcionamento, e desta forma o sensor não estaria interferindo na utilização das salas e circulação, bem como protegido contra eventual intervenção por parte dos usuários. Sabe-se, que os sensores deveriam ser instalados a uma altura de 1,2m a 1,5m do piso, a fim de buscarem dados mais precisos de temperatura em altura considerada de ocupação, entretanto, conforme esclarecido, devido ao fato da escola se encontrar em funcionamento, buscou-se altura, no qual usuário não pudesse interferir. Desta forma,

também será considerado que gradientes de temperatura possam ter elevado a temperatura na zona de medição, levemente acima da temperatura percebida pelo usuário.

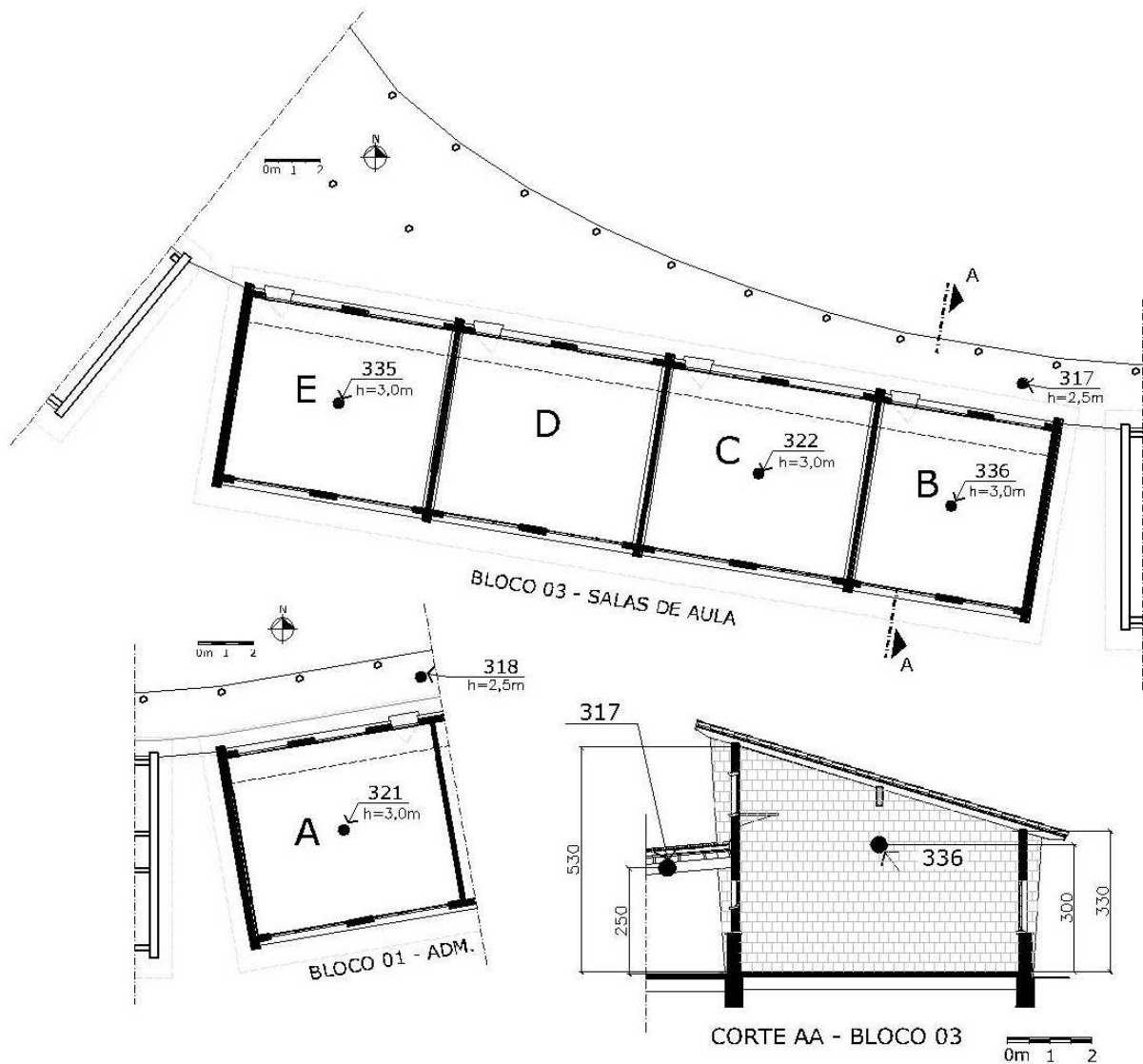


Figura 17: localização dos sensores térmicos em planta e corte

O sensor 322, localizado na sala de aula C, não foi instalado no período posterior a setembro de 2008, por atraso na retirada dos seus dados, e assim, devido à semelhança de seus valores de temperatura e umidade relativa do ar com os valores obtidos nos sensores dispostos nas salas B e E, do mesmo bloco, considerou-se desnecessária sua instalação neste último período. Assim, também, seus dados de temperatura e umidade relativa do ar, sensor 322, sala de aula C, não serão apresentados na íntegra, uma vez que não foram considerados significativamente relevantes para o presente estudo.

5.1.3 Caracterização da amostra para medição térmica

As salas de aula localizadas nas extremidades dos blocos, tanto a oeste, quanto a leste, caracterizam-se por possuírem suas paredes externas, leste ou oeste, conforme localização no bloco, de pedra granítica da região. Suas paredes, a sul e a norte, foram executadas em

Carolina Barlem Gemelli - Dissertação de Mestrado – Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 2009

pedra, somente até altura de 95cm. As demais paredes foram executadas em tijolo, com revestimento de argamassa, pintado de branco.

As esquadrias orientadas para sul, consideradas como componentes com elevada transmitância térmica, devido à sua grande área, determinam trocas significativas de calor. Tais trocas ocorrem, particularmente, devido à falta de barreiras físicas externas, próximas a esta fachada.

A maior proteção solar da fachada norte fica evidenciada no bloco 3, onde a cobertura da circulação tem sua largura estendida neste trecho, atingindo 14m, junto ao vértice noroeste da sala de aula E. Apesar disto, pode-se, também, verificar uma grande proteção da insolação no bloco 01, no período do inverno, proporcionado pela massa de vegetação existente no local, à norte da edificação. Outra característica física, que deve ser considerada na avaliação térmica das salas de aula em questão, é sua cobertura voltada para sul, que busca reduzir os ganhos de calor de verão, mas que também determinam conseqüências para o período de inverno, como menor aquecimento solar da edificação, visto que no inverno o sol está mais inclinado para norte, e a cobertura é uma fonte considerável de ganhos de calor.

5.1.4 Ventilação

A área de ventilação oferecida pelas esquadrias foi calculada a partir da divisão dos vidros, desconsiderando a parte inferior que é fixa, e considerando a abertura das mesmas com uma área de ventilação efetiva de 100%, uma vez que mesmas se abrem em ângulo horizontal de 90°. Através destes dados pôde-se constatar, segundo fórmula apresentada por Rivero (1985) que as esquadrias existentes são capazes de proporcionar uma renovação de ar de 9.730m³/h, na situação vento oriundo da direção norte com velocidade de 4,2km/h (1m/s), enquanto na situação vento oriundo da direção sul com velocidade de 10,2km/h (2,8m/s) foi constatada uma troca de ar de 32.390m³/h, nas salas de aula A, C, D e E, conforme mostra a Tabela 7.

Na sala de aula B pôde-se constatar um menor volume de renovação do ar proporcionado pelas esquadrias, conforme mostra a Tabela 7. Na situação vento oriundo da direção norte, considerando uma velocidade de 4,2km/h (1m/s) chegou-se a uma renovação de ar de 8.140m³/h, enquanto na mesma sala de aula em uma situação de vento oriundo da direção sul com velocidade do vento de 10,2km/h (2,8m/s) pode-se alcançar uma renovação ar de até 32.390m³/h

Tabela 7: volume de ar renovado de acordo com esquadrias existentes - sala de aula A, B, C, D e E

	Ae		N	velocidade do ar		Va
	(m ²)			km/h		m ³ /h
Sala C, D e E	5,29	norte	510	4,2	inverno	9.730
	5,29	norte	510	10,2	verão	23.640
	4,54	sul	600	4,2	inverno	13.340
	4,54	sul	600	10,2	verão	32.390
Sala B	Ae		N	velocidade do ar		Va
	(m ²)			km/h		m ³ /h
	4,36	norte	510	4,2	inverno	8.140
	4,36	norte	510	10,2	verão	19.770
Sala A	Ae		N	velocidade do ar		Va
	(m ²)			km/h		m ³ /h
	5,35	norte	510	4,2	inverno	9.730
	5,35	norte	510	10,2	verão	23.640
	4,54	sul	600	4,2	inverno	13.480
	4,54	sul	600	10,2	verão	32.730

Também é importante ressaltar que na ausência de ventos oriundos da direção norte ou sul, a diferença de altura existente entre as esquadrias (por efeito chaminé), deve ser capaz de proporcionar alguma renovação de ar no ambiente, para abrandar o desconforto térmico de verão.

Tabela 8: trocas de ar necessária nas salas de aula - ventilação higiênica

	nº de pessoas	volume da sala (m ³)	área p/ pessoa (m ²)	Ar fresco recomendável p/ pessoa (m ³ /h)	volume de ar recomendável (m ³ /h)	trocas de ar p/ hora necessárias
1º ano	9	181,6	20,2	21,6	194,4	1,1
2º ano	13	215,9	16,6	21,6	280,8	1,3
3º ano	7	218,6	31,2	21,6	151,2	0,7
4º ano	13	218,6	16,8	21,6	280,8	1,3
5º ano	23	218,6	9,5	28,1	646,3	3,0
6º ano	33	215,9	6,5	38,5	1270,5	5,9
7º ano	26	218,6	8,4	38,5	1001	4,6
8º ano	18	215,9	12,0	21,6	388,8	1,8
9º ano	18	181,6	10,1	28,1	505,8	2,8

Por fim, fez-se uma comparação da troca de ar necessária nas salas de aula, de acordo com ocupação das mesmas, número de pessoas que ocupam as salas, e seu volume de ar a fim proporcionar aos seus ocupantes condições higiênicas de ar fresco através da renovação de ar. E desta forma, constatou-se como pior situação as salas de aula do 6º e 7º ano, salas A e D respectivamente, onde seria necessário em termos de exigências higiênicas uma renovação do ar da sala de aula de 4,5 até 6 vezes o seu volume por hora, conforme apresentado na Tabela 8. Tal exigência, pôde ser constatada como possível de ser atendida, pois considerando velocidade do vento externo de 1m/s, e abertura de esquadrias dispostas nas fachadas norte e sul, consegue-se atingir valores superiores aos apresentados como mínimos. Entretanto, a fim de atingir tal exigência pode ser gerado resfriamento excessivo do ambiente, considerado desagradável, principalmente no inverno.

Em vista disto, também foi observada a estanqueidade das esquadrias e constatou-se problemas de vedação, causando infiltração de ar facilmente percebidos pelos usuários que permanecem perto às mesmas, especialmente na fachada sul, que não possui nenhuma barreira física. Este fato foi considerado problemático, pois no inverno causa sensação de frio aos usuários expostos a estes vazamentos de ar.

5.1.5 Temperatura do ar

As temperaturas **externas** mínimas registradas, no período de monitoramento, ficaram entre 5,5°C e 6,2°C, nos diferentes ambientes da escola, e foram registrados no dia 04 de agosto de 2008, dia de funcionamento da escola, às 7 horas (Tabela 9). O menor valor, 5,5°C, foi registrado no bloco 03, enquanto no bloco 01, no mesmo dia e horário, a mínima temperatura alcançada foi de 6,2°C. Enquanto isto, **internamente**, os sensores apontaram uma temperatura mínima de 10,5°C, no mesmo dia, na sala de aula A, do bloco 01, às 8h. Na sala de aula E, do bloco 03, no mesmo dia, o sensor alcançou 9,7°C, às 8h, e, na sala de aula B, 10,1°C, às 10h. Através destes dados, pode-se constatar que, considerando a temperatura externa mínima registrada às 7h, internamente as salas dispostas a oeste, salas A e E, registraram sua temperatura mínima uma hora mais tarde, indicando um atraso térmico de uma hora e um amortecimento de, aproximadamente, 4,3°C. A sala de aula orientada para leste, sala B, teve um atraso térmico de três horas, enquanto seu amortecimento térmico atingiu 4,6°C.

Tabela 9: temperaturas mínimas registradas nos sensores externos e internos

			Sensores Externos		Sensores Internos		
					Bloco 01	Bloco 03	
	data	horário	Bloco 01	Bloco 03	Sala A	Sala B	Sala E
temperaturas mínimas	04/08/08	7h	6,2°C	5,5°C	10,7°C	10,8°C	9,7°C
		8h	6,5°C	5,8°C	10,5°C	10,5°C	9,7°C
		9h	8,6°C	9,6°C	10,7°C	10,2°C	10,2°C
		10h	11,2°C	13,0°C	11,3°C	10,1°C	11,1°C

Durante o monitoramento térmico, ocorreram dois períodos de calor, onde a temperatura máxima externa alcançou 35,3°C e 33,6°C (Tabela 10). O primeiro período de calor, no dia 02 de setembro de 2008, às 15h, foi registrado, no sensor externo do **bloco 03**, uma temperatura de 33,6°C. Internamente, a temperatura não atingiu seu valor máximo no mesmo dia. Na sala de aula B, neste dia, o sensor registrou 28,2°C, às 18h, enquanto na sala de aula E, a temperatura não ultrapassou os 23,5°C, às 16h. Comparando o comportamento das duas salas de aula, do bloco 03, percebe-se que, neste dia, os dois sensores registraram dados diferentes. Na sala de aula B, a temperatura interna, às 15h, indicou 24,7°C, subindo até 28,2°C, às 18h, quando começou a baixar novamente. Na sala de aula E, a temperatura interna atingiu a marca de 23,2°C, às 15h, alcançando 23,5°C, às 16h, e, a partir deste horário apresentou uma queda. Apenas para ilustrar, neste dia, o **bloco**

01 apresentou temperatura externa de 31,9°C, às 15h, enquanto, internamente, no mesmo horário, atingiu 27,7°C, na sala de aula A.

Tabela 10: temperaturas máximas registradas nos sensores externos e internos

	data	horário	Sensores Externos		Sensores Internos		
			Bloco 01	Bloco 03	Bloco 01 Sala A	Bloco 03 Sala B Sala E	
temperaturas máximas	02/09/08	13h	29,7°C	31,8°C	24,6°C	21,2°C	22,2°C
		14h	30,4°C	32,4°C	26,6°C	23,1°C	22,6°C
		15h	31,9°C	33,6°C	27,7°C	24,7°C	23,2°C
		16h	31,5°C	32,3°C	26,9°C	26,1°C	23,5°C
		17h	29,1°C	30,6°C	26,4°C	27,4°C	23,4°C
		18h	26,5°C	27,9°C	24,2°C	28,2°C	23,0°C
	08/12/08	13h	35,1°C	33,3°C	29,0°C	28,6°C	28,0°C
		14h	34,6°C	31,7°C	28,9°C	28,6°C	28,2°C
		15h	35,0°C	31,9°C	28,9°C	28,6°C	25,4°C
		16h	35,3°C	31,4°C	29,0°C	28,9°C	28,5°C
17h		35,0°C	31,2°C	28,9°C	28,7°C	28,5°C	

O segundo período de calor ocorreu no dia 08 de dezembro de 2008. O sensor externo, localizado no **bloco 01**, apontou uma temperatura máxima de 35,3°C, às 16h. Internamente, o sensor instalado neste bloco, na sala de aula A, registrou temperatura de 29°C, com variações de um décimo, no mesmo dia, entre 13h e 17h. A temperatura máxima interna, neste bloco, na sala A, foi alcançada no dia seguinte, 09 de dezembro de 2008, às 15h, 29,9°C. No **bloco 03**, o sensor externo alcançou 33,3°C, no mesmo dia 08 de dezembro, às 14h, enquanto os sensores internos apontaram uma temperatura máxima, neste mesmo dia, às 16h, registrando, respectivamente, 28,9°C e 28,5°C, nas salas B e E. Considerando a máxima externa do bloco 03, às 13h, e as máximas internas, às 16h, o amortecimento obtido foi de aproximadamente 4,4°C, com um atraso de três horas. No **bloco 01**, no mesmo dia, o amortecimento térmico foi de 4,2°C, com um atraso não bem definido.

Na Tabela 11, pode-se verificar, para os diferentes meses, as temperaturas médias externas e as temperaturas médias internas. Externamente, no mês de maio, a temperatura média ficou próxima a 19°C; nos meses de junho a setembro a mesma ficou entre 16° e 17,5°C; em outubro, próximo aos 21°C; e nos meses de novembro e dezembro, apresentou-se maior, com valores de 24°C a 24,5°C.

Verificou-se, assim, em relação à temperatura do ar, que o amortecimento oferecido pelo envelope da edificação foi capaz de proporcionar, internamente, condições térmicas mais amenas. Sabe-se que as temperaturas analisadas são extremas, e ocorrem poucas vezes ao ano, assim desconsiderou-se o fato de que as temperaturas internas ficaram fora da zona de conforto. O resultado desta análise mostrou a capacidade de o envelope da edificação abrandar as temperaturas.

Tabela 11: temperaturas máximas, médias e mínimas nos sensores externos e internos

		Bloco 01		Bloco 03		
		ext	int (sala A)	ext	int (sala E)	int (sala B)
		318	321	317	335	336
		Temp (°C)	Temp (°C)	Temp (°C)	Temp (°C)	Temp (°C)
Maio	MAX	28,6	27,4	32,5	28,4	28,2
	MED	18,7	20,1	19,6	20,1	20,2
	MIN	7,1	11,0	7,2	11,5	11,9
Junho	MAX	19,7	20,9	20,3	20,0	19,0
	MED	15,9	16,4	16,0	16,0	16,2
	MIN	12,8	13,8	12,9	13,6	13,9
Julho	MAX	26,4	23,9	30,7	24,3	23,8
	MED	16,5	17,2	17,3	17,1	17,3
	MIN	9,4	12,5	9,1	12,1	12,3
Agosto	MAX	27,2	24,6	31,0	24,1	24,3
	MED	16,1	16,7	16,8	16,3	16,6
	MIN	6,2	10,5	5,5	9,7	10,1
Setembro	MAX	31,9	27,7	33,6	24,3	28,2
	MED	17,2	17,4	17,4	17,0	16,4
	MIN	9,7	11,4	9,5	11,2	10,9
Outubro	MAX	34,0	28,9	32,4	29,0	28,6
	MED	20,9	20,9	20,5	20,8	20,1
	MIN	13,0	15,6	13,0	15,3	13,9
Novembro	MAX	34,3	28,9	32,1	29,3	28,5
	MED	23,9	23,8	23,0	23,5	23,4
	MIN	14,9	18,8	13,7	18,3	18,1
Dezembro	MAX	35,3	29,9	33,3	29,5	29,6
	MED	23,8	24,2	23,1	24,0	23,8
	MIN	15,6	19,4	15,4	19,1	19,0

5.1.6 Umidade relativa

A umidade relativa do ar, conforme mostram os gráficos apresentados na Figura 18, apresentou-se de forma diferente, externa e internamente, no período de avaliação.

Os gráficos de frequência da umidade relativa do ar mostram comportamentos bem similares quanto aos valores de umidade no período de monitoramento. Conforme apontam os sensores 317 e 318, instalados externamente, a maior frequência se situa entre valores de 80% a 90%, caracterizando a alta umidade existente e característica do local. O sensor 318, localizado no **bloco 01**, apresentou maior frequência nos valores acima de 80%, comprovando maior umidade existente neste bloco da edificação. Internamente, os sensores registraram valores de 70% a 90%. Também se observou uma pequena tendência, no sensor 321, localizado no bloco 01, a apresentar maior número de horas com umidade acima de 80%.

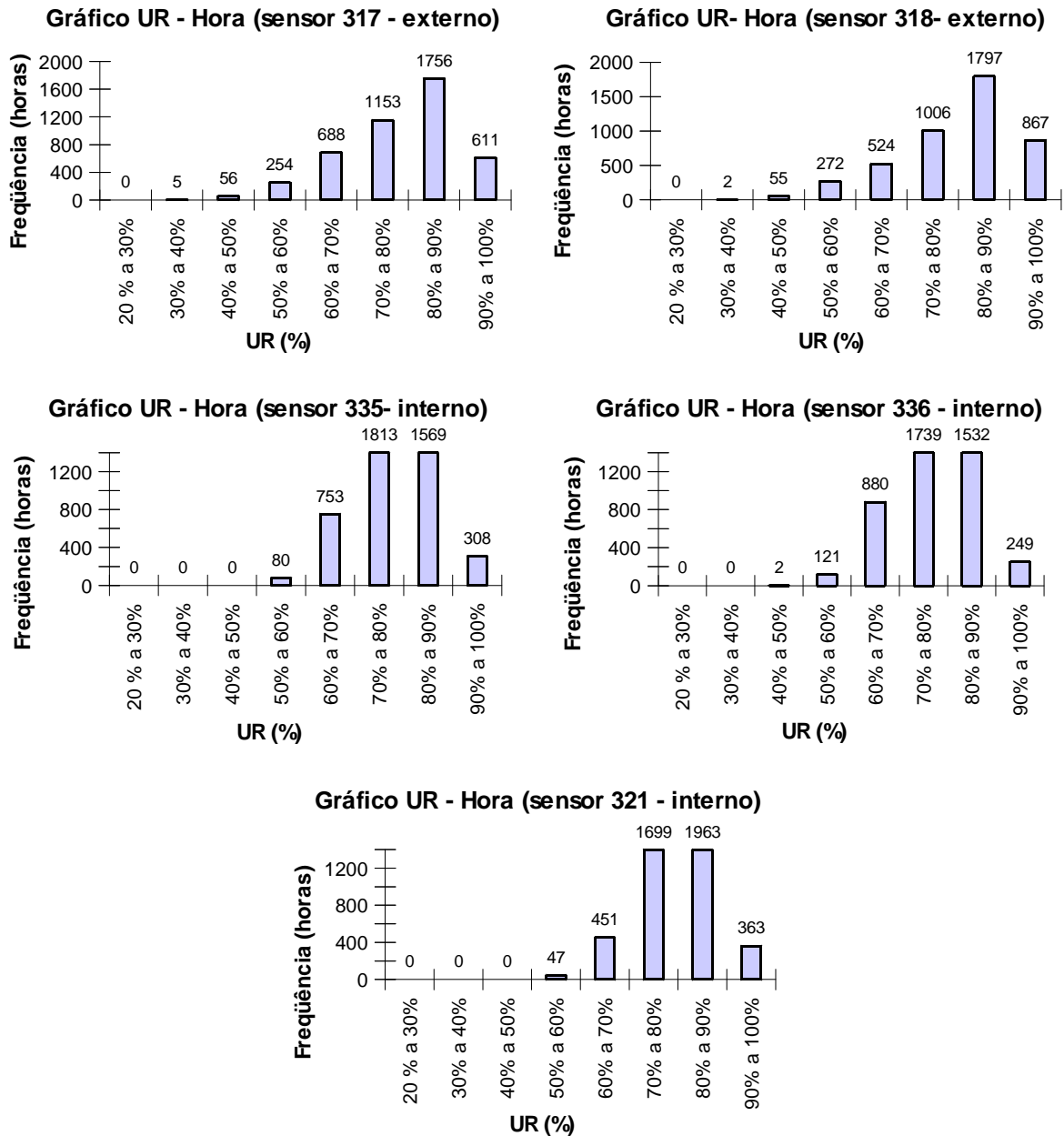


Figura 18: distribuição de UR (em horas), sensores externos (317 e 318) e internos (321, 335 e 336)

Assim, buscando uma classificação em zonas de conforto e desconforto, os diferentes registros de umidades relativas foram analisados, de forma a gerar o gráfico apresentado na Figura 19. A faixa de umidade relativa, considerada neste estudo, representando condições de conforto, foi adotada segundo critérios apresentados por Givoni (1992) e Lamberts, Dutra e Pereira (1997), onde a umidade relativa do ar deve estar entre 40% e 80%, para oferecer condições de conforto às pessoas.

Neste gráfico, podemos visualizar o percentual de horas, no qual a umidade relativa apresentou-se dentro da zona de conforto, bem como o percentual de horas em que a umidade apresentava valores excessivamente elevados no local, tanto interna, quanto

externamente. Assim, considerando que a faixa de conforto está compreendida entre 40% e 80%, externamente, houve, em média, uma ocorrência de 48% dos valores dentro do limite de conforto, internamente, este limite passou a 49%. Constatou-se no interior, apesar de estar ainda dentro da zona de conforto, um aumento da umidade relativa na faixa acima de 60%, representando um aumento da umidade relativa. A alta umidade, na faixa acima de 80%, determinando desconforto aos usuários, não sofre grandes alterações na comparação entre registros externos e internos, uma vez que, internamente, apresentou-se em 51% dos dados e, externamente, em 52%.

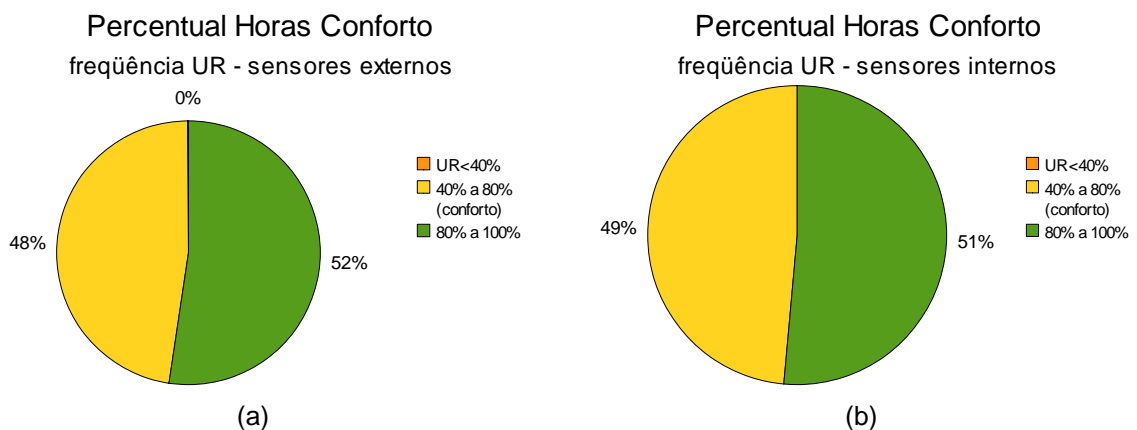


Figura 19: percentuais de conforto, em termos de UR, para (a) sensores externos e (b) sensores internos

Assim, conclui-se que a alta umidade relativa do ar, encontrada no local, identificada através dos registros dos sensores externos, não foi abrandada pelo envelope da edificação. Há que se considerar que existem fatores influentes no aumento da umidade interna, como a intervenção dos usuários, e sua própria geração de umidade, através da respiração e transpiração. Desta forma, considerando os resultados apresentados pelos ambientes internos, a resposta da edificação, em relação à umidade, foi satisfatória, considerando a alta umidade relativa encontrada externamente.

5.1.7 Gráficos graus-hora

O gráfico de Graus-Hora foi gerado para diferentes situações, entre elas: sensores externos, sensores internos e ocupação da escola, conforme será exposto a seguir. A análise do gráfico de graus-hora, refere-se ao número de horas e graus acima ou abaixo de uma temperatura tomada como **base**. Outras análises percentuais, a partir do gráfico graus-hora, também foram feitas, a fim de verificar prováveis zonas de conforto, conforme é apresentado a seguir.

5.1.7.1 Temperaturas externas

Através dos gráficos apresentados na Figura 20, pode-se perceber que, externamente, as temperaturas variaram de 5°C a 36°C, estando, entretanto, nos dois gráficos, as temperaturas compreendidas com maior freqüência, entre 14° e 23°C.

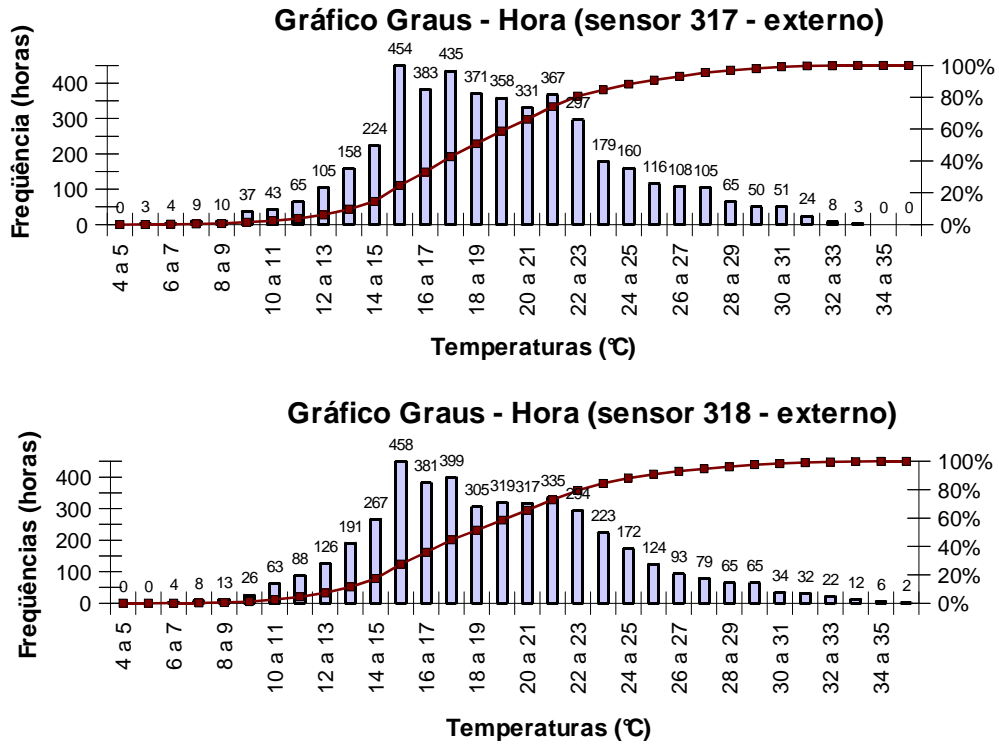


Figura 20: graus-hora, tendo por referência os sensores externos

Considerando as temperaturas, em seus valores absolutos, foi analisado o número de horas ultrapassando as temperaturas de conforto. Com estes valores foram gerados os gráficos apresentados na Figura 21.

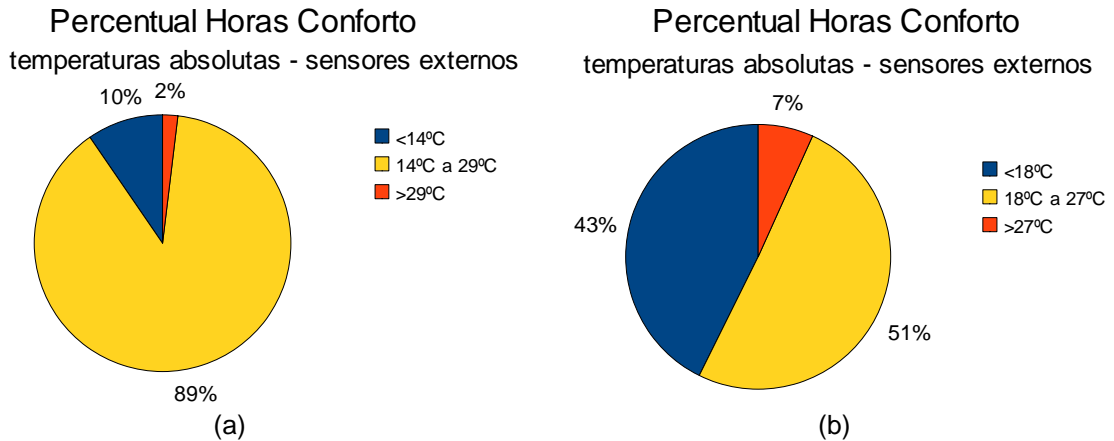


Figura 21: percentuais zonas de conforto sensores externos – (a) conforto entre 14°C e 29°C (b) conforto entre 18°C e 27°C

Tendo por referência o gráfico (a) da Figura 21, verifica-se que, em cerca de 89% das horas, a temperatura externa se localizou dentro da zona de conforto (admitida entre 14° e 29°C), estando 10% dentro da zona de desconforto por frio, e somente cerca de 2%, na zona de desconforto por calor. Considerou-se, neste caso, esta faixa de temperaturas como zona de conforto, devido a fatores externos como a contribuição da vestimenta, a geração de calor e a movimentação do ar. Se, no entanto, diminuimos a zona de conforto para uma faixa

compreendida entre as temperaturas de 18° a 27°C, conforme gráfico (b) da Figura 21, o percentual de conforto cai para 51%, com cerca de 43% representando desconforto por frio, enquanto somente 7% das horas representam o desconforto por calor. Ressalta-se, ainda, que estes dados de temperatura são dados externos, e não estão, portanto, considerando a resposta do envelope da edificação ao clima.

Ainda em relação às temperaturas externas obtidas, foi gerada a Tabela 12, através da diferença entre as temperaturas externas, em base horária (dados de medição) e a temperatura considerada como base.

Tabela 12: graus-hora e grau-médio para os valores de temperatura registrados pelos sensores externos 317 e 318

Temp.B	317 (bloco 03)			318 (bloco 01)		
	Graus-Horas	Nº Horas	Grau-Médio	Graus-Horas	Nº Horas	Grau-Médio
14°C	836,2	416	2,0	949,4	502	1,9
15°C	1.365,2	635	2,1	1.589,4	760	2,1
16°C	2.238,8	1066	2,1	2.594,9	1201	2,2
17°C	3.516,8	1456	2,4	4.022,4	1595	2,5
18°C	5.206,5	1885	2,8	5.828,3	1985	2,9
27°C	628,7	306	2,1	832,40	317	2,6
28°C	373,8	201	1,9	551,60	238	2,3
29°C	204,7	136	1,5	346,10	173	2,0

As **temperaturas base** utilizadas foram as apontadas no estudo de Goulart, Lamberts e Firmino (1997), e pode-se observar, novamente, uma tendência maior ao desconforto por frio. Observou-se que o número de horas apresentando temperatura abaixo de 18°C, no sensor 318, representou um total de 1.985 horas e no sensor 317, de 1.885 horas, enquanto que o somatório dos graus-hora tendo por temperatura base o valor de 18°C totalizou cerca de 5.828, no sensor 318, e 5.206, no sensor 317. Avaliando o desconforto por calor, os mesmos sensores apresentaram apenas 317 e 306 horas com valores acima de 27°C, nos sensores 318 e 317, respectivamente, totalizando 832 e 629 graus hora, tendo por referência este valor base. Verifica-se, desta forma, conforme afirmado anteriormente, que as temperaturas externas medidas apresentaram maior tendência a desconforto por frio. Entretanto, é importante lembrar que os dados coletados não compreenderam o período de verão, de dezembro a março. Contudo, a edificação escolar não é utilizada durante este período, e este estudo busca caracterizar o conforto do usuário na edificação, levando em consideração o seu uso.

O grau médio, que representa, em graus, o quanto, em média, a temperatura se afastou da temperatura base, apresentou valores quase sempre maiores para a condição frio, nos dois sensores externos, variando de 1,9°C a 2,9°C. Para a condição de calor tais valores ficaram entre 1,5°C e 2,6°C.

5.1.7.2 Temperaturas internas

Os graus-hora para os dados internos foram também calculados, da mesma forma. Entretanto, para possibilitar um melhor entendimento do comportamento do envelope da edificação, na sua função de isolar e abrandar o efeito das condições externas sobre o ambiente interno, a análise foi realizada comparando os valores obtidos com aqueles da análise dos dados externos. Assim, analisando os dados de temperatura registrados pelos sensores internos, pode-se constatar uma menor amplitude na variação destes, conforme se pode observar nos gráficos apresentados na Figura 22.

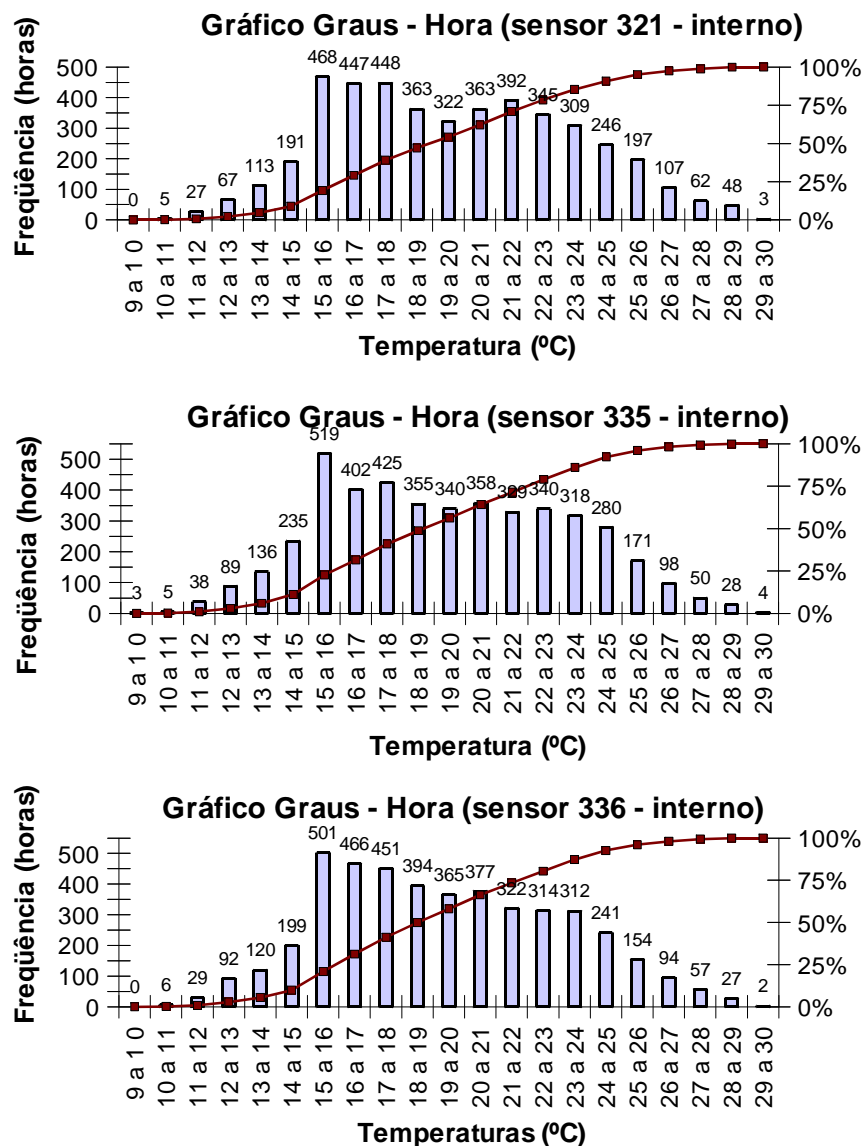


Figura 22: graus-hora associados aos sensores internos

A partir destes gráficos, identificou-se que as temperaturas internas ficaram compreendidas entre 9°C e 30°C. Comparando a amplitude das temperaturas externas e internas, encontrou-se uma diferença de 4°C, entre as mínimas, de 5°C e 9°C, na condição de frio, e uma diferença de 6°C, entre as máximas, de 36°C e 30°C, na condição de calor. Tais valores

mostram um resultado favorável ao usuário nas duas condições, calor e frio, mas levemente mais atenuante na condição calor. Ainda, através da análise da distribuição de temperaturas na base horária, relativamente aos dados internos, pode-se observar que, em sua maioria, apresentaram-se entre 15°C e 24°C.

Após a análise das frequências, gerou-se, para as temperaturas internas, o mesmo tipo de gráfico percentual apresentado anteriormente para as temperaturas externas, conforme mostra a Figura 23.

No gráfico (a) da Figura 23, verifica-se um aumento na zona de conforto, em relação ao resultado obtido para as temperaturas externas, considerando como zona de conforto as temperaturas entre 14° a 29°C. A zona de conforto, nesta situação, compreendeu 95% das horas analisadas, enquanto que os restantes 5% se apresentaram na condição desconforto por frio, sendo desconsiderável a ocorrência de temperaturas na zona de desconforto por calor.

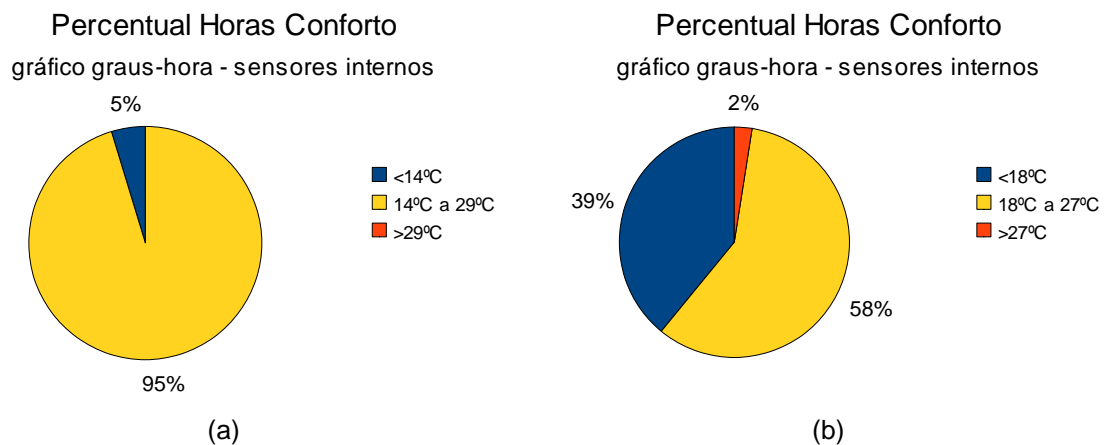


Figura 23: percentuais de horas de conforto para sensores internos – (a) zona de conforto entre 14°C e 29°C
(b) zona de conforto entre 18°C e 27°C

No gráfico (b) da Figura 23, a zona de conforto para as temperaturas internas, também sofreu aumento, em relação às temperaturas externas, considerando-se uma zona de conforto compreendida entre 18°C e 27°C. Apresenta, neste caso, 58% das horas de monitoramento nesta condição. O desconforto por frio diminuiu para 39% das horas, enquanto o desconforto por calor passou para 2%, mostrando, desta forma a eficiência do envelope da edificação no abrandamento das temperaturas externas. Pretende-se buscar ainda, através de outras formas de avaliação e análise, evidências a respeito da eficiência do envelope da edificação em estudo.

Ainda com os dados internos obtidos, buscou-se, como forma de avaliação da quantidade de energia necessária para refrigeração ou aquecimento do ambiente, a análise graus-hora e grau-médio, conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13: graus-hora e grau-médio dos sensores externos e internos no bloco 01

Temp. B	bloco 01 318 (ext)			321 (int)		
	Graus-Horas	Nº Horas	Grau-Médio	Graus-Hora	Nº Horas	Grau-Médio
14°C	949,4	502	1,9	218,7	196	1,1
15°C	1.589,4	760	2,1	515,9	382	1,4
16°C	2.594,9	1201	2,2	1123,1	819	1,4
17°C	4.022,4	1595	2,5	2217,5	1284	1,7
18°C	5.828,3	1985	2,9	3737,1	1730	2,2
27°C	832,40	317	2,6	112,3	113	1,0
28°C	551,60	238	2,3	27,8	51	0,5
29°C	346,10	173	2,0	1,6	3	0,5

Primeiramente, foram analisados e comparados os valores encontrados nos diferentes blocos. O **bloco 01**, externamente, apresentou 1.985 horas com temperatura abaixo de 18°C; internamente, obteve-se uma redução destas horas para 1.730. O somatório dos graus-hora obtidos abaixo de 18°C, externamente, resultou em 5.828, e, internamente, ficou em 3.737. Ainda no **bloco 01**, o número de horas em que a temperatura externa se apresentou acima de 27°C, foi de 317 horas, com 832,4 graus-hora acima desta temperatura. Internamente, neste bloco, a sala de aula apresentou 113 horas com temperatura acima de 27°C, totalizando 112 graus-hora acima deste valor.

Tabela 14: graus-hora e grau-médio dos sensores externos e internos no bloco 03

Temp. B	bloco 03 317 (ext)			335 (int)			336 (int)		
	Graus-Horas	Nº Horas	Grau-Médio	Graus-Hora	Nº Horas	Grau-Médio	Graus-Hora	Nº Horas	Grau-Médio
14°C	836,2	416	2,0	299,3	257	1,2	272,3	232	1,2
15°C	1.365,2	635	2,1	670,6	483	1,4	607,1	382	1,6
16°C	2.238,8	1066	2,1	1416,0	973	1,5	1264,1	878	1,4
17°C	3.516,8	1456	2,4	2633,7	1392	1,9	2435,0	1377	1,8
18°C	5.206,5	1885	2,8	4255,7	1811	2,3	4042,5	1811	2,2
27°C	628,7	306	2,1	76,4	82	0,9	74,4	86	0,9
28°C	373,8	201	1,9	15,9	32	0,5	13,7	29	0,5
29°C	204,7	136	1,5	1,6	4	0,4	1,1	2	0,6

No **bloco 03**, externamente, o número de horas em que a temperatura se apresentou abaixo dos 18°C foi de 1.885, enquanto que, internamente, este número de horas ficou acima do encontrado na sala de aula do outro bloco, com 1.811 horas. Internamente, considerando as temperaturas abaixo dos 18°C, obteve-se cerca de 4.250 graus-hora, valor menor do que encontrado externamente, 5.206, para este mesmo bloco. Em relação ao calor, no **bloco 03**, o sensor externo registrou 306 horas acima de 27°C, enquanto que as salas de aula apresentaram apenas 86 horas acima deste valor. Somando os graus que ultrapassaram o valor de 27°C, temos, internamente, 76 graus-hora, enquanto que, externamente este valor apresentou 629 graus. Mostra, pois, o melhor desempenho da edificação para abrandamento das temperaturas externas, na condição de calor.

Comparando com os dados externos, pode-se identificar um decréscimo considerável no número de horas de desconforto, assim como no grau-médio, na condição de calor, internamente, abaixo de 1°C. Na condição de frio, o grau médio ficou entre 1,1°C e 2,3°C.

Considerando os dados coletados, observa-se a extensão em que a edificação foi capaz de abrandar as temperaturas externas.

5.1.7.3 Temperaturas internas, durante o período de ocupação

A seguir, consideram-se os dados referentes ao período de ocupação e se realiza uma nova análise de graus-hora, a fim de observar o comportamento do envelope somente em períodos que a edificação sofreu intervenção do usuário. Pretende-se, também, verificar, para o horário de ocupação da escola, quanto menor é o número de horas de desconforto por frio, visto que a mesma não é ocupada em períodos noturnos, quando a queda de temperatura externa é mais evidente.

Desta forma, com base nas mesmas temperaturas consideradas como limite de conforto para calor e frio, citadas anteriormente, pode-se gerar o gráfico com valores percentuais, utilizando os dados de temperatura compreendidos no horário de funcionamento da escola, apresentados na Figura 24. Através destes gráficos identificou-se um pequeno decréscimo na zona de desconforto por frio, ocorrendo, no entanto, um aumento no percentual de horas apresentando desconforto por calor.

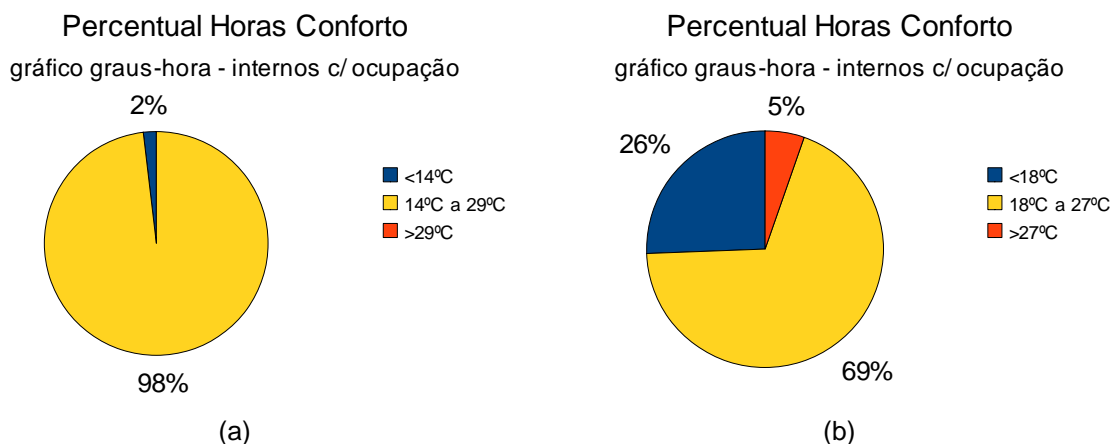


Figura 24: percentuais zonas de conforto para sensores internos considerando dados do período de ocupação da escola (a) zona de conforto entre 14°C e 29°C (b) zona de conforto entre 18°C e 27°C

Considerando a zona de conforto entre 14°C e 29°C, gráfico (a) da Figura 24, o percentual das horas de conforto ficou em 98%, com desconforto por frio de 2%. Considerando a zona de conforto compreendida entre 18°C e 27°C, e comparando com o gráfico obtido anteriormente, que compreende todos os dados de temperatura interna, obteve-se um aumento da zona de conforto de 58% para 69%, enquanto o desconforto por frio diminuiu de 39% para 26%. Entretanto houve um aumento na faixa de desconforto por calor, de 2% para 5%, conforme mostra o gráfico (b), da Figura 24.

Através da Tabela 15, pode-se entender que o decréscimo que foi constatado no percentual de horas de desconforto por frio, considerando apenas os períodos de ocupação da edificação, ocorreu apenas quando os dados de temperatura foram analisados como valores absolutos. Este fato foi entendido através do grau-médio encontrado, que apresentou

valores bem próximos aos anteriores, para os dados internos. Na condição de frio houve um decréscimo de um a três décimos de grau, valor considerado pouco significativo para ilações relativas à condição de conforto. Na condição calor, houve aumento do grau-médio de um décimo, também não significativo para estabelecer relação, neste caso, de maior desconforto.

Tabela 15: graus-hora e grau-médio relativos às condições no interior das salas, considerando apenas o período de ocupação

Temp. B	321 (bloco 01)			335 (bloco 03)			336 (bloco 03)		
	Graus-Hora	Nº Horas	Grau-Médio	Graus-Hora	Nº Horas	Grau-Médio	Graus-Hora	Nº Horas	Grau-Médio
14°C	34,2	25	1,4	44,1	31	1,4	66,6	50	1,3
15°C	66,5	41	1,6	92,7	74	1,3	136,5	89	1,5
16°C	153,2	122	1,3	222,9	173	1,3	282,5	190	1,5
17°C	336,1	224	1,5	447,0	264	1,7	543,9	310	1,8
18°C	624,3	333	1,9	780,1	381	2,0	914,4	431	2,1
27°C	78,8	72	1,1	63,9	63	1,0	55,1	58	1,0
28°C	21,8	38	0,6	15,4	29	0,5	11,7	21	0,6
29°C	1,6	3	0,5	1,6	4	0,4	1,1	2	0,6

Comparando os graus-hora, com seu correspondente número de horas, verifica-se que as horas de desconforto por frio e calor caíram consideravelmente, sendo necessário analisar as horas em termos percentuais para entender o real significado da sua redução. Assim, considerando que anteriormente foi utilizado um total de 4.523 horas e que na análise presente o número de horas foi reduzido para 1.345, foram analisadas apenas 30% das horas anteriores. A partir da Tabela 15, permite verificar que, no interior das salas, as temperaturas que se apresentaram inferiores a 18°C, reduziram-se em 81%, relativamente à situação anterior. Para a condição de calor, o número de horas que apresentou temperaturas ultrapassando 27°C, foi reduzido em 36% das horas encontradas anteriormente, estando o valor de graus-hora acima deste valor, 27°C, também reduzido na mesma proporção.

Por fim, para finalizar a análise das temperaturas obtidas durante o monitoramento, no que concerne a graus-hora, construiu-se um gráfico de frequência de temperaturas internas, identificando o período total de coleta de dados e os períodos de ocupação. Assim a Figura 25, apresenta os diferentes sensores internos e seus correspondentes dados de temperatura, mostrando que a temperatura interna, no período de ocupação, concentrou-se com maior frequência, nos valores mais altos. Este fato se deve tanto à geração de calor causada pelos usuários da edificação, como pelos horários de ocupação da edificação, que compreendem períodos de ganho de calor resultantes da insolação. Apesar de estes não se apresentarem de forma tão evidente, mostram tendência de elevação percentual nas condições de maiores temperaturas, visto que nas temperaturas mais baixas houve um ligeiro predomínio dos dados coletados em períodos de não ocupação, particularmente os períodos noturnos, naturalmente mais frios.

Gráfico Graus - Hora (sensor 321- interno)

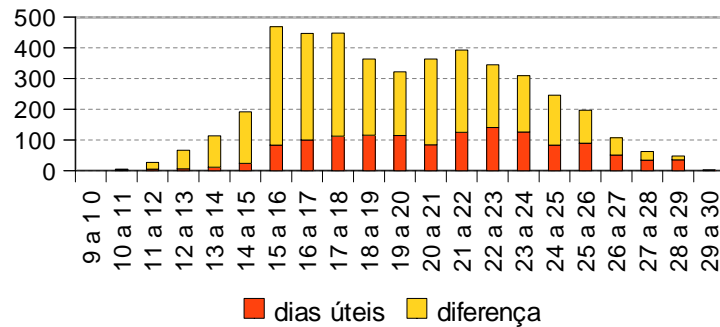


Gráfico Graus - Hora (sensor 335- interno)

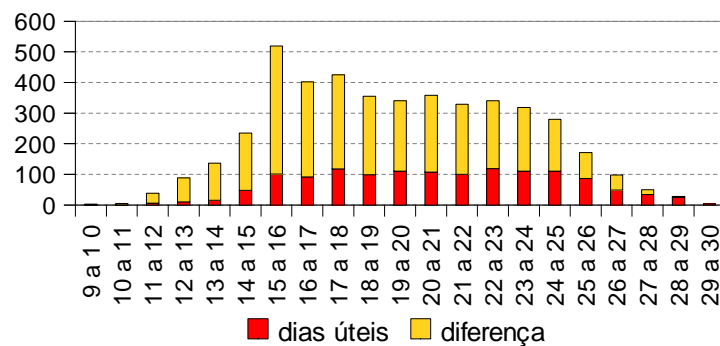


Gráfico Graus - Hora (sensor 336- interno)

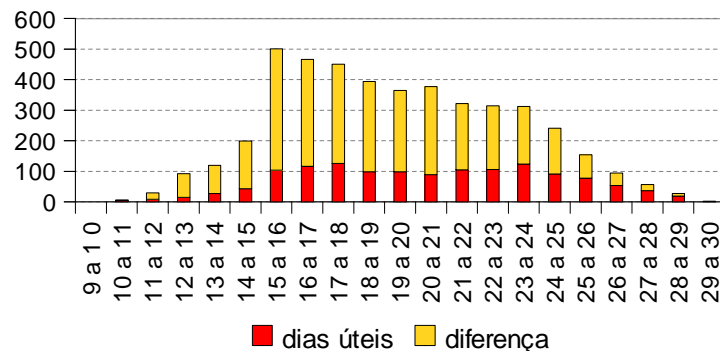


Figura 25: graus-hora associado aos sensores internos – dados associados a períodos com ocupação e dados globais

A análise realizada, com utilização dos gráficos graus-hora, permitiu concluir-se que o **bloco 01** apresentou, em condições de calor, tanto interna, quanto externamente, temperaturas mais altas. O **bloco 03**, apesar de, externamente, na condição de frio, não apresentar indicação de temperaturas mais baixas, internamente apresentou-se mais frio que o bloco 01. É importante destacar que esta análise não está levando em conta a umidade relativa do ar. O período de ocupação mostrou uma diminuição aparente das horas de desconforto por frio, mesmo que não muito significativa. Por outro lado, aumentou o percentual de horas de calor, entre 27°C e 29°C. Conclui-se que o envelope da edificação mostrou-se eficiente.

Apesar de apresentar um abrandamento levemente maior para o calor, os resultados comprovam que os valores de transmitância térmica encontrados no item 4.4 (Materiais e técnicas construtivas) são adequados às condições climáticas locais.

5.1.8 Carta bioclimática

A fim de identificar as condições de conforto, considerando os dados de temperatura e umidade relativa em uma mesma análise, utilizou-se o software Analysis Bio, desenvolvido pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, da Universidade Federal de Santa Catarina. Os dados horários coletados foram analisados através da carta psicrométrica, gerada pelo software, e de relatórios, também gerados pelo mesmo software.

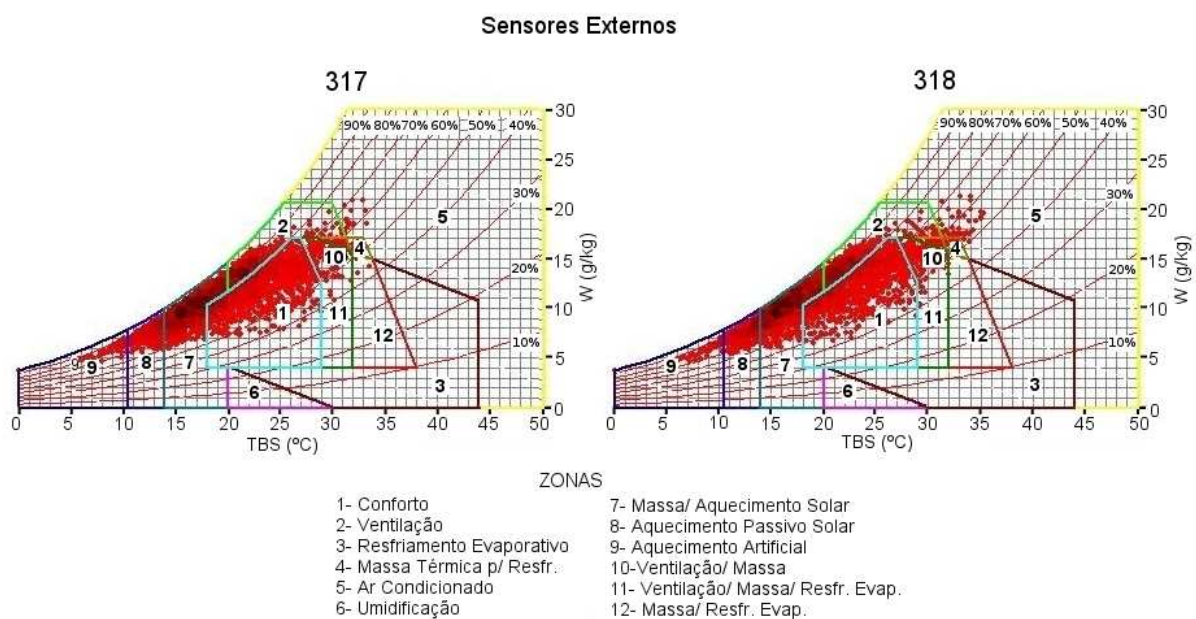


Figura 26: carta psicrométrica, com zonas de conforto, associada aos valores dos sensores dispostos no exterior

Nas cartas geradas com os dados dos sensores 317 e 318 (sensores externos), apresentadas na Figura 26, pode-se observar um alto percentual de horas de desconforto, (pontos fora da zona de conforto - zona 1). Associada a estes pontos, identificando desconforto, há uma zona significativa localizada abaixo da temperatura de 18°C (zonas 7, 8 e 9), apesar de grande parte estar representada acima dos 80% de umidade relativa do ar. Existem, também, alguns pontos distribuídos nas zonas 2 e 5, devido a temperaturas acima de 30°C.

Analisando o relatório gerado através da carta (Tabela 16), pôde-se constatar que cerca de 25% a 30% das horas monitoradas pelos sensores externos indicaram uma condição de conforto ao usuário. O desconforto maior foi proporcionado pelo frio, correspondendo a cerca de 50% dos dados coletados pelos sensores externos. Segundo o relatório, mais de 42% das horas monitoradas estão na zona 7 (desconforto por frio), sugerindo a adoção de estratégias de aquecimento solar e de aumento da massa térmica da edificação. Apenas

1,7% das horas estão na zona de aquecimento artificial, enquanto outros 9% sugerem estratégias de aquecimento solar passivo. Na questão desconforto por calor, o relatório mostrou que cerca de 20% das horas monitoradas estão dentro desta zona, podendo ser parcialmente solucionado com a adoção da estratégia de ventilação (cerca de 15%); o restante dos dados indicam possibilidade de adoção de várias estratégias, estando distribuídos, em baixos percentuais, nas diversas zonas da carta bioclimática. É importante, também, mencionar que as medições externas foram realizadas em espaço de transição, circulação coberta aberta da edificação, justificando percentuais, de 2,6% a 2,9%, encontrados na estratégia ventilação, massa térmica ou resfriamento evaporativo.

Um fato interessante observado foi que o maior percentual de desconforto, tanto por frio como por calor, está associado aos registros do sensor 318, o qual também apresentou as maiores amplitudes térmicas. Este sensor estava localizado externamente, no bloco 1, que apresentou características de maior umidade, principalmente no inverno, devido ao sombreamento pela vegetação existente no local, impedindo a incidência de radiação solar direta na maior parte do dia, durante o solstício de inverno. E, na condição de calor apresentou os dados de temperatura mais altos.

Tabela 16: relatório com leituras realizadas pelos sensores externos e ano climático de referência de Porto Alegre

		POA.TRY (1951-1970)	317	318				
Conforto		22,4%	29,2%	25,9%				
Desconforto	Calor	Ventilação	23,4%	15,3%	16,3%			
		Resfriamento Evaporativo	4,5%	0,0%	0,0%			
		Massa Térmica p/ Resfriamento	4,5%	0,2%	0,3%			
		Ar Condicionado	33,8%	1,4%	19,2%	0,4%	21,0%	1,1%
		Ventilação / Massa Térmica	0,0%	0,7%	0,4%			
		Ventilação / Massa / Resfr. Evap.	0,0%	2,6%	2,9%			
		Massa Térmica / Resfriamento Evap.	0,0%	0,1%	0,0%			
	Frio	Umidificação	0,0%	0,0%	0,0%			
		Massa Térmica / Aquecimento Solar	51,4%	33,7%	51,6%	42,4%	53,1%	42,0%
		Aquecimento Solar Passivo	11,7%	7,5%	9,4%			
	Aquecimento Artificial	6,0%	1,7%	1,7%				

A fim de verificar os percentuais de conforto encontrados pelos sensores externos, para esta região, e também para estabelecer um parâmetro de referência, buscou-se dados do ano climático de referência (TRY – Test Reference Year) de Porto Alegre. Segundo estudo realizado por Goulart, Lamberts e Firmino (1997), o TRY de Porto Alegre, para o período compreendido de 1951 a 1970, o percentual de conforto, na carta bioclimática, é de 22,4%, onde o desconforto se configurou como associado a 33,8% dos dados combinados de temperatura e umidade relativa, para a condição de calor, e 51,4%, para a condição de frio, conforme mostra Tabela 16, com respectivas zonas de conforto e desconforto. Conclui-se que os resultados dos sensores permitem identificar que, na condição de desconforto por frio, ambos os sensores identificam condições semelhantes nos seus resultados. Por outro

lado, no período quente, o local analisado apresentou um clima mais moderado. No entanto deve ser assinalado que as medições contemplaram apenas o período de maio a dezembro, estando excluído o período que compreende as condições climáticas do período de verão, e o fato de os sensores terem sido instalados externamente em zona de transição, circulação coberta aberta da edificação.

Nas cartas bioclimáticas geradas para os sensores internos (Figura 27), pode-se visualizar uma redução no número de pontos localizados na zona 9 (aquecimento artificial), bem como dos pontos localizados na zona 5 (ar condicionado), mostrando o desempenho do envelope da edificação no abrandamento das condições mais críticas. Contudo, ainda podem ser identificados um número considerável de pontos localizados em zonas fora da zona de conforto, (zonas 2, 7, 8 e 10), devido, principalmente, a temperaturas baixas, alta umidade e a algumas temperaturas altas.

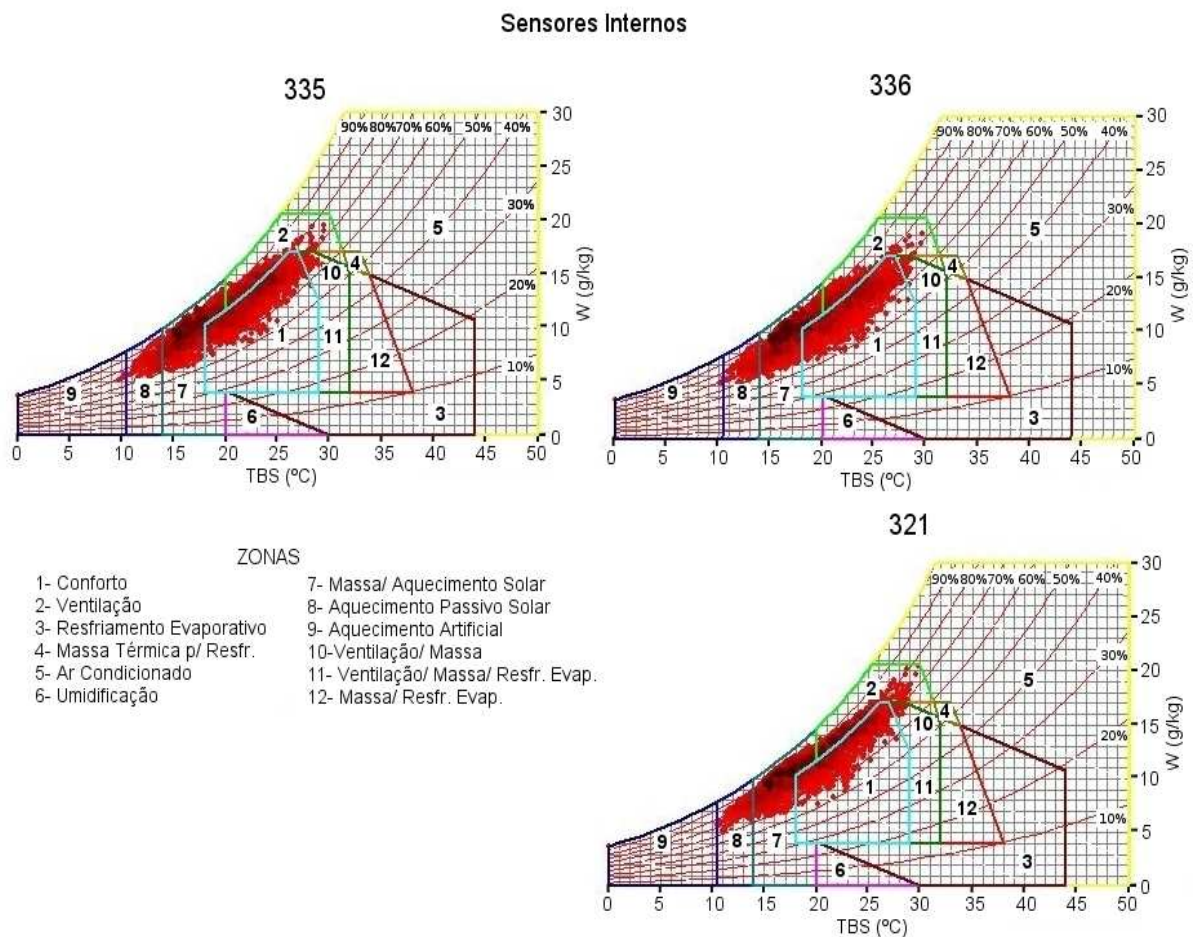


Figura 27: carta psicrométrica com indicação dos dados coletados pelos sensores localizados no interior das salas

Analisando o relatório gerado pela carta bioclimática, apresentado na Tabela 17, para os diferentes sensores internos, pode-se dizer que o percentual de conforto correspondente ao interior da edificação, se comparado com os valores encontrados no seu exterior, apresentou valores maiores. Os sensores internos 335 e 336 (bloco 03) identificaram um

número de dados na zona de conforto de aproximadamente 40%, percentual de conforto bem acima do encontrado para os sensores externos (25%), mostrando que o envelope da edificação está abrandando, como esperado, as condições climáticas externas, de forma eficaz. Nas condições das zonas de desconforto por calor e frio, os sensores internos mostraram uma redução nos percentuais associados a estas zonas, de forma homogênea, com exceção da zona 7 (massa térmica/aquecimento solar), que não apresentou redução significativa no seu percentual, com valores bem próximos, quando comparados os registros dos sensores internos e externos.

O sensor 321, disposto no interior do bloco 01, não identificou um desempenho tão eficiente, com o percentual de registros incidindo na zona 02 (ventilação) acima do esperado. A sala de aula analisada neste bloco permanece fechada no período da tarde, sem ser ocupada por usuários neste turno. Assim entende-se a maior necessidade de ventilação apontada pela carta bioclimática e seu relatório de zonas. Além disso, o bloco 01, já citado anteriormente, está associado a condições externas apontando os registros de maior desconforto e maiores amplitudes térmicas, além de indicar incidência de umidade excessiva no inverno. Contudo o sensor 321, responsável pelos registros internos deste bloco, não mostrou de forma tão evidente uma condição de desconforto por frio.

Tabela 17: relatório com condições de conforto, resultante dos resultados obtidos pelos sensores internos

			321 (bloco 01)		335 (bloco 03)		336 (bloco 03)	
Conforto			32,5%		39,4%		40,2%	
Desconforto	Calor	Ventilação	18,6%		12,1%		10,2%	
		Resfriamento Evaporativo	0,0%		0,0%		0,0%	
		Massa Térmica p/ Resfriamento	0,0%		0,0%		0,0%	
		Ar Condicionado	19,7%	0,0%	13,0%	0,0%	11,1%	0,0%
		Ventilação / Massa Térmica	0,0%		0,0%		0,0%	
		Ventilação / Massa / Resfr. Evap.	1,1%		0,9%		0,9%	
		Massa Térmica / Resfriamento Evap.	0,0%		0,0%		0,0%	
	Frio	Umidificação	0,0%		0,0%		0,0%	
		Massa Térmica / Aquecimento Solar	47,9%	43,5%	47,6%	41,9%	48,7%	43,5%
		Aquecimento Solar Passivo	4,3%		5,6%		5,1%	
Aquecimento Artificial		0,0%		0,1%		0,1%		

Assim, considerando as estratégias que a carta bioclimática sugere para as diferentes condições de desconforto encontradas na escola, pode-se concluir que, para as condições de desconforto por calor, as salas de aula devem ser providas de sistemas de ventilação natural eficazes, que atendam entre 10% a 18% das horas. Para as condições de desconforto por frio, a carta bioclimática sugere como estratégia o aumento da inércia térmica da edificação, ou o seu aquecimento solar passivo, em um total de, aproximadamente, 43% das horas. Por fim, considera-se que a resposta da edificação, particularmente no bloco 01, possua mais aspectos a serem melhorados, enquanto, no bloco 03, a condição apresentada mostrou um desempenho levemente superior, conforme

será discutido no final deste capítulo.

Conforme realizado anteriormente, na análise do gráfico graus-hora, na análise da carta bioclimática também foi feito um estudo em separado das horas de ocupação da escola, a fim de buscar um melhor entendimento da interferência da ocupação do usuário na resposta da edificação às condições climáticas locais.

As cartas bioclimáticas geradas pelo software Analysis Bio, incluindo apenas as horas de ocupação escola, estão apresentadas na Figura 28. Pode-se em uma primeira análise identificar uma ligeira diminuição nos pontos localizados na zona 7 (massa térmica/aquecimento solar).

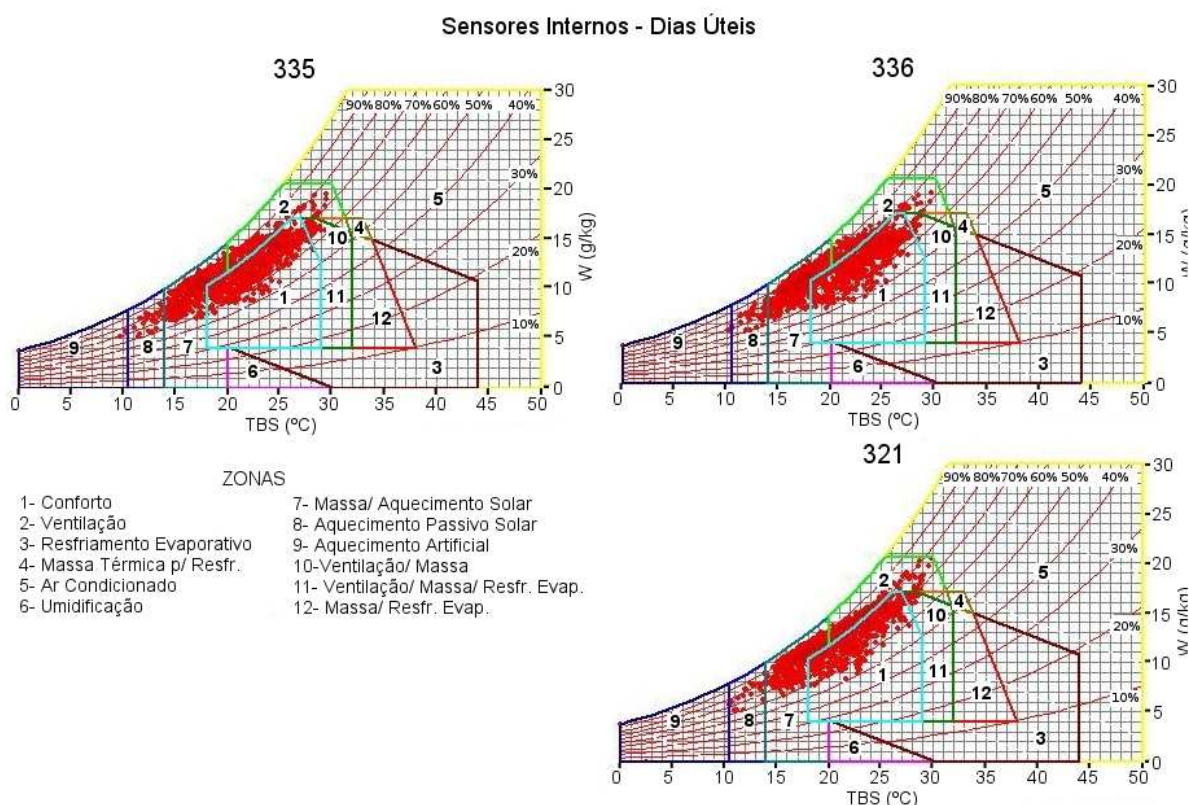


Figura 28: carta psicrométrica resultante dos dados dos sensores internos, considerando os horários de ocupação da escola

Os resultados desta análise estão apresentados na Tabela 18. A sala A, monitorada através do sensor 321, localizada no bloco 01, que anteriormente apresentara características de alta umidade e grandes amplitudes de temperatura, e para a qual foi sugerida a estratégia de ventilação, continuou requerendo ventilação, ainda mais em se considerando a umidade relativa acima de 80%, combinada com períodos de temperaturas altas. Por conta disto, gerou um índice de desconforto por calor (22%) acima daqueles indicados por outros sensores. Sua zona de desconforto por frio apresentou-se similar a os outros sensores, 35%. Assim, sua zona de conforto foi a que apresentou o menor percentual, 43%. O sensor 335, localizado na sala de aula E, no bloco 03, apresentou o melhor desempenho, tendo sua zona de conforto aumentada, em percentual, de 39% para 51%. A sua maior eficiência

ocorreu na condição de frio, com redução da necessidade de massa térmica e aquecimento solar, de 42% para 32%, enquanto a zona de desconforto por calor não foi alterada significativamente. O sensor 336, localizado na sala de aula B, no bloco 03, também apresentou melhora, através da redução percentual na zona de desconforto por frio. Seu desconforto por calor permaneceu quase inalterado e sua zona de conforto apresentou melhora razoável, aumentando de 40% para 47%.

Tabela 18: relatório com condições de conforto, resultante dos dados dos sensores internos, considerando os horários de ocupação da escola

			321		335		336	
Conforto			43,20%		51,00%		47,60%	
Desconforto	Calor	Ventilação		20,10%		12,00%	10,50%	
		Resfriamento Evaporativo		0,00%		0,00%	0,00%	
		Massa Térmica p/ Resfriamento		0,00%		0,00%	0,00%	
		Ar Condicionado	22,25%	0,00%	14,20%	0,00%	12,60%	0,00%
		Ventilação / Massa Térmica		0,00%		0,00%	0,00%	
		Ventilação / Massa / Resfr. Evap.		2,15%		2,20%	2,10%	
		Massa Térmica / Resfriamento Evap.		0,00%		0,00%	0,00%	
	Frio	Umidificação		0,00%		0,00%	0,00%	
		Massa Térmica / Aquecimento Solar	34,55%	32,61%	34,80%	32,47%	39,80%	36,20%
		Aquecimento Solar Passivo		1,87%		2,13%		3,58%
Aquecimento Artificial			0,07%		0,20%		0,02%	

Desta forma, confirmou-se o fato de a zona de desconforto por frio, no período de ocupação, ser menor, devido tanto à alta umidade relativa do ar, quanto às temperaturas baixas encontradas. A zona de desconforto por calor, no período analisado, não sofreu praticamente nenhuma alteração em seus valores. O fato de os usuários serem geradores de umidade e calor também pode ser considerado, visto que ambas as características foram mantidas no período analisado como de ocupação. Não se buscou diferenciar os sensores 335 e 336, devido ao fato de estes estarem localizados no mesmo bloco, e, de certa forma, apresentarem-se semelhantes em seus resultados. O mesmo não aconteceu com o sensor 321, que além de estar localizado em outro bloco, apresentou mesma tendência, mas valores consideravelmente diferentes.

Ainda, verificou-se que o bloco 01 registrou, externamente, maiores condições de desconforto, enquanto que, internamente, a sala de aula conseguiu amenizar o desconforto por frio, resultando em percentuais próximos aos encontrados nas salas do bloco 03. Entretanto, no que concerne ao conforto na condição de calor, a mesma não apresentou tão bom desempenho. Este fato deve, porém, ser interpretado como também resultante do fechamento e falta de ventilação da sala, no turno da tarde, período de maior calor, devido à desocupação da mesma. Entende-se, também, que o desempenho na condição de frio pode ter sido auxiliado pelo calor que permaneceu internamente, nos períodos da tarde, devido à sua desocupação.

5.1.9 Conclusões das medições térmicas

Após análise dos dados de monitoramento térmico, foi gerada uma matriz a fim de melhor visualizar o comportamento da edificação.

Tabela 19: matriz resultados térmicos

	Externo		Interno		
	Bloco 01	Bloco 03	Bloco 01	Bloco 03	
			Sala A	Sala B	Sala E
percentual de temp altas (>27°C)	2.4%	1.9%	0.0%	0.0%	0.0%
percentual de temp conforto (18° e 27°C)	86.1%	88.5%	95.3%	94.5%	94.0%
percentual de temp baixas (<18°C)	11.5%	9.6%	4.7%	5.5%	6.0%
maiores umidades (>80%)	58.9%	52.3%	51.4%	39.4%	41.5%
desconforto calor	21.0%	19.2%	19.7%	11.1%	13.0%
conforto	25.9%	29.2%	32.5%	40.2%	39.4%
desconforto frio	53.1%	51.6%	47.9%	48.7%	47.6%
maiores temperaturas	35,3°C	33,6°C	29,9°C	29,6°C	29,5°C
menores temperaturas	6,2°C	5,5°C	10,5°C	10,1°C	9,7°C

Conforme mostra a Tabela 19, buscou-se registrar a ocorrência de valores críticos, de acordo com a situação, bloco da edificação, e localização interna ou externa. Foram categorizados dados com maior percentual de horas com temperaturas acima de 27°C e abaixo de 18°C, bem como com maior percentual com temperaturas entre 18°C e 27°C. O percentual de umidade acima de 80% foi outro item considerado. Assim, também, as zonas de conforto e desconforto por frio e calor, conforme a carta bioclimática analisada e dados de temperatura máxima e mínima encontrados.

Verificou-se uma maior zona de conforto no bloco 03, verificada tanto externa, como internamente, este, especificamente, na sala de aula B. No entanto, um maior percentual de temperaturas de conforto foi verificado na sala de aula A, no bloco 01. A alta umidade encontrada, no entanto, prejudicou a condição de conforto, conforme análise da carta bioclimática.

As maiores temperaturas, bem como o maior percentual de temperaturas altas e de desconforto por calor foram encontrados no bloco 01, tanto interna, quanto externamente. Entretanto, as menores temperaturas e percentuais de temperaturas baixas, bem como de desconforto por frio, encontrados interna e externamente, não ocorreram no mesmo bloco. Enquanto, externamente, o bloco 01 apresentou maior desconforto por frio e maior percentual de temperaturas baixas, o bloco 03 apresentou a temperatura mínima. Internamente, o bloco 03 apresentou maior zona de desconforto por frio, na sala B, enquanto a sala de aula E apresentou maior percentual de temperaturas baixas e a menor temperatura registrada.

Portanto, conclui-se que o bloco 01 apresentou, tanto interna, quanto externamente, uma situação mais crítica na condição de calor, enquanto que, na condição de frio, a situação

mostrou-se menos favorável para o bloco 01 apenas no exterior. Internamente, o bloco 03 não foi o que mostrou o melhor desempenho. Entende-se que o sensor interno do bloco 01 foi aquele associado às maiores temperaturas, tanto na condição de frio, quanto na condição de calor, em parte pelo fato de não haver renovação do ar, no período da tarde. Evidencia-se, desta forma, que apesar do maior percentual de temperaturas baixas e maior zona de desconforto por frio encontrados externamente ao bloco 01, tal fato não se refletiu em seu interior.

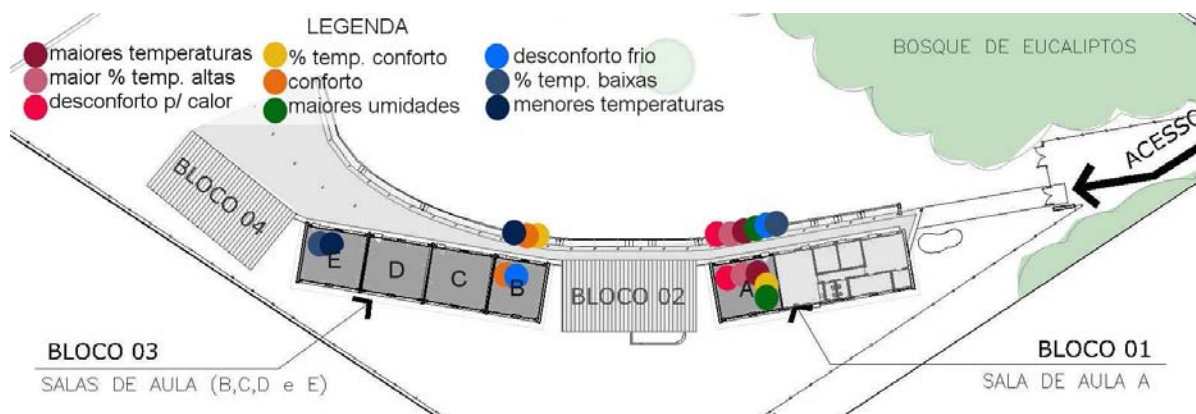


Figura 29: implantação da escola com resultados finais medição térmica

A sala de aula B, do bloco 03, foi a que apresentou melhores condições de conforto, tanto externa, quanto internamente no mesmo bloco. A sala de aula A, do bloco 01, por sua vez, apresentou maior percentual de temperaturas de conforto. No entanto, devido à alta umidade encontrada, impediu que fosse determinante de uma maior condição de conforto.

5.2 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES LUMÍNICAS

As medições lumínicas foram realizadas em datas próximas ao equinócio de primavera e aos solstícios de verão e inverno. Buscou-se determinar, a cada duas horas, valores de iluminância na sala de aula escolhida, buscando, também, dados como a ocorrência de ofuscamento e de incidência de luz direta sob o plano de trabalho, e, assim caracterizar o conforto lumínico oferecido pela mesma.

5.2.1 Equipamento de medição lumínica

As medições foram realizadas com equipamento luxímetro ISO-TECH ILM350 (Figura 30). O equipamento dispõe de visor LCD, no qual mostra as medidas em lux nas escalas de 0 a 200.000, segundo o fabricante.

As medições foram realizadas, conforme determinação da ABNT (2004), em pontos distribuídos de forma uniforme, formando uma malha, na altura do plano de trabalho.

Durante a medição, foram tomados cuidados para que aparelho permanecesse paralelo ao plano medido. Buscou-se evitar, também, que a presença de qualquer corpo ou superfície

alheio ao ambiente fosse causador de interferência na medição.



Figura 30: Luxímetro utilizado nas medições lumínicas

5.2.2 Definição da amostra de medição lumínica

A sala de aula escolhida para objeto de estudo das medições lumínicas, foi a sala de aula E, por ser considerada, dentro da edificação, prejudicada na sua iluminação interna, conforme será exposto a seguir. A sala de aula D também foi utilizada na medição realizada próximo ao solstício de verão, para fins de comparação com os dados obtidos na sala de aula E. Entretanto, como os resultados encontrados foram muito semelhantes, os resultados obtidos nesta sala não são apresentados no presente estudo.

A medição pré-teste, conforme mencionado anteriormente, foi realizada na sala de aula A, a princípio por tratar-se de uma sala destinada, a nível de projeto, para ocupação por uma biblioteca, e por estar sendo utilizada como sala de aula, provisoriamente. Os dados obtidos durante esta medição pré-teste não puderam ser comparados com os dados obtidos nas medições definitivas, uma vez que medições definitivas foram realizadas na sala de aula E; assim não estão apresentados no presente estudo.

Assim, conforme referido anteriormente, a medição lumínica definitiva foi realizada na sala de aula E, ocupada pelos alunos do 8º e 2º ano. A escolha ocorreu devido a sua localização oeste, no bloco 03; entretanto outros fatores também foram considerados. Conforme é apresentado no item 5.2.4 (Caracterização da amostra para medição lumínica), a relação entre área de esquadrias e piso, apresentou-se similar às de outras salas, assim como o percentual de área efetiva de iluminação em relação à área de fachada. Assim, um dos fatores de escolha da mesma, foi o fato desta sala apresentar internamente, e diferentemente das salas C e D, uma menor área de superfície refletora, mostrando-se similar, no entanto, às salas A e B, que possuem parede externa em pedra granítica, sem revestimentos interior. Porém, o fator determinante para a escolha foi a larga proteção, oferecida pela cobertura da circulação aberta, disposta na fachada norte, que varia de 6,5m a 14,0m ao longo da extensão da sala de aula.

5.2.3 Malha para medições lumínicas

Os pontos de medição foram distribuídos de forma uniforme, primeiramente em malha de 25 pontos, conforme realizado na medição pré-teste, do dia 10 de maio de 2008, na sala A. Após a primeira medição, que ocorreu no dia 13 de junho de 2008 às 8h, na sala de aula E, constatou-se a necessidade, devido à altura do peitoril das esquadrias dispostas na fachada norte, conforme ABNT (2004), de uma malha composta por maior número de pontos. Assim, após esta medição, foi determinada uma nova malha de distribuição, para esta sala de aula, e aumentou-se o número de pontos, para coleta dos níveis de iluminância natural, para 36, distribuídos em nova malha (Figura 31).

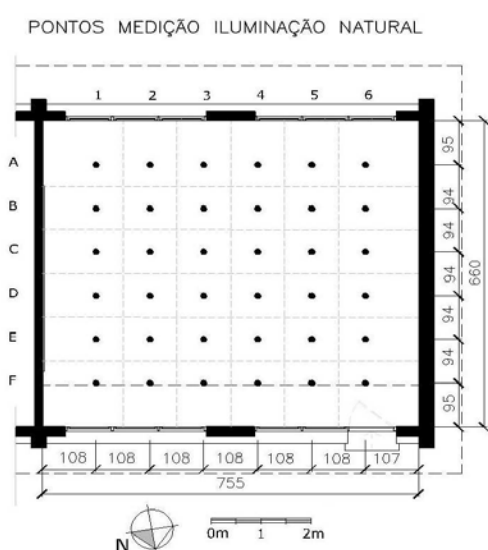


Figura 31: planta baixa com marcação da malha de 36 pontos de medição sala de aula E

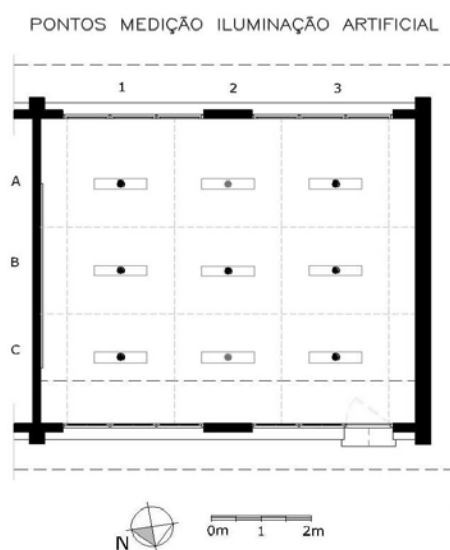


Figura 32: pontos de medição utilizados para verificação da contribuição da iluminação artificial na sala de aula E

A iluminação artificial foi verificada, na sala de aula E, de forma mais simplificada, por questões de disponibilidade de tempo e por entender que o estudo seria primordialmente focado na iluminação natural, com apenas uma verificação da contribuição da iluminação artificial. A malha utilizada para medição dos níveis de iluminância, com auxílio da iluminação artificial, conforme mostra a Figura 32, foi composta por nove pontos, dispostos imediatamente abaixo das luminárias. Na medição feita na sala de aula E, no solstício de inverno, utilizou-se apenas sete pontos, onde os pontos A2 e C2 não foram coletados, por não ter se achado, na ocasião, serem necessários. Entretanto a partir das demais medições verificou-se serem importantes e assim passaram a ser coletados.

Assim, a medição da iluminação artificial foi realizada considerando o sistema de nove luminárias, no mesmo horário do dia em que foi realizada a medição da iluminação natural. Assim, foi possível verificar o percentual de ganho, em níveis de iluminância, que tal sistema oferece ao ambiente. O sistema de acionamento de iluminação artificial de todas as salas de aula é composto por sistema de três comandos, para as nove luminárias. As luminárias são

compostas por duas lâmpadas fluorescentes de 32W, cada, acionadas por sistema de comando separado por fila. Cada fila possui três luminárias, paralelas no sentido da fachada norte e sul, que podem, assim, ser acionadas de forma independente, por fila. Durante a medição da iluminação artificial, todas as luminárias foram acionadas, com exceção das medições do equinócio de primavera e solstício de verão, pelo fato de uma lâmpada estar queimada, conforme será descrito no item 5.2 (Resultados das medições lumínicas).

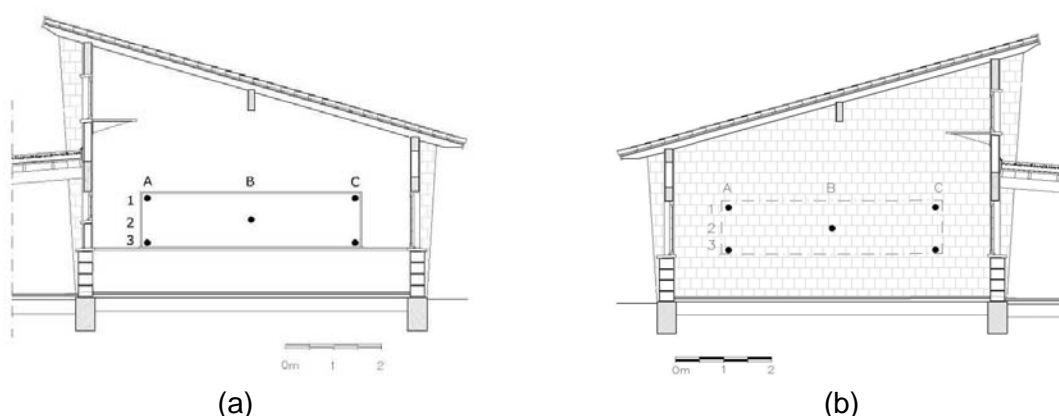


Figura 33: (a) pontos de medição do nível de iluminância no quadro negro da sala de aula E (b) e pontos de medição do nível de iluminância no local previsto em projeto para o quadro negro da sala de aula E

A iluminância natural disponível no plano do quadro negro também foi medida nos diferentes horários. A Figura 33a mostra os pontos de medição junto aos pontos extremos e central do quadro. Na sala de aula E verificou-se, também, o plano vertical da parede oposta onde estava prevista a colocação do quadro negro em projeto, Figura 33b, que, por questões operacionais e administrativas, na execução da edificação não pode ser seguido.

5.2.4 Caracterização da amostra para medição lumínica

Conforme descrito anteriormente, a sala de aula E possui uma parede externa, de orientação oeste, de pedra granítica, sem revestimento. Nas fachadas norte e sul a parede é de mesma natureza, entretanto é construída em granito até a altura de 95cm. As demais paredes são revestidas com argamassa e pintadas de branco, proporcionando maior reflexão da luz.

Assim como as demais, esta sala de aula também dispõe de prateleira de luz, junto à fachada norte em toda sua extensão e com profundidade de 92cm. As janelas junto a esta fachada têm peitoris mais altos, 1,5m e 3,95m. Na fachada sul, as janelas têm peitoril de 95cm.

A seguir, é apresentada a relação entre área de esquadrias e área de piso. Foram consideradas somente as salas de aula, uma vez que somente estas são analisadas nas medições técnicas. Conforme a Prefeitura de Viamão (1989), através do código de edificações, a relação da área de esquadrias sobre a área de piso deve obedecer, em ambientes de permanência prolongada diurna, a razão de 1/7. Todas as salas de aula da

escola atendem esta exigência, apresentando uma relação de 2/7 da área total de esquadrias, sobre a área de piso, que corresponde a aproximadamente 29%, conforme exposto na Erro: Origem da referência não encontrada. Considerando apenas a área efetiva de iluminação (sem obstruções), e sua relação entre com a área de piso, encontrou-se uma relação de 1/6, ainda acima do valor exigido pela legislação local, e correspondendo a 17%. Esta última relação foi considerada importante para o estudo, por apresentar a área que, de fato, ilumina o ambiente e sua relação com o mesmo, ainda que a legislação não cite a necessidade do cálculo da área efetiva de iluminação das esquadrias.

Tabela 20: área de piso e esquadrias das salas de aula e relação da área de piso para a área efetiva de iluminação

sala	área de piso	área de esquad.	área de efetiva de iluminação	exigência da legisl. de Viamão		b/a	b/a (%)	c/a	c/a (%)
	a	b	c		(%)				
A	49,83	14,84	8,80	1/7	14%	2/7	30%	1/6	18%
B	41,91	12,24	7,03	1/7	14%	2/7	29%	1/6	17%
C	50,49	14,75	8,44	1/7	14%	2/7	29%	1/6	17%
D	50,49	14,75	8,44	1/7	14%	2/7	29%	1/6	17%
E	49,83	14,75	8,44	1/7	14%	2/7	30%	1/6	17%

Assim, a área de janelas, em relação a área de piso, da sala de aula E, apresentou-se dentro do exigido pela legislação de Viamão, com fração de 1/6, considerando a área efetiva de iluminação. O forro e as vigas são pintados de branco e o piso da sala é cerâmico antiderrapante na cor bege. A massa de vegetação, existente próximo à edificação, não chega a sombrear totalmente este bloco da escola, em nenhum momento dos períodos de medições, com exceção do solstício de inverno, nos primeiros horários da manhã, conforme será descrito no item 5.2.5(Carta de trajetória solar).

Em relação à análise de percentual de área de esquadrias, em relação à área de fachada, ela se apresentou semelhante em todas as salas de aula, embora com maiores valores na fachada sul. Verifica-se, assim, conforme mostra a Tabela 21, que o percentual de área de iluminação (área efetiva de iluminação das janelas), em relação à área de fachada (PJF), nas salas de aula, na fachada sul variou de 15% a 16%, enquanto na fachada norte variou de 11% a 12%.

Tabela 21: PJF (%) percentual de área de janela por área de fachada

Fachada Sul				Fachada Norte			
sala	área de ilum. m ²	área de parede m ²	PJF (%)	sala	área de ilum. m ²	área de parede m ²	PJF (%)
A	3,89	24,92	16%	A	4,67	40,02	12%
B	3,24	20,96	15%	B	3,54	33,66	11%
C	3,89	25,25	15%	C	4,3	40,55	11%
D	3,89	25,25	15%	D	4,3	40,55	11%
E	3,89	24,92	16%	E	4,3	40,02	11%

A sala de aula E, apresentou, assim, para a área de esquadrias, em relação a área de paredes, por fachada, um percentual de 16%, na fachada sul e de 11%, na fachada norte.

5.2.5 Carta de trajetória solar

Para avaliar o risco de incidência de radiação solar direta nas salas de aula foi utilizada a carta de trajetórias solares, buscando verificar a sua ocorrência para as diferentes esquadrias e suas barreiras físicas. As cartas solares permitiram verificar, nas salas B, C, D e E (Figura 34), a incidência de radiação solar sobre as esquadrias das salas de aula analisadas, em um curto período da manhã e da tarde, próximo do nascer e pôr do sol, de setembro a abril.

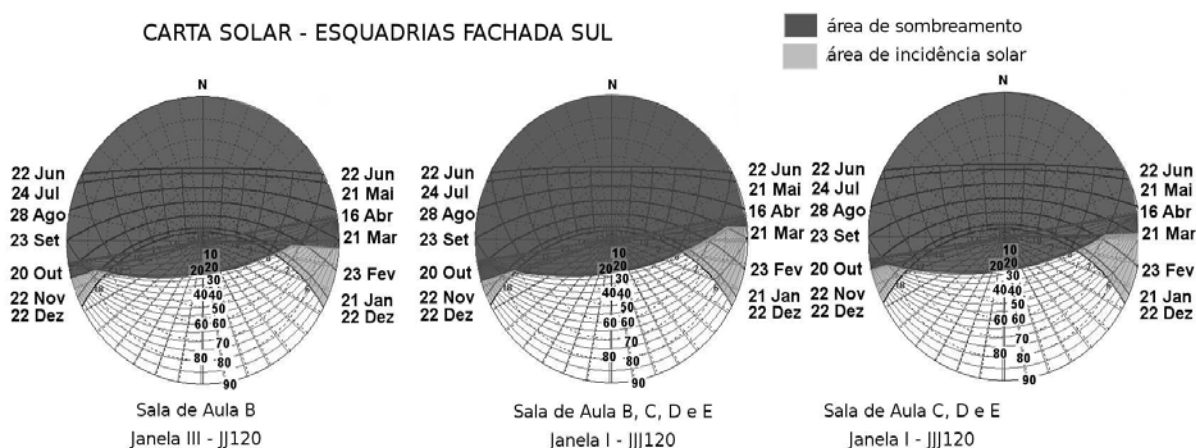


Figura 34: trajetória solar fachada sul das salas de aula B, C, D e E

De acordo com as cartas geradas, através das esquadrias orientadas para o sul (nomeadas de JI), se não protegidas, de outubro a abril deverá ocorrer o ingresso de radiação solar no ambiente interno. A incidência de radiação sobre a esquadria começa no período da manhã em meados de setembro, estendendo-se até o início de abril, ocorrendo brevemente após o nascer do sol. Em dezembro tal incidência se amplia, e, segundo a carta, em 22 de dezembro, deverá ocorrer a maior incidência solar no interior das salas, se as mesmas não forem protegidas. Neste caso, o sol incidiria em seu interior, desde o alvorecer até às 7h45min. No final de tarde, a incidência ocorre do início de novembro até início de janeiro, nestes meses a incidência ocorre próximo ao pôr do sol. E, em dezembro, tal incidência se estende das 17h15min, até o pôr do sol.

Em relação às cartas solares referente às esquadrias dispostas na fachada norte da edificação, foi verificada a não incidência de radiação solar nas esquadrias inferiores dispostas nesta fachada, devido existência de cobertura, que proporciona total sombreamento. Nas esquadrias superiores, apesar da existência de prateleira de luz, constatou-se, em alguns momentos, o ingresso de radiação solar direta no ambiente interno, conforme mostra a Figura 35.

Assim, conforme a esquadria nomeada como JIV, integrando a fachada norte de todas as salas de aula analisadas, em sua parte superior, ocorre a incidência de radiação solar direta no ambiente interno. No período da manhã, a incidência de radiação solar ocorre sobre a

esquadria de março a setembro, das 6h às 7h, sendo mais longa em 22 de junho, quando sol incide desde o seu nascer até as 12h. No período da tarde, a incidência do sol é menor, ocorrendo de abril a agosto, com início às 17h e término no pôr do sol. Entretanto, em junho, período com maior incidência de sol sobre as esquadrias, esta acontece das 14h até o horário do pôr do sol. O ingresso de radiação solar nos ambientes internos foi verificada durante as medições conforme é apresentado no capítulo de resultados, mas não chegou a causar grandes distúrbios aos usuários, por não incidir diretamente nos planos de trabalho. É importante ressaltar que foi feita uma simulação com auxílio da carta solar, das esquadrias superiores da fachada norte, desconsiderando a existência da prateleira de luz nas salas de aula. Os resultados apontaram um significativo aumento na incidência de radiação solar direta no ambiente, principalmente no horário das 8h às 16h, de março a setembro.

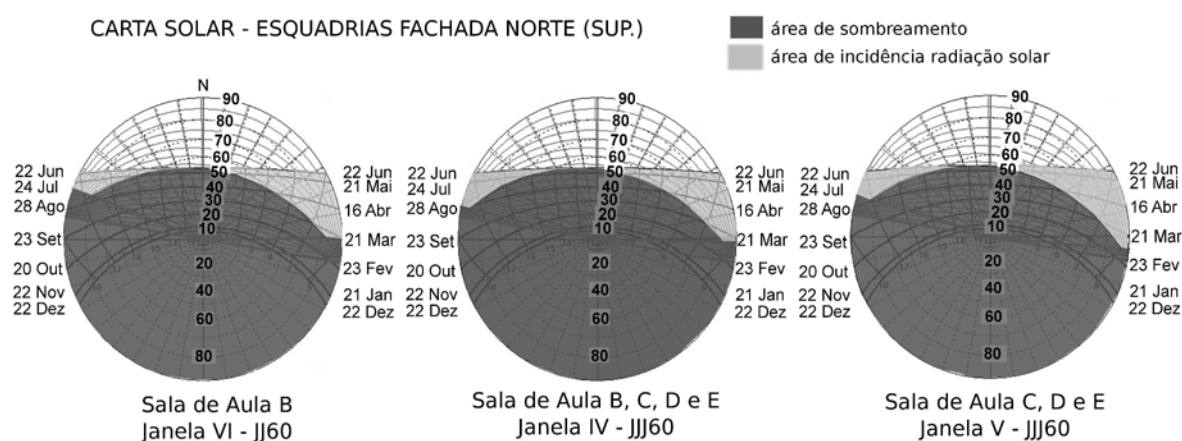


Figura 35: trajetória solar fachada norte esquadrias superiores das salas de aula B, C, D e E

5.2.6 Resultados da medição no solstício de inverno

A primeira medição do estudo foi feita no dia 13 de junho de 2008, período em que se desenvolviam atividades normais na escola. Nesta oportunidade, próximo ao solstício de inverno (21 de junho), buscou-se, pois, avaliar a qualidade e quantidade de iluminação no período. A sala de aula escolhida para a análise foi a sala de aula E, conforme exposto no item 5.2.2 (Definição da amostra de medição lumínica).

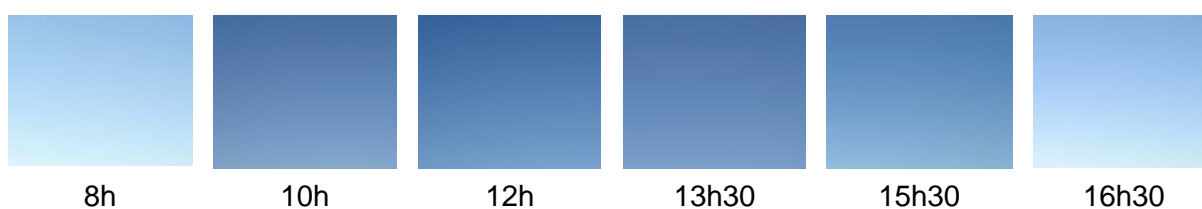


Figura 36: Condição do céu no dia da medição (13/06/2008) – céu claro

Buscou-se efetuar a coleta de dados em intervalos de duas em duas horas, porém respeitando a disponibilidade da sala de aula e o horário de funcionamento da escola.

Assim, as medições foram feitas ao longo do dia, iniciando às 8h, com prosseguimento às 10h, 12h, 13h30min, 15h30min e 16h30min. O céu estava claro, sem nenhuma nuvem, no dia da medição, conforme mostra a Figura 36, não apresentando nebulosidade em nenhum momento do dia.

Tabela 22: valores de iluminação natural obtidos, em lux, na medição realizada no dia 13/06/2008

Horário de medição 13/06/08 8h					
	1	2	3	4	5
A	264	266	210	255	242
B	147	155	155	163	140
C	94	94	106	102	78
D	62	74	79	71	48
E	39	59	65	50	43
Iluminância Média (lux)					126

Horário de medição 13/06/08 13h30						
	1	2	3	4	5	6
A	799	886	820	719	912	815
B	1150	963	939	820	1027	780
C	630	720	703	703	666	610
D	707	767	790	690	718	643
E	702	782	803	771	709	605
F	637	684	707	675	620	497
Iluminância Média (lux)						745

Horário de medição 13/06/08 10h						
	1	2	3	4	5	6
A	528	573	495	536	485	590
B	440	483	438	452	425	390
C	434	457	490	476	443	390
D	450	485	499	490	460	403
E	430	478	498	470	428	380
F	370	430	455	400	370	290
Iluminância Média (lux)						450

Horário de medição 13/06/08 15h30						
	1	2	3	4	5	6
A	1115	1690	1008	778	744	628
B	1075	993	866	727	625	552
C	984	984	850	710	634	515
D	990	1140	887	755	633	507
E	969	980	839	700	595	485
F	830	852	782	674	555	430
Iluminância Média (lux)						805

Horário de medição 13/06/08 12h						
	1	2	3	4	5	6
A	677	772	698	704	769	705
B	608	788	766	779	676	820
C	591	648	664	657	615	550
D	625	723	731	714	658	574
E	657	723	746	725	672	579
F	600	660	680	650	579	504
Iluminância Média (lux)						666

Horário de medição 13/06/08 16h30						
	1	2	3	4	5	6
A	1174	1206	901	722	692	575
B	1125	1160	910	730	613	474
C	1060	1068	893	720	578	450
D	970	1030	870	715	559	430
E	907	940	783	644	504	392
F	815	830	735	604	486	353
Iluminância Média (lux)						761

A Tabela 22 mostra os níveis de iluminância encontrados nos pontos de medição, determinados pela malha. Os pontos de medição, na malha estabelecida, estavam situados na altura do plano de trabalho, 75cm acima do piso. Além disso, conforme referido anteriormente, também foram coletados alguns dados adicionais, como a iluminância em alguns pontos do quadro negro, e a contribuição que, quando acionada, a iluminação artificial traria para o ambiente, identificando-se os pontos com maiores ganhos em iluminância resultantes da contribuição da iluminação artificial.

Conforme mostra a Tabela 22, na medição no solstício de inverno, com exceção do horário das 8h, todos os demais horários de medição apresentaram nível médios de iluminância acima de 300 lux, valor mínimo exigido pela ABNT (1992a), em situações normais. O horário das 8h apresentou baixos níveis de iluminância, com valores variando entre 39 e 266 lux, e todos abaixo dos 300 lux. Entretanto, nesta medição, a inclinação dos raios solares era baixa, neste horário, e devido à presença de uma massa densa de vegetação, a leste da

edificação, estes foram os menores valores de iluminância registrados. Nos demais horários, conforme mostra a Tabela 22, todos os pontos da sala de aula analisada demonstraram ótimos níveis de iluminância.

MEDIÇÕES REALIZADAS NO DIA 13/06/08

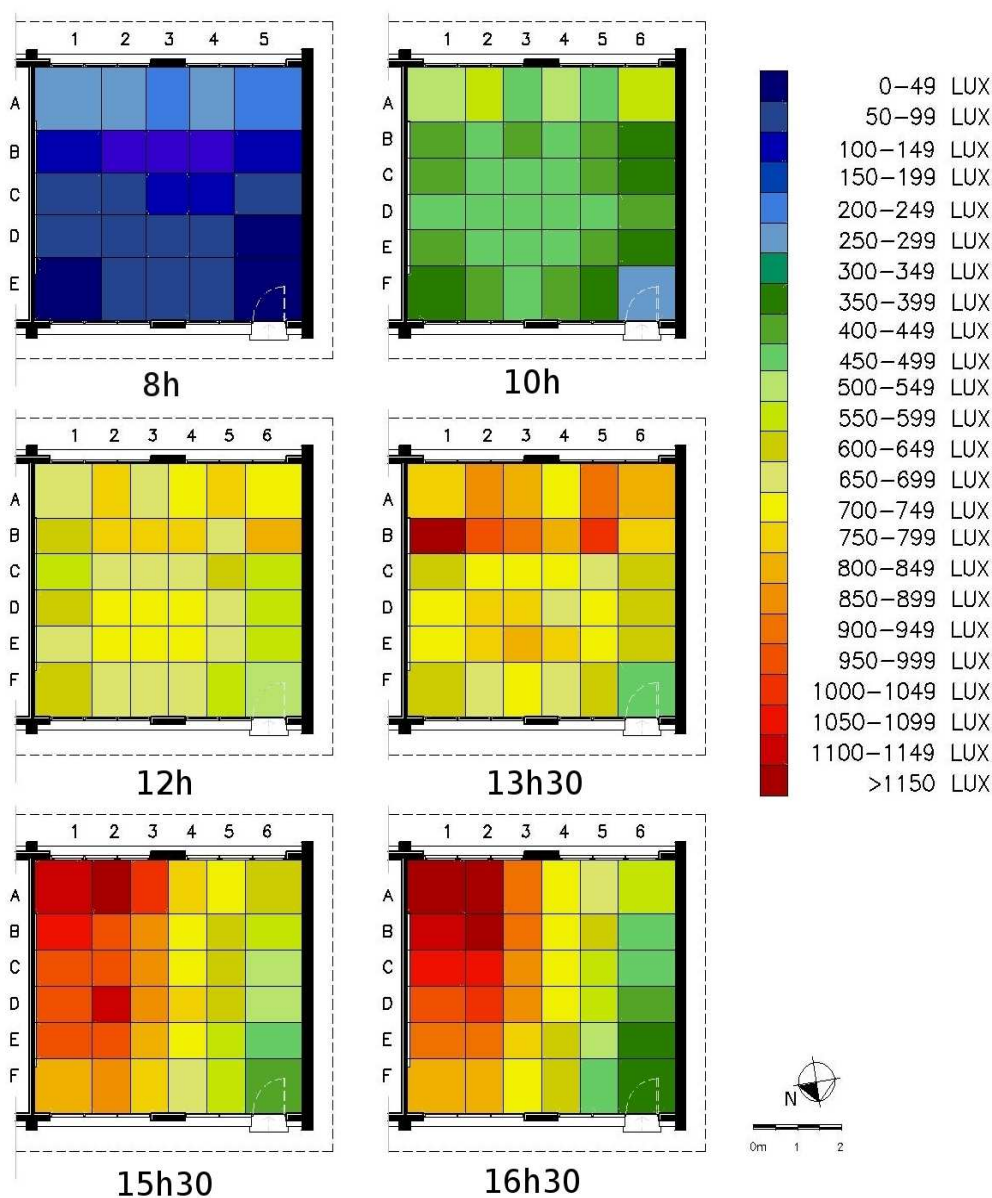


Figura 37: mapeamento dos níveis de iluminância obtidos na medição do dia 13/06/08 nos diferentes horários na sala de aula E

Associando os valores medidos nos diferentes horários foi configurado um mapeamento dos diferentes níveis de iluminância na sala de aula analisada, o que é ilustrado através da Figura 37.

No horário das 8h, pode-se observar o que já foi referido, ou seja o baixo nível de iluminância encontrado na sala de aula, devido à posição solar, associada à condição de solstício de inverno. Pode-se constatar que a zona próxima à fachada sul apresenta, a partir

deste horário, um melhor desempenho, se comparado ao restante do ambiente. O seu melhor desempenho é notório, particularmente neste primeiro horário, quando comparado ao desempenho próximo às janelas situadas na fachada norte.

A partir das 10h, pode-se observar uma sensível melhora no nível de iluminância na totalidade dos pontos de trabalho da sala de aula, uma vez que, em todos os pontos analisados, a partir deste horário, o nível mínimo de iluminância, estabelecido pela ABNT (1992a), de 300 lux, foi alcançado. Neste horário, também se pode observar uma uniformidade maior, na distribuição da iluminância do ambiente. Acredita-se que as esquadrias da fachada norte estão, de alguma forma, contribuindo para iluminância do ambiente, estando associadas à mancha de maior iluminância identificada no mapeamento, com valores entre 450-499 lux.

Conforme mapeamento dos níveis de iluminância, a partir das 12h, o ambiente apresenta condições acima das mínimas exigidas, assim como maior uniformidade. Apesar de a maior luminosidade ser proveniente da fachada sul, pode-se observar uma zona de maior iluminação no centro do ambiente, provavelmente proveniente, por reflexão, da prateleira de luz existente junto à fachada norte. A esquadria localizada na fachada norte, abaixo da prateleira de luz, é fonte de pequena contribuição lumínica para o ambiente, neste horário. Esta contribuição da prateleira de luz, entretanto não é aproveitada na íntegra pelo ambiente, devido a existência de uma viga transversal à sala, localizada abaixo do forro, e provavelmente contribuindo, neste horário, para a queda da iluminância no meio da sala de aula.

No turno da tarde, a iluminância encontrada alcançou níveis que superaram ao mínimo estabelecido em Norma, em todos horários de medição. A partir das 13h30, pode-se observar o início de uma maior iluminância no canto esquerdo da sala de aula, junto à fachada sul, que ocorreu simultaneamente, a uma menor iluminância no canto oposto do ambiente, próximo à porta de acesso. Este fato pode ser compreendido devido à orientação do ambiente, onde a parede com orientação leste passa a receber mais diretamente a luz solar oriunda de oeste, fato que se soma ao acabamento da superfície da parede, com características capazes de proporcionar uma maior reflexão de luz para o ambiente. Assim, também, apesar de não tão evidente no mapeamento dos níveis de iluminância, existe mais uma vez no local, a influência positiva da prateleira de luz, que contribui para a iluminação do ambiente na zona central.

A partir do horário das 15h30, similarmente ao que ocorre no horário das 16h30, pode-se observar bem claramente um processo de difusão da luz ingressante na sala de aula, onde os valores de iluminância nos pontos monitorados aumentam gradativamente, sem apresentar valores distorcidos, mostrando, nos vértices do ambiente, as zonas mais e menos favorecidas pela iluminação natural.

No horário das 16h30, apesar da baixa iluminância no ambiente externo, os valores medidos no ambiente interno apresentaram-se bem similares aos resultados encontrados às 15h30. A iluminância do ambiente, em vários pontos, foi considerada elevada, e caracterizada por uma entrada de luz natural através da fachada sul. Ao mesmo tempo, a parede leste foi responsável por parte da reflexão que contribuiu para a iluminância de alguns pontos de trabalho. Acredita-se que a entrada de luz, provocada pela posição do sol próximo ao horizonte, e como consequência, com feixes de luz praticamente horizontais, neste horário, proporcionou tal nível de iluminância ao ambiente, que esta foi considerada adequada para as atividades a serem exercidas, dispensando o uso de iluminação artificial, neste horário.

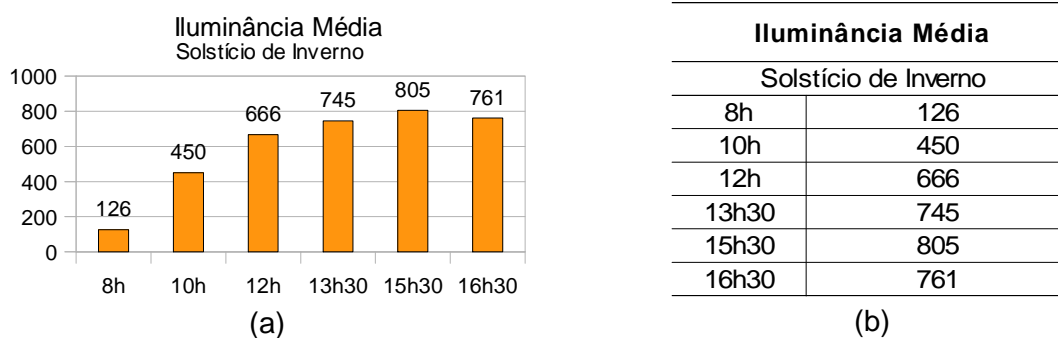


Figura 38: iluminância média encontrada na medição solstício de inverno para os diferentes horários

As iluminâncias médias encontradas para os diferentes horários, conforme disposto no gráfico da Figura 38(a), mostram uma tendência crescente. O primeiro horário mostrou o pior desempenho, com 126 lux, e o penúltimo horário, o melhor desempenho, com 805 lux. O último horário, apesar de apresentar uma iluminância média um pouco abaixo da encontrada para o horário das 15h30, ainda ficou acima da encontrada no horário das 13h30, mostrando que, apesar da tendência decrescente, devido ao deslocamento da fonte de luz para o poente, a iluminância média ainda permaneceu praticamente constante internamente, nestes dois últimos horários. De fato, as iluminâncias médias encontradas durante a medição do solstício de inverno ficaram acima do esperado. O primeiro horário, 8h, que apresentou desempenho abaixo daquele estabelecido em Norma, pode ser justificado pela baixa iluminância disponível externamente, e também como decorrência do sombreamento oferecido, no local, determinado pela massa de vegetação existente a leste da edificação.

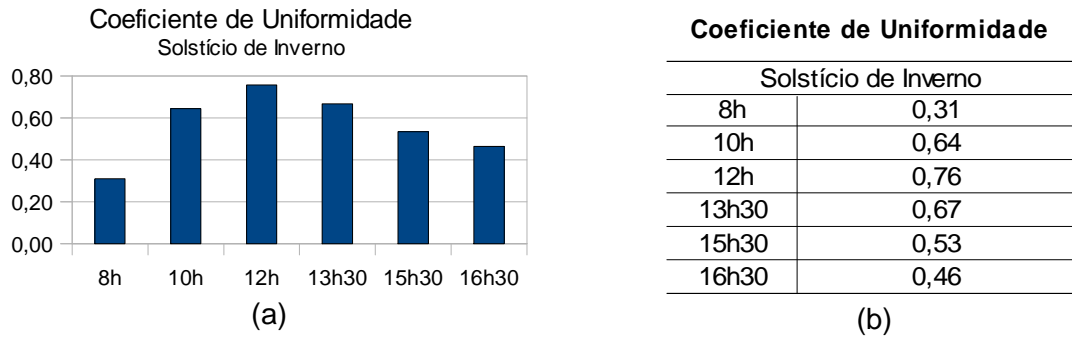


Figura 39: coeficiente de uniformidade para medição solstício de inverno nos diferentes horários

O coeficiente de uniformidade utilizado foi calculado através da razão entre o menor nível de iluminância, encontrado no plano de trabalho, sobre a iluminância média nestes pontos. Desta forma, não apresentou, para os diferentes horários da medição no solstício de inverno, a mesma tendência de variação dos resultados encontrados para iluminância média do ambiente, conforme mostra o gráfico apresentado na Figura 39. O menor valor foi encontrado para o primeiro horário de medição; o coeficiente de uniformidade cresceu ao longo da manhã e decresceu ao longo da tarde. Este fato mostra que, apesar da boa iluminância média encontrada nos horários da tarde, a uniformidade na distribuição da iluminância, ao longo da tarde, ficou comprometida, beneficiando mais a alguns pontos da sala. Poderia se considerar como ideal o valor de uniformidade encontrado no horário das 12h, não muito distinto, contudo, daqueles encontrados nos horários das 10h e 13h30, em que o coeficiente se aproximou bastante do ideal. Nos demais horários, considerou-se que o ambiente teve pouca iluminância em alguns pontos, contudo, em contrapartida, com pontos com ótimas iluminâncias. Este contraste, determinante de uma baixa uniformidade, pode, em muitos casos, não ser positivo.

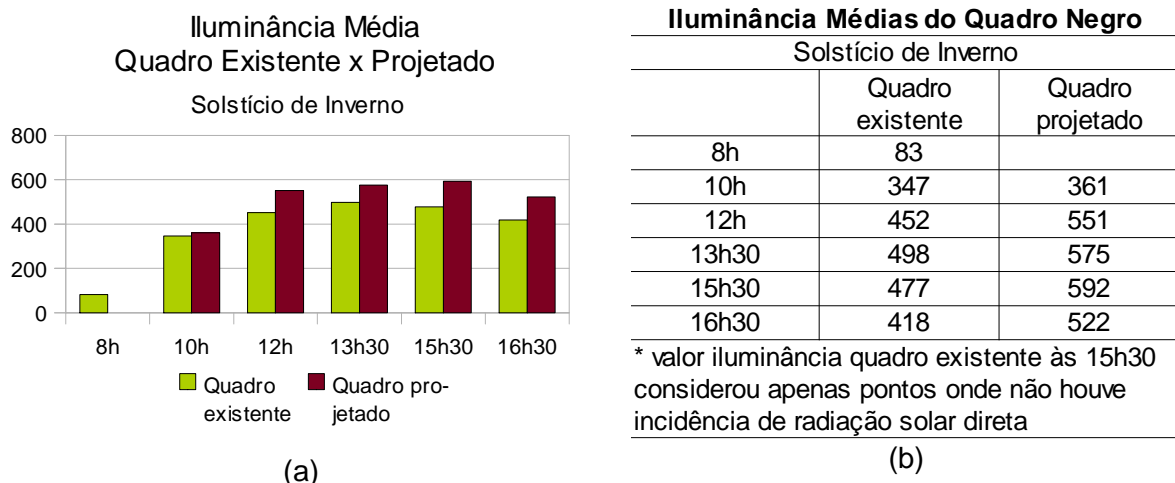


Figura 40: iluminâncias médias encontradas quadro negro existente e quadro negro projetado no solstício de inverno nos diferentes horários

O quadro negro, desta sala de aula, estava previsto em projeto para estar localizado na parede oposta à parede na qual este se encontra atualmente. Desta forma, foi feita uma

medição nos pontos imaginários, onde estaria o quadro negro, hoje, se estivesse no local previsto pelo projeto, levando em conta a posição dos pontos, da mesma forma como foi feita a medição no quadro negro. Analisando, assim, as iluminâncias médias encontradas no quadro negro existente na sala de aula e no local para onde o quadro havia sido projetado, pode se perceber, através do gráfico apresentado na Figura 40, um melhor desempenho, neste dia em que foram realizadas as medições, nos diferentes horários, do local em que o projeto, **previa** a sua localização. Verificou-se que, entre as duas posições, os valores medidos favorecem a posição “quadro negro projetado” apesar de os valores serem similares, e onde a maior diferença foi encontrada no horário das 15h30. Tal diferença acresce ao quadro “projetado” cerca de 115 lux a mais do que o quadro existente. Também se verificou que todos os valores de iluminância média encontrados para o quadro “projetado”, exceto para os horários das 8h e 10h, apresentaram-se acima do valor estabelecido pela ABNT (1992a) para este equipamento escolar, de 500 lux. No quadro existente, todos os valores de iluminância média encontrados permaneceram abaixo de 500 lux, com exceção ao valor encontrado às 13h30min, que se aproximou bastante do valor de Norma. No horário das 8h, não foi realizada medição do quadro no local “projetado”, sendo apresentado somente o resultado da medição sobre o quadro negro existente na sala de aula.

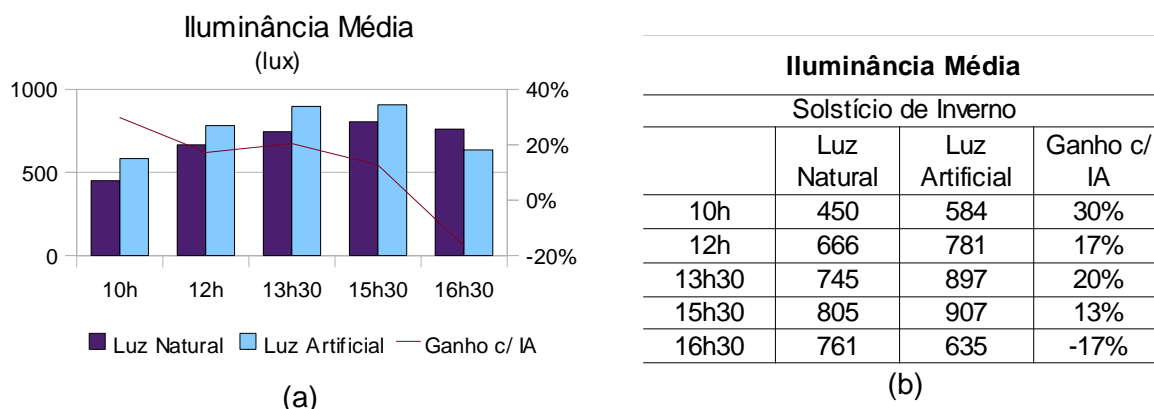


Figura 41: ganho de iluminância com iluminação artificial no solstício de inverno nos diferentes horários

Quanto à análise da iluminância média, sem o uso de iluminação artificial, relativamente àquela que contou com o uso deste recurso, construiu-se o gráfico apresentado na Figura 41. Neste gráfico, pode-se perceber um ganho resultante do emprego de iluminação artificial, que se apresenta similar nos horários das 12h às 15h30. No horário das 10h, o ganho foi maior, chegando a 30%, enquanto que no horário das 16h30, considerou-se, apesar do valor de -17% encontrado, um ganho próximo a zero. Entende-se que, no horário das 10h, o ganho foi maior, principalmente nos pontos centrais e próximos à fachada norte na sala de aula, que apresentaram, neste horário, valores menores para a iluminação natural, em decorrência do sombreamento determinado pelos elementos da edificação. O

valor de -17%, encontrado às 16h30, conforme discutido anteriormente, foi admitido como correspondendo a um ganho próximo a zero, uma vez que não seria possível a medição, com iluminação artificial, apresentar-se inferior à medição com iluminação natural. Concluiu-se, portanto, que houve algum erro na forma de medição ou de comparação dos dados. No horário das 8h, não foi realizada a medição dos níveis de iluminância com uso de iluminação artificial.

5.2.7 Resultados da medição no equinócio de primavera

A medição realizada no equinócio de primavera ocorreu próxima ao mesmo, no dia 23 de setembro de 2008, caracterizado, particularmente em seu início, como um dia com nebulosidade.

As medições buscaram uma avaliação da qualidade e quantidade de iluminação, no período relativo ao equinócio de primavera, tendo sido realizadas em um dia com atividades normais na escola. As medições foram realizadas de duas em duas horas, de acordo com a disponibilidade da sala de aula, com início às 8 horas e término às 17 horas, período que coincide com a ocupação da escola. Desta forma, as medições foram feitas às 8h, 10h, 12h, 13h, 15, e 17h. Conforme já mencionado, o céu estava parcialmente encoberto no início do dia, tornando-se totalmente claro ao final do período, conforme mostra a Figura 42.



Figura 42: Condição do céu no dia da medição (23/09/2008) – céu predominantemente parcialmente nublado

A Tabela 23 mostra os níveis de iluminância encontrados nos pontos de medição, nos diferentes horários. Verifica-se, através destes valores de iluminância, que diferentemente do ocorrido no solstício de inverno, no equinócio de primavera, houve uma maior ocorrência de níveis de iluminância abaixo de 300 lux, valor mínimo recomendado pela Norma.

Assim, a partir da Tabela 23, verifica-se que o horário das 15h foi o único a apresentar todos os pontos da malha com valores de iluminância acima de 300 lux. Todos os demais horários, analisados na medição, apresentaram alguns pontos com níveis de iluminância abaixo de 300 lux, concentrando os pontos com menor iluminação próximo à parede de orientação norte. Os pontos localizados próximo à fachada sul, em todos os horários, apresentaram altos valores de iluminância com níveis acima de 300 lux. O centro da sala de aula apresentou iluminância adequada somente nos horários das 13h e 15h, requerendo nos outros horários, o uso de iluminação artificial. O ponto próximo à porta (F6) apresentou baixos valores em todos os horários analisados, variando de um mínimo de 146 lux, no horário das 8h, a um máximo de 327 lux, no horário das 15h.

Tabela 23: valores obtidos, em lux, na medição realizada no dia 23/09/2008

Horário de medição 23/09/08 8h						
	1	2	3	4	5	6
A	984	1518	986	932	1465	1670
B	700	785	785	698	824	776
C	370	437	427	420	443	409
D	268	306	306	308	246	246
E	216	243	237	182	170	206
F	190	203	197	192	176	146
Iluminância Média (lux)						547

Horário de medição 23/09/08 10h						
	1	2	3	4	5	6
A	835	780	640	617	697	550
B	404	480	490	470	380	317
C	310	376	345	307	264	235
D	260	228	283	280	287	256
E	250	268	310	269	232	192
F	225	258	250	251	243	198
Iluminância Média (lux)						373

Horário de medição 23/09/08 12h						
	1	2	3	4	5	6
A	623	696	546	565	668	628
B	417	447	435	448	444	366
C	328	338	363	342	340	279
D	290	324	327	296	300	263
E	277	309	310	300	267	235
F	245	268	278	238	248	201
Iluminância Média (lux)						374

Horário de medição 23/09/08 13h						
	1	2	3	4	5	6
A	693	806	667	597	710	612
B	404	523	527	508	483	458
C	390	448	433	440	424	370
D	386	429	438	430	368	340
E	382	405	388	417	368	290
F	345	366	350	372	322	255
Iluminância Média (lux)						452

Horário de medição 23/09/08 15h						
	1	2	3	4	5	6
A	539	620	500	528	645	504
B	467	532	500	480	494	469
C	378	444	445	427	395	343
D	372	440	450	435	394	326
E	370	424	439	420	385	325
F	345	352	385	363	322	327
Iluminância Média (lux)						431

Horário de medição 23/09/08 17h						
	1	2	3	4	5	6
A	523	555	396	420	540	460
B	350	366	393	380	420	355
C	302	345	304	300	290	272
D	312	328	286	270	263	241
E	290	312	293	265	225	202
F	240	262	265	218	190	180
Iluminância Média (lux)						325

Também esta medição realizada no dia 23 de setembro de 2008 possibilitou configurar um mapeamento do comportamento, dos diferentes níveis de iluminância nos planos de trabalho analisados, nos diferentes horários, conforme ilustrado na Figura 43.

Pode-se verificar os baixos níveis de iluminância encontrados na sala de aula, no horário das 8h, próximo à fachada norte. Por outro lado, na faixa próxima à fachada sul, no horário das 8h, ocorreram os maiores valores de iluminância da sala de aula, no dia da medição. Este fato pode ser explicado pela incidência nesta fachada sul, em curto período após o nascer do sol. Isto pode ser identificado pela análise da trajetória aparente do sol na carta solar, para este período, apresentado anteriormente.

A partir das 10h pode-se observar uma sensível melhora no nível de iluminação da sala de aula, e o número de pontos que apresenta valor de iluminância abaixo do recomendado pela Norma diminuiu, fazendo com que quase 50% da sala goze de boas condições de iluminação. Os baixos níveis de iluminância ainda são característicos da região próxima à fachada norte, que se estende até o meio da sala de aula.

MEDIÇÕES REALIZADAS NO DIA 23/09/08

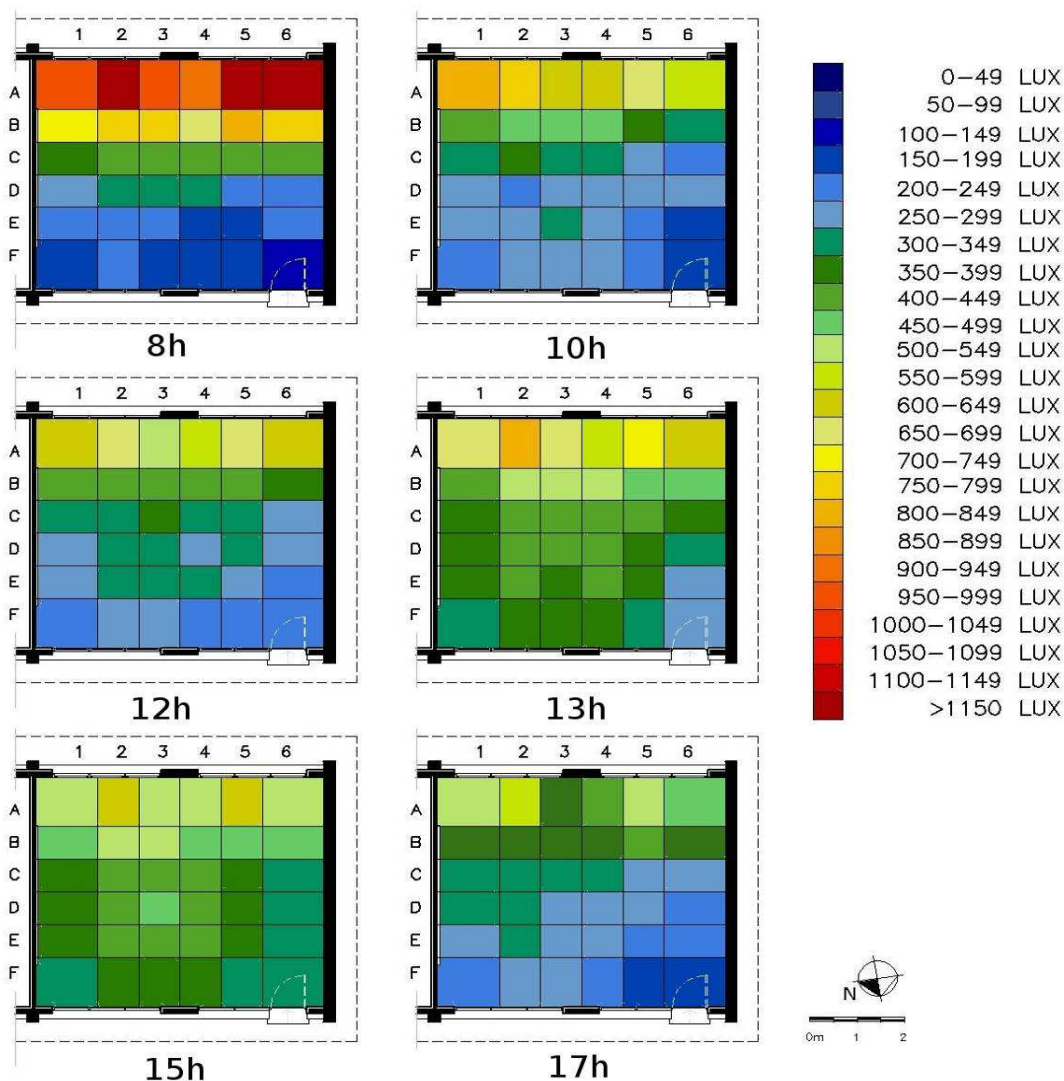


Figura 43: mapeamento dos níveis de iluminância obtidos na medição do dia 23/09/08 nos diferentes horários na sala de aula E

No horário das 12h, o número de pontos com níveis de iluminância acima de 300 lux aumenta gradativamente, a partir do centro da sala, permanecendo ainda uma mancha mais escura (identificando baixos valores de iluminância) próxima à fachada norte, nos vértices noroeste (F6), e nordeste (F1). Neste horário, também pode-se observar uma uniformidade maior na distribuição de luz natural no ambiente. Acredita-se que as esquadrias dispostas na fachada norte contribuam, em parte, para a iluminação do ambiente através da reflexão da luz externa na prateleira de luz, neste horário. Entretanto, as esquadrias localizadas na fachada norte, abaixo da prateleira de luz, são ainda fonte de pequena contribuição para a iluminação do ambiente.

Conforme mapeamento dos níveis de iluminância medidos, no turno da tarde, a partir das 13h, o ambiente apresenta um maior número dos pontos acima do valor mínimo exigido pela Carolina Barlem Gemelli - Dissertação de Mestrado – Porto Alegre: PPGE/UFGRS, 2009

Norma. Apesar da maior iluminância nos pontos de trabalho próximos à fachada sul, pode-se observar uma zona com boa iluminação no centro do ambiente, certamente com contribuições também das esquadrias da fachada norte.

No horário das 15h, os níveis de iluminância encontrados apresentaram-se acima do mínimo exigido, em todos os pontos da medição. Assim, além de ser o único horário, no equinócio de primavera, a ter apresentado todos seus pontos de medição acima dos 300 lux, este horário também está identificado com o maior coeficiente de uniformidade, conforme será apresentado a seguir. Tal resultado é facilmente percebido pelo mapeamento, através da homogeneidade dos níveis de iluminância do ambiente, neste horário.

E às 17h, apesar da baixa iluminância encontrada externamente, no interior o ambiente apresentou iluminação natural quase satisfatória. Em 50% dos pontos medidos, o nível de iluminância exigido pela Norma foi alcançado através da entrada de luz natural oriunda, principalmente, da fachada sul. A parede leste foi responsável por parte da reflexão de luz que contribuiu para a iluminação do ambiente, enquanto a parede oeste proporcionou um maior sombreamento no plano de trabalho próximo a esta, neste horário. A iluminação artificial, neste horário, ao contrário do solstício de inverno, se fez necessária a fim de garantir uma boa iluminação no ambiente para seus usuários.

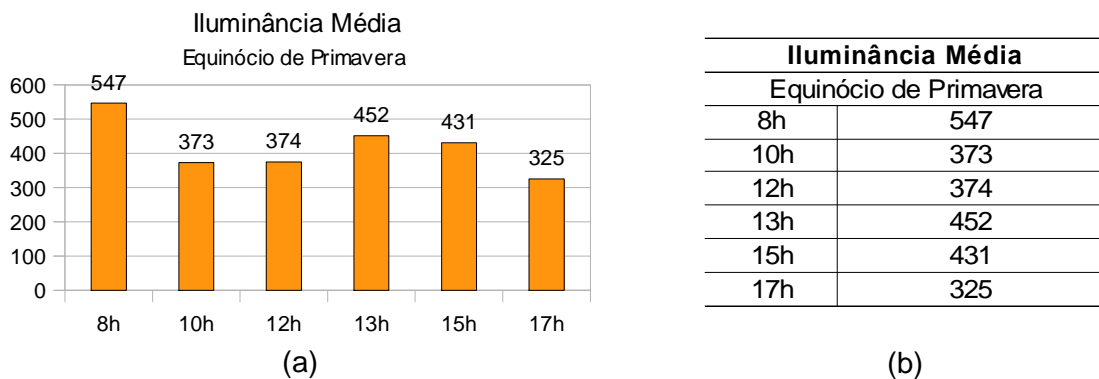


Figura 44: iluminância média encontrada na medição equinócio de primavera para os diferentes horários

Fazendo-se uma análise das iluminâncias médias encontradas para o ambiente nesta medição, verificou-se que todos os horários apresentaram valores acima de 300 lux. Conforme ilustrado no gráfico da Figura 44, mostram, há uma oscilação em seus valores, que se apresentam decrescentes no turno da tarde. O primeiro horário mostrou o maior valor, 547 lux, e o último horário o menor, 325 lux. Entretanto, o resultado encontrado no primeiro horário não representa a realidade da iluminação encontrada internamente. Pois, apesar de apresentar iluminância média alta, mostrou carência de iluminação natural em diversos pontos de trabalho.

Ao comparar os valores encontrados no horário das 10h com os do horário das 12h, verificamos que o primeiro, apesar da proximidade nos valores de iluminância média

encontrada para estes horários, apresentou um menor número de pontos com a iluminância mínima requerida.

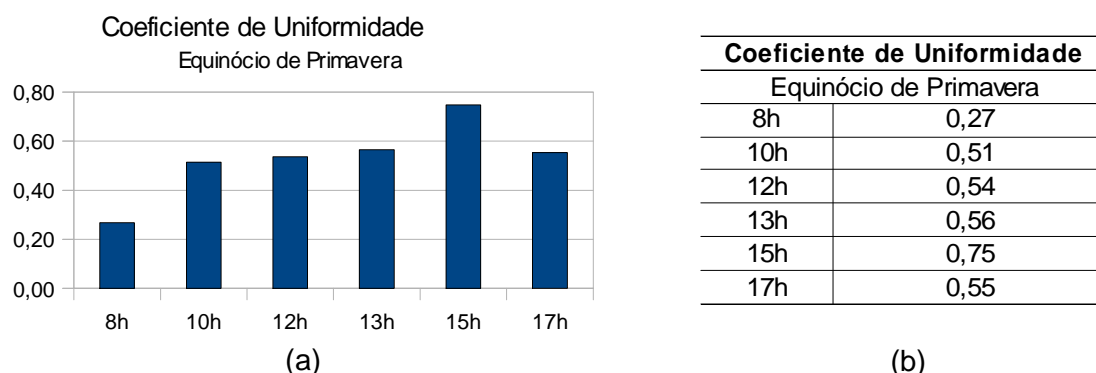


Figura 45: coeficiente de uniformidade para medição equinócio de primavera nos diferentes horários

Os coeficientes de uniformidade, para os diferentes horários de medição no equinócio de primavera, mostraram-se um pouco distintos, em termos de variabilidade, dos resultados de iluminância média do ambiente (Figura 45). O menor valor foi encontrado no primeiro horário de medição, crescendo ao longo do dia e atingindo seu pico às 15h. Em geral os valores se mostraram semelhantes, exceto por aqueles dos horários das 8h e das 15h. Este fato demonstra que, apesar da alta iluminância média encontrada no horário das 8h, a sua uniformidade foi baixa, não estando bem distribuída em todos os pontos da sala de aula analisada. Apesar de, em geral, o coeficiente de uniformidade ter se apresentado elevado em todos os horários, com exceção das 8h, a elevada uniformidade no horário das 15h se destacou, atingindo um índice de 0,75.

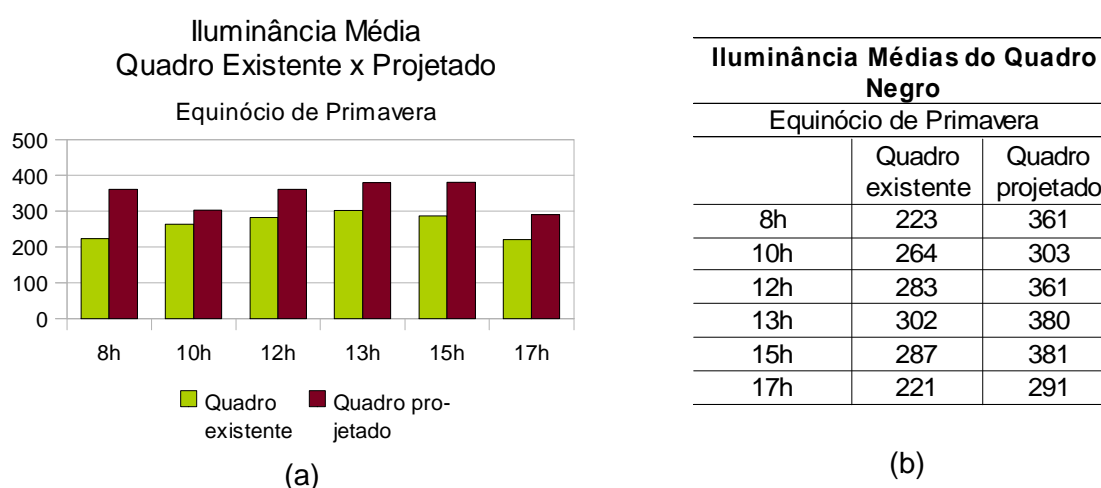


Figura 46: iluminâncias médias encontradas no quadro negro existente e no local projetado para o quadro negro, no equinócio de primavera, nos diferentes horários

Através da análise das iluminâncias médias encontradas sobre o quadro negro existente na sala de aula e sobre o local previsto em projeto para o quadro negro (“quadro projetado”), pode se perceber, através do gráfico apresentado na Figura 46, um melhor desempenho, nos diferentes horários, do quadro “projetado”. Esta diferença encontrada em todos os

horários da medição foi maior às 8h, quando ocorreu uma diferença de 137 lux. Também foi observado que todos os valores de iluminância média encontrados para o quadro existente e para o quadro “projetado”, apresentaram-se abaixo do valor normativo constante na ABNT (1992a), de 500 lux. O plano do quadro projetado apresentou apenas um valor de iluminância média abaixo de 300 lux, às 17h, enquanto que no quadro negro existente no local todos os valores de iluminância média foram inferiores a 302 lux.

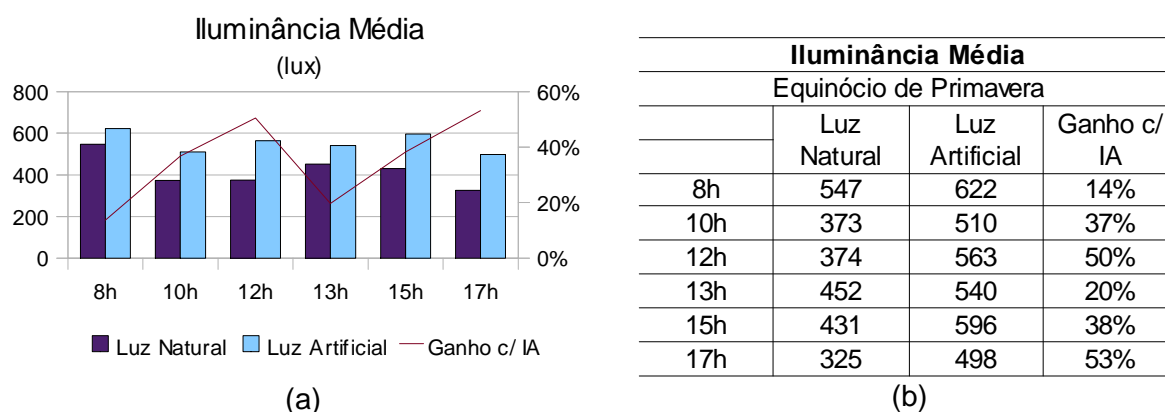


Figura 47: ganho de iluminância com iluminação artificial no equinócio de primavera nos diferentes horários

Por último, a iluminância média do ambiente sem o uso de iluminação artificial foi comparada àquela resultante do uso deste recurso (Figura 47). Neste gráfico, não se pode perceber a mesma homogeneidade determinada pelo uso de iluminação artificial no solstício de inverno. O percentual de ganho variou bastante, e de forma não uniforme ao longo do dia, pois apresentou menores ganhos nos horários das 8h e 13h, maiores ganhos nos horários das 12h e 17h, apresentando-se similar nos demais horários. Também não pôde ser observado aumento em lux constantes, em valores absolutos, devido à forma como a medição foi realizada, em diferentes pontos nas duas medições.

5.2.8 Resultados da medição no solstício de verão

A medição no solstício de verão foi realizada no dia 20 de dezembro de 2008, e foi caracterizada por condições de céu variável.

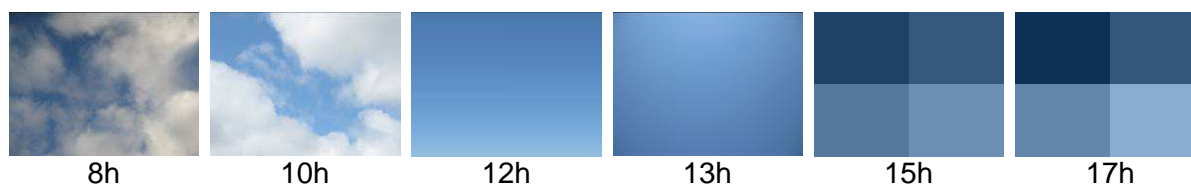


Figura 48: Condição do céu no dia da medição (20/12/2008) – céu parcialmente nublado

As medições buscaram uma avaliação da qualidade e quantidade de iluminação, no período relativo ao solstício de verão e foram realizadas, diferentemente das medições anteriores, em dia não letivo. Os horários das medições obedeceram ao mesmo critério utilizado nas medições anteriores, que foram realizadas de duas em duas horas, com início às 8h e término às 17h. Deve ser destacado que nesta data estava em vigência o horário brasileiro

de verão, representando que a hora da medição se encontrava uma hora à frente da hora local, que é referida ao horário do meridiano. Conforme mostra a Figura 48, o céu estava parcialmente encoberto no início do dia, tornando-se totalmente claro ao final do período.

Tabela 24: valores obtidos, em lux, na medição realizada no dia 20/12/2008

Horário de medição 20/12/08 8h						
	1	2	3	4	5	6
A	1330	2810	3790	1990	2320	2600
B	691	684	1280	1870	1520	920
C	441	392	632	1620	932	618
D	214	275	465	522	844	422
E	198	246	324	333	305	286
F	186	236	255	272	268	221
Iluminância Média (lux)						221

Horário de medição 20/12/08 13h						
	1	2	3	4	5	6
A	824	920	650	680	939	856
B	473	557	508	500	533	460
C	318	386	385	391	392	342
D	280	302	285	311	286	237
E	259	268	269	254	229	193
F	212	223	230	217	200	188
Iluminância Média (lux)						417

Horário de medição 20/12/08 10h						
	1	2	3	4	5	6
A	1632	1920	2460	1380	2760	2620
B	920	1308	1173	902	1040	1350
C	595	760	677	782	748	670
D	370	418	475	527	438	421
E	297	350	370	376	351	313
F	214	235	341	333	310	258
Iluminância Média (lux)						883

Horário de medição 20/12/08 15h						
	1	2	3	4	5	6
A	656	710	523	605	757	609
B	395	428	410	414	452	414
C	309	339	347	339	329	279
D	259	277	294	288	267	234
E	250	252	266	262	242	206
F	220	232	239	230	199	167
Iluminância Média (lux)						361

Horário de medição 20/12/08 12h						
	1	2	3	4	5	6
A	789	960	786	580	934	880
B	460	510	505	430	540	466
C	400	507	393	395	420	364
D	234	300	270	283	352	272
E	259	283	296	292	275	233
F	239	252	257	253	230	200
Iluminância Média (lux)						432

Horário de medição 20/12/08 17h						
	1	2	3	4	5	6
A	642	675	510	612	764	584
B	442	412	400	458	456	369
C	320	327	328	324	314	254
D	245	267	273	264	245	213
E	220	236	235	229	214	182
F	202	208	213	194	184	151
Iluminância Média (lux)						346

A medição realizada no solstício de verão, conforme mostra a Tabela 24, não apresentou, em nenhum horário, todos os pontos com valores de iluminância acima de 300 lux. O melhor resultado, apresentando o maior número de pontos com valores acima de 300 lux, foi encontrado no horário das 10h.

O mapeamento da distribuição dos diferentes níveis de iluminância medidos na sala de aula é mostrado na Figura 49. O mapeamento permite observar a baixa uniformidade da iluminação natural penetrante no ambiente, o que é identificado pela grande variação de iluminância encontrada entre as zonas próximas às fachadas norte e sul.

MEDIÇÕES REALIZADAS NO DIA 20/12/08

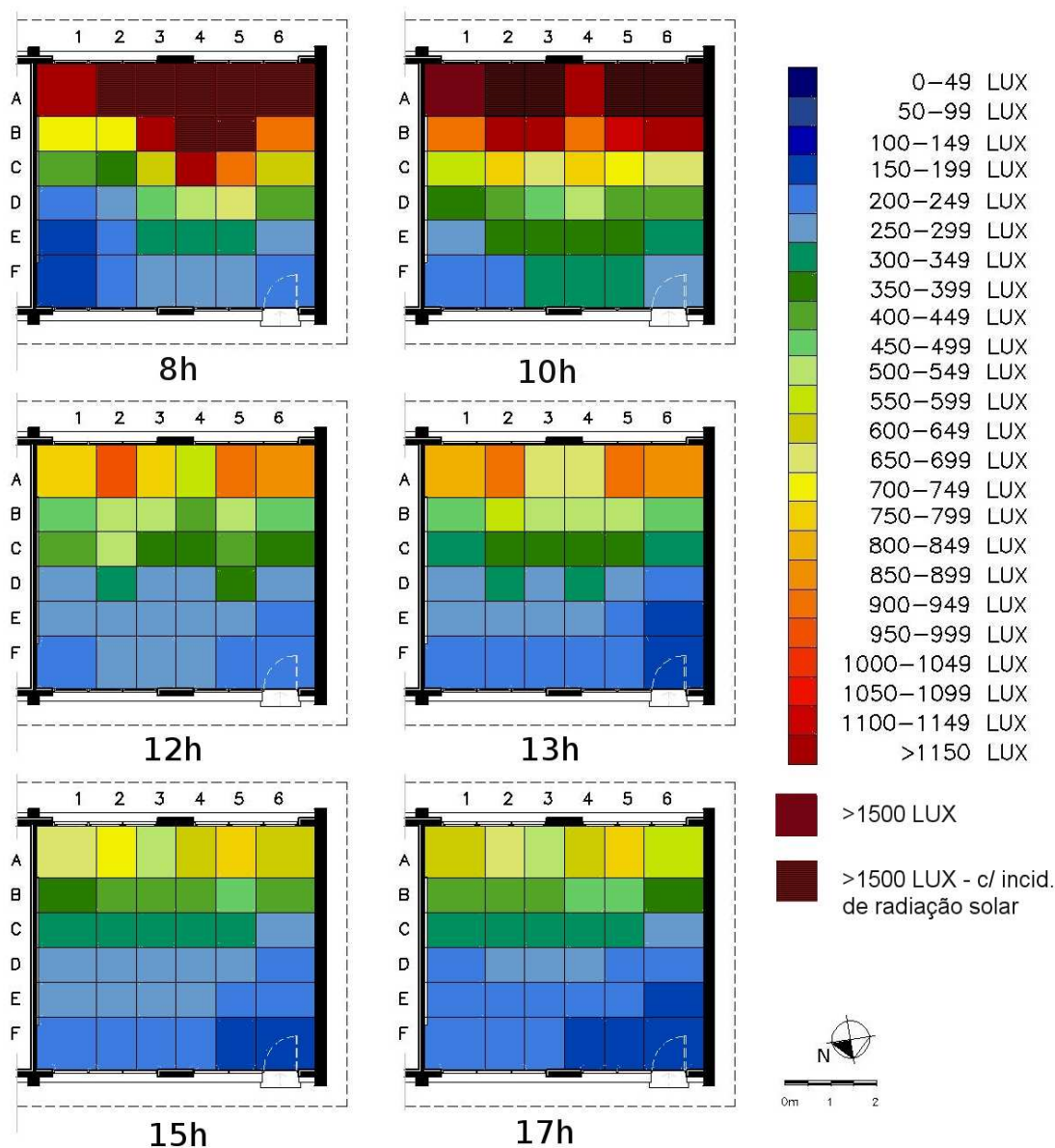


Figura 49: mapeamento dos níveis de iluminância obtidos na medição do dia 20/12/08 nos diferentes horários na sala de aula E

No horário das 8h, os maiores níveis de iluminância foram encontrados próximo às esquadrias da fachada sul, enquanto os menores níveis de iluminância foram encontrados próximos às esquadrias da fachada norte. Diferentemente da medição no solstício de inverno, os pontos próximos às esquadrias da fachada sul receberam maior iluminação natural nos primeiros horários da manhã, quando ocorreu, também, a incidência de radiação solar direta em alguns pontos analisados.

No horário das 10h, pode-se observar uma sensível melhora na uniformidade da distribuição de iluminância, quando alguns pontos localizados no centro da sala de aula alcançaram um valor de nível de iluminância elevado. Esta melhor distribuição de iluminância pode ser

atribuído à luz natural penetrante pelas esquadrias da fachada norte, que, neste horário, contribuíram para iluminação do ambiente de forma mais efetiva.

A partir das 12h, conforme o mapeamento dos níveis de iluminância, o ambiente apresentou condições mais uniformes, apesar da queda apresentada nos níveis de iluminância nos pontos próximos à fachada norte. Entretanto, a fachada sul é, ainda, a fonte de luz natural mais importante para o ambiente, proporcionando iluminação adequada a todos os pontos próximos à mesma.

No turno da tarde, o desempenho lumínico da sala de aula caiu de forma considerável, e os níveis de iluminância encontrados ficaram abaixo do valor normativo em vários pontos. A partir das 13h, pode-se observar o início de uma menor iluminação do ambiente a partir do vértice noroeste da sala de aula. No geral, nota-se uma menor iluminação próxima à fachada norte e uma maior iluminação do ambiente próximo à fachada sul. A partir deste horário, passa a ocorrer uma sensível redução da luz natural penetrante no ambiente, que será também observada nos dois horários de medição seguintes.

No horário das 15h, a uniformidade permaneceu similar a do horário anterior, com uma redução nos níveis de iluminância no ambiente. O número de pontos que se apresentaram abaixo do valor de 300 lux aumentou, neste horário.

Às 17h, os resultados de iluminância foram similares aos encontrados às 15h. Um número considerável de pontos apresentou iluminância abaixo do valor mínimo estabelecido pela ABNT(1992). Através do mapeamento, o fato mais perceptível foi a diminuição nos valores dos níveis de iluminância verificado junto ao vértice noroeste da sala de aula. A progressão solar para oeste causa um maior sombreamento junto da parede oeste.

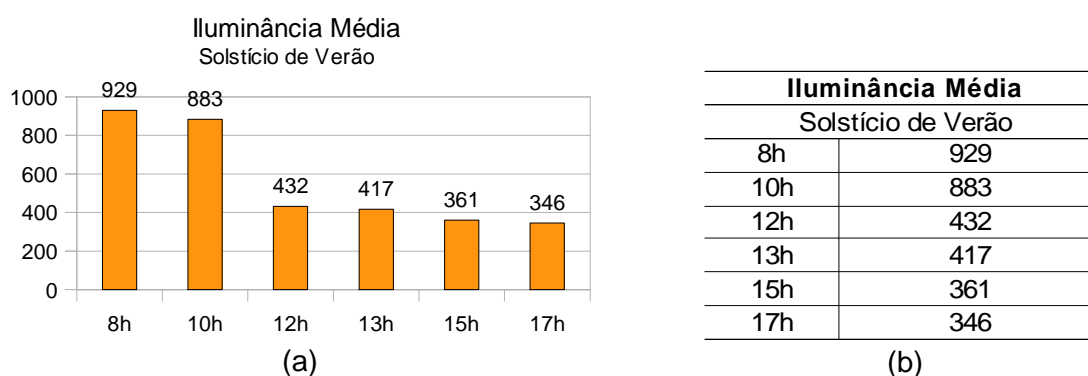


Figura 50: iluminância média encontrada na medição do solstício de verão para os diferentes horários

As iluminâncias médias para os diferentes horários (Figura 50), identificam níveis decrescentes. O primeiro horário, 8h, mostrou o melhor desempenho, 929 lux, e o último horário, 17h, o pior desempenho, 346 lux. A partir das 12h, a queda nos valores de iluminância média ocorreu de forma menos acentuada que no turno da manhã. O primeiro e o segundo horários, apesar de apresentarem os maiores níveis, contaram com a incidência de radiação solar direta em boa parte dos pontos dispostos próximos à fachada sul,

causando o aumento significativo no valor de iluminância média. Os demais horários apresentaram menores valores de iluminância média, devido a não ocorrência de incidência de radiação solar direta nos pontos de medição. Destacam-se resultados similares entre os horários das 8h e das 10h; das 12h e 13h; e das 15h e 17h. Estes horários, além de apresentarem iluminância média similares também apresentaram iluminâncias, nos diferentes pontos da sala, similares, como pode ser observado no mapeamento da Figura 50.

O coeficiente de uniformidade encontrado para os diferentes horários da medição (Figura 51), no solstício de verão, mostrou comportamento bem similar, embora inverso em termos absolutos, aos resultados de iluminância média do ambiente. Os primeiros dois horários, da manhã, se apresentaram com valores bem próximos, com coeficiente variando de 0,20 a 0,24. A partir das 12h, as medições identificaram valores de coeficiente de uniformidade similares entre si, variando de 0,44 a 0,46. As medições realizadas entre 12h e 17h, além de apresentarem menores valores de iluminância média, devido não ocorrência de radiação solar direta nos pontos de coleta de dados, apresentaram, também, menor variação entre os níveis de iluminância encontrados, que gerou um maior coeficiente de uniformidade. Este fato mostra que, apesar da boa iluminância média encontrada nos horários da manhã, a uniformidade da distribuição de luz ficou prejudicada. Nenhum dos valores encontrados para o coeficiente de uniformidade atingiu um valor ideal. No entanto, poderia se considerar que os horários que mais se aproximaram deste valor ideal estariam compreendidos entre os horários das 12h às 17h.

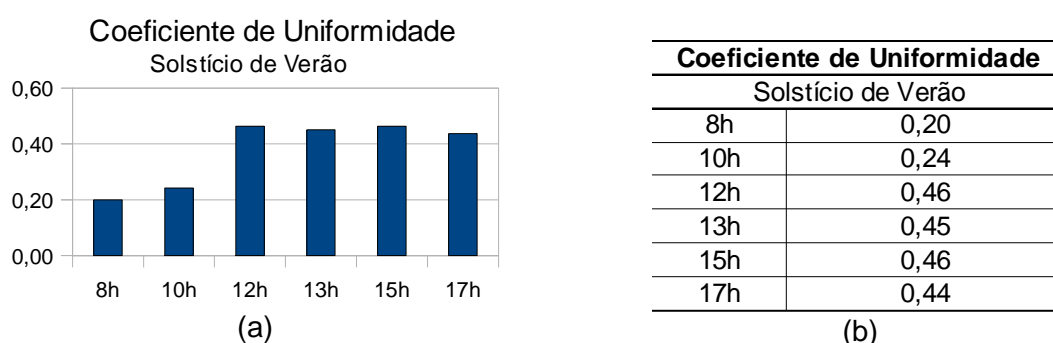
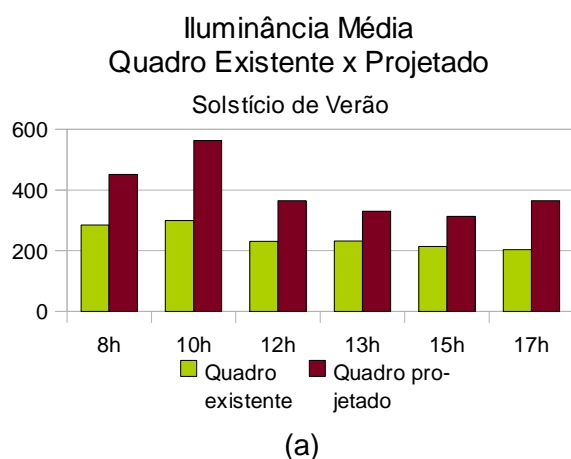


Figura 51: coeficientes de uniformidade para a medição realizada no solstício de verão

Analisando as iluminâncias médias encontradas no quadro negro existente e no quadro “projetado” na sala de aula, pode-se perceber (Figura 52) um melhor desempenho, nos diferentes horários, mais uma vez, no quadro “projetado”. Esta diferença, encontrada entre as duas alternativas de posicionamento do quadro negro, foi maior no horário das 10h, quando verificou-se, no quadro projetado, cerca de 260 lux a mais do que no quadro existente. Verificou-se, também, que apenas um valor de iluminância média ficou acima de 500 lux, valor normativo para quadros negros, o qual foi encontrado no quadro projetado, no horário das 10h. No quadro existente não foi encontrado nenhum valor de iluminância média

acima de 500 lux.



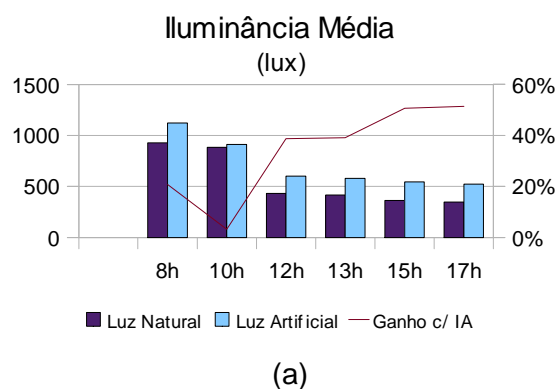
Iluminância Médias do Quadro Negro		
Solstício de Verão		
	Quadro existente	Quadro projetado
8h	285	451
10h	300	563
12h	230	364
13h	231	330
15h	214	313
17h	204	365

* valor iluminância quadro projetado às 8h considerou apenas pontos onde não houve incidência de radiação solar direta

(b)

Figura 52: iluminâncias médias encontradas sobre o quadro negro existente e no local projetado para o quadro negro projetado, no solstício de verão

A análise da iluminância média do ambiente, sem o uso de iluminação artificial, foi comparada ao uso deste recurso (Figura 53), onde se pode perceber um ganho percentual com a utilização de iluminação artificial, de forma crescente no decorrer do dia, com exceção do horário das 10h. Neste horário, houve um ganho de apenas 3%, relativamente à iluminância média natural, que foi medida como sendo de 883 lux, enquanto a iluminância média artificial foi de 911 lux. Nos demais horários, os valores encontrados para os ganhos de iluminâncias artificial foram similares: às 12 e 13h, o ganho foi de 39%; às 15h e 17h, o ganho foi de 51%. No horário das 8h foi identificado um comportamento similar aos encontrados anteriormente, em alguns horários da medição, como o das medições realizadas no solstício de inverno e no equinócio de primavera, com ganho de 21%. Considerou-se que o ganho com iluminação artificial foi considerado significativo, apesar de menos expressivo às 10h. De modo similar ao assinalado anteriormente, aqui também foi verificado que os ganhos com iluminação artificial não foram absolutos devido a forma como medição foi realizada.



Iluminância Média			
Solstício de Verão			
	Luz Natural	Luz Artificial	Ganho c/ IA
8h	929	1122	21%
10h	883	911	3%
12h	432	600	39%
13h	417	580	39%
15h	361	543	51%
17h	346	523	51%

(b)

Figura 53: ganho de iluminância com iluminação artificial no solstício de verão nos diferentes horários

5.2.9 Conclusões medições lumínicas

Portanto, após análise dos dados das medições lumínicas, pôde-se gerar o mapeamento dos níveis de iluminância encontrados nos diferentes horários e diferentes datas de medições, na sala de aula E. A partir deste mapeamento, apresentado na Figura 54, pôde-se verificar que o melhor desempenho da sala de aula, em relação à iluminância interna, foi alcançado na medição realizada no solstício de inverno. E, apesar do baixos níveis de iluminância oferecidos no horário das 8h, neste dia, os demais horários apresentaram desempenho satisfatório.

Assim, conforme mostra o mapeamento apresentado na Figura 54, no horário das 8h, observou-se um melhor desempenho da edificação, nos níveis de iluminância, na medição realizada no solstício de verão, devido à alta luminosidade oferecida na fachada sul. Entretanto, tal luminosidade também ofereceu pontos de ofuscamento, uma vez que se verificou a incidência de radiação solar direta sobre as classes, neste horário. A partir das 10h, a medição realizada no solstício de inverno apresentou os melhores resultados em termos de iluminância interna, comparada às outras medições. Entretanto, analisando as medições de forma separada, através do mesmo mapeamento, pôde-se observar que o melhor desempenho lumínico no inverno ocorreu no turno da tarde.

No equinócio de primavera, o desempenho lumínico interno ocorreu de forma mais homogênea em todos os horários. A partir do equinócio de primavera, no primeiro horário da manhã, verificou-se maior quantidade de luz penetrando no ambiente pela fachada sul, associada à inclinação do sol.

No solstício de verão, tal inclinação do sol torna-se ainda mais acentuada, onde o sol penetra no ambiente já nos primeiros horários da manhã, conforme mostra o mapeamento. A resposta da edificação, no solstício de verão, foi um desempenho lumínico homogêneo, durante todo o dia, com exceção dos horários da manhã, onde houve incidência de radiação solar no plano de trabalho.

Assim, em relação ao desempenho lumínico, da sala de aula E, do ponto de vista do mapeamento dos diferentes níveis de iluminância encontrados, observou-se uma boa resposta ao projeto da edificação. A iluminância se distribuiu de forma homogênea e, tornou-se evidente que, o projeto da fachada norte determina algumas zonas com pouca iluminância, enquanto a fachada sul é responsável por altas iluminâncias no ambiente, nos diferentes períodos do ano.

MEDIÇÕES LUMÍNICAS

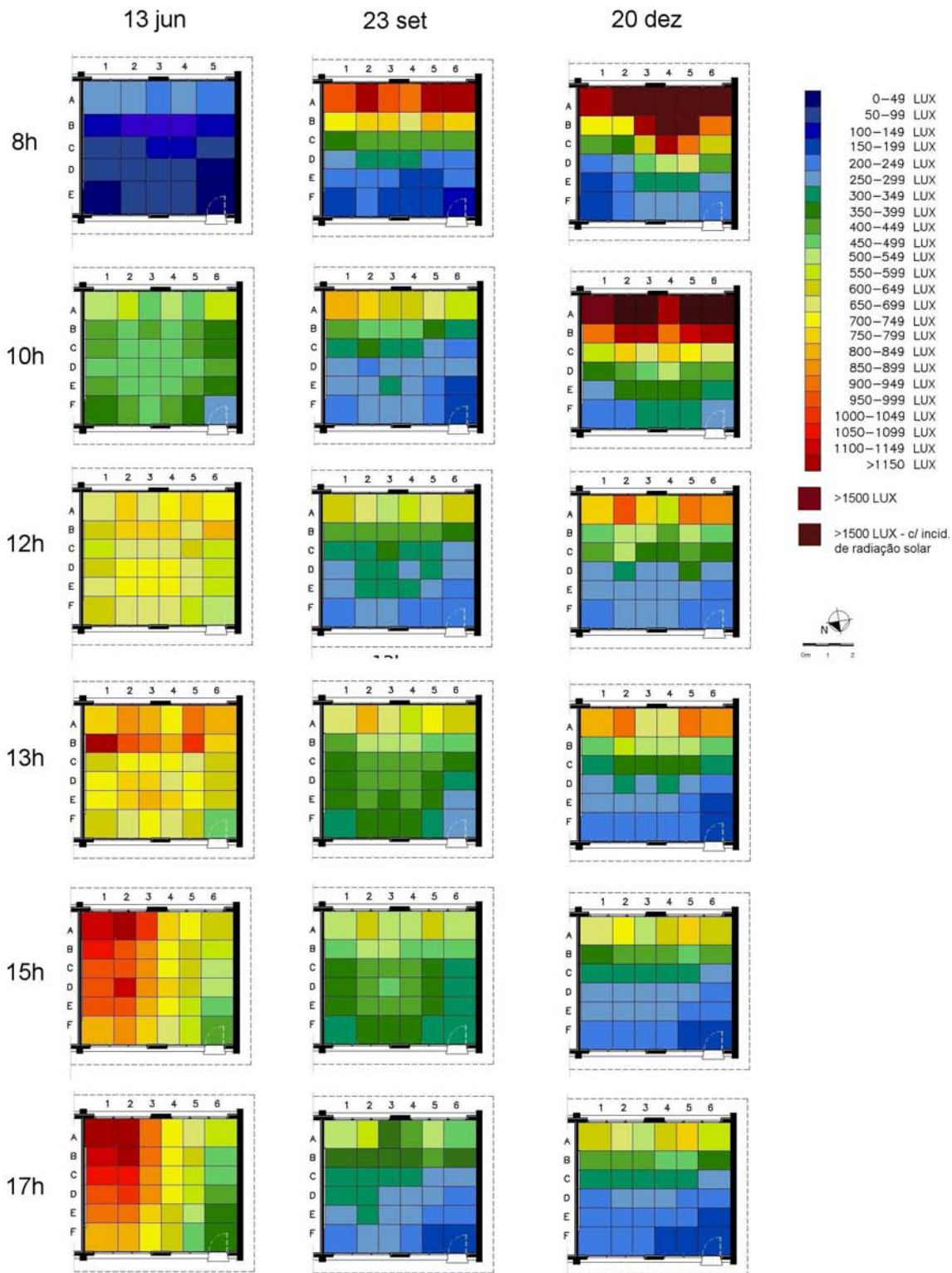


Figura 54: mapeamento das medições lumínicas - solstício de inverno (13/06), equinócio de primavera (23/09) e solstício de verão(20/12), nos diferentes horários

A fim de melhor avaliar os resultados obtidos, gerou-se uma matriz, apresentada na Tabela 25, com dados considerados mais significativos. Nesta tabela buscou-se destacar fatores de relevância na análise lumínica do ambiente analisado. Os dados desta matriz, permitem visualizar que a iluminância média apresentou valores mais adequados nos horários da manhã (8h, 10h), no solstício de verão (20/12), e às 12h e horários da tarde (13h, 15h, e 17h), no solstício de inverno (13/06). No solstício de verão, apesar dos altos valores de iluminância média, encontrados no turno da manhã (8h e 10h), o ambiente não conseguiu apresentar a iluminância mínima recomendada pela ABNT (1992a), 300 lux, em todos os pontos. Às 8h apresentou 31% dos seus pontos abaixo do recomendado e às 10h este percentual caiu para 11%. Analisando todos horários da medição do solstício de verão, também se constatou que, no mesmo, não ocorreu em nenhum período, na totalidade do ambiente, iluminâncias acima de 300 lux. No solstício de inverno, além das iluminâncias médias satisfatórias das 10h às 17h, o percentual de pontos com nível de iluminância abaixo de 300 lux foi nulo. No equinócio de primavera, apesar de não apresentar melhores valores de iluminâncias médias, seu percentual de pontos com iluminância abaixo de 300 lux, foi nulo às 15h, dentro de uma linha de iluminâncias decrescentes, que teve início às 10h (53%). Entretanto, deve se ter presente que a medição realizada no solstício de inverno foi a única, na qual a componente céu estava claro sem nebulosidade, favorecendo os resultados encontrados.

O **coeficiente de uniformidade** não acompanhou o mesmo padrão dos resultados referentes às iluminâncias médias, apresentando melhor desempenho no solstício de inverno. No primeiro horário, 8h, todas as medições mostraram baixos índices de uniformidade. No horário das 10h e 12h, no solstício de inverno, os coeficientes de uniformidade encontrados apresentaram os melhores índices. No horário das 15h, o melhor índice foi encontrado no equinócio de primavera, que também foi encontrado no último horário, 17h.

No **plano do quadro negro**, os maiores níveis de iluminância encontrados foram identificados no solstício de inverno, apesar de não alcançaram o valor recomendado pela ABNT(1992), em todos os horários, mas chegando próximo a eles, devido à posição solar mais baixa que determinou o ingresso de raios solares, iluminando o plano vertical onde o quadro se encontrava no ambiente.

Por fim, concluiu-se que o melhor desempenho lumínico ocorreu, de fato, no solstício de inverno, apesar de as outras medições não terem apresentado resultados críticos. Acredita-se que o ambiente reúna boas condições de iluminância, em vários períodos, não exigindo iluminação artificial em tempo integral, mas apenas em alguns horários. Entre os aspectos que poderiam ser aprimorados, está o desempenho do quadro, que não atingiu as recomendações da norma ABNT (1992a), na maior parte das medições. Há que ser

considerado, todavia, que eventuais avanços de projeto no sentido de melhorar este aspecto não determine uma iluminação excessiva em cima deste equipamento, o que poderia ser fonte de ofuscamento por excessivo contraste.

Tabela 25: matriz com resultados obtidos nas medições lumínicas nos diferentes horários

		Iluminância Média (lux)	Pontos Abaixo de 300 lux	Coefficiente Uniformidade	Iluminância c/ IA (lux)	Iluminância Média Quadro Negro (lux)
13/06/09	8h	126	100%	0,31	-	83
23/09/08		547	42%	0,27	622	223
20/12/08		929	31%	0,20	1.122	285
13/06/09	10h	450	3%	0,64	584	347
23/09/08		373	53%	0,51	510	264
20/12/08		883	11%	0,24	911	300
13/06/09	12h	666	0%	0,76	781	452
23/09/08		374	36%	0,54	563	283
20/12/08		432	44%	0,46	600	230
13/06/09	13h	745	0%	0,67	897	498
23/09/08		452	6%	0,56	540	302
20/12/08		417	44%	0,45	580	231
13/06/09	15h	805	0%	0,53	907	477
23/09/08		431	0%	0,75	596	287
20/12/08		361	53%	0,46	543	214
13/06/09	17h	761	0%	0,46	635	418
23/09/08		325	47%	0,55	498	221
20/12/08		346	53%	0,44	523	204

* 13/06/2008 – medição solstício de inverno (nesta medição os horários foram: 8h, 10h, 12h, 13h30, 15h30, 16h30), mas a fim de simplificar apresentação da planilha foram apresentados todos horários iguais

* 23/09/2008 – medição equinócio de primavera

* 20/12/2008 – medição solstício de verão

5.3 RESULTADOS DAS MEDIÇÕES ACÚSTICAS

As medições acústicas foram realizadas no dia 21 de novembro de 2008, no turno da manhã, em condições de atividades normais da escola, considerando os alunos envolvidos em diferentes atividades. Para as medições de nível de pressão sonora foi utilizado um tempo de integração rápida de 5 min., em função das características sonoras, da finalidade das medições e do tempo disponível para as medidas.

A seguir é apresentado o equipamento utilizado nas medições acústicas, e é apresentada a definição da amostra, onde são apresentados os pontos de medição. O padrão e pontos utilizados para as medições na edificação escolar são apresentados com uma breve descrição dos ruídos ocorrentes no momento da medição.

5.3.1 Equipamento de medição acústica

O equipamento utilizado na medição acústica é um medidor digital de nível de pressão sonora, da marca Brüel & Kjaer (Figura 55), que foi apoiado em tripé à 1,2m de altura. Nesta

medição realizada na escola não foi utilizada nenhuma fonte sonora. Durante a medição buscou-se caracterizar somente o clima sonoro do local, associado às diferentes atividades ocorrentes durante o período de aulas. Além dos dados coletados, como nível de pressão sonora mínimo, máximo, equivalente e L_{10} , posteriormente, construiu-se um gráfico com o percentual de ocorrência dos diferentes níveis de pressão sonora.



Figura 55: decibelímetro utilizado nas medições acústicas

As medições acústicas foram realizadas em um único dia, em nove momentos diferentes, caracterizando diferentes situações de ocupação e atividade. O período de leitura de cada medição foi estabelecido como sendo de 5 minutos e, os dados armazenados pelo equipamento, com exceção do L_{10} , foram ponderados na escala “A”.

Os dados coletados foram posteriormente analisados e cruzados com dados relativos às características físicas, e satisfação dos usuários, a fim de verificar a sua percepção relativamente ao conforto acústico oferecido pela edificação.

5.3.2 Definição da amostra de medição acústica

As medições acústicas foram realizadas visando caracterizar as diferentes atividades ocorrentes dentro do espaço escolar e a possível interferência de aspectos sonoros nas atividades que ocorrem na escola. Os pontos de medição foram locados, buscando identificar locais de interferência do ruído em outras atividades. Neste momento foi importante a opinião dos usuários do ambiente escolar, e que foi verificada no grupo de foco com professores e no questionário aplicado nos alunos, definindo os ruídos perceptíveis capazes de proporcionar incômodo aos usuários. Assim, após identificadas as situações potencialmente críticas, pode-se determinar, de forma mais específica, os pontos utilizados na medição, dos níveis de ruído.

Tabela 26: medições acústicas realizadas no dia 21 de novembro de 2008

Pontos	Horário da Medição	L_{eq_5min}	Descrição	NBR 10152
1	10:13	58 dB(A)	Ruído Externo da Natureza	45 a 55dB(A)
2	11:22	53 dB(A)	Ruído Externo da Natureza	
3	10:59	66 dB(A)	Sala de Aula E – Atividades normais	
4	11:49	46 dB(A)	Sala de Aula E – Educação física	40 a 50dB(A)
5	10:27	53 dB(A)	Sala de Aula E – Recreio	
6	10:51	55 dB(A)	Circulação – Atividades normais	
7	11:43	64 dB(A)	Circulação – Educação física	45 a 55dB(A)
8	10:36	75 dB(A)	Circulação – Início da aula	
9	11:36	64 dB(A)	Quadra de Esportes – Educação física	45 a 55dB(A)

A Tabela 26 mostra as medições realizadas, sua descrição e horário, bem como o nível contínuo equivalente (L_{eq_5min}), associado a cada atividade ou situação, e o nível recomendado pela ABNT(1987) para tais atividades, almejando uma situação de conforto.

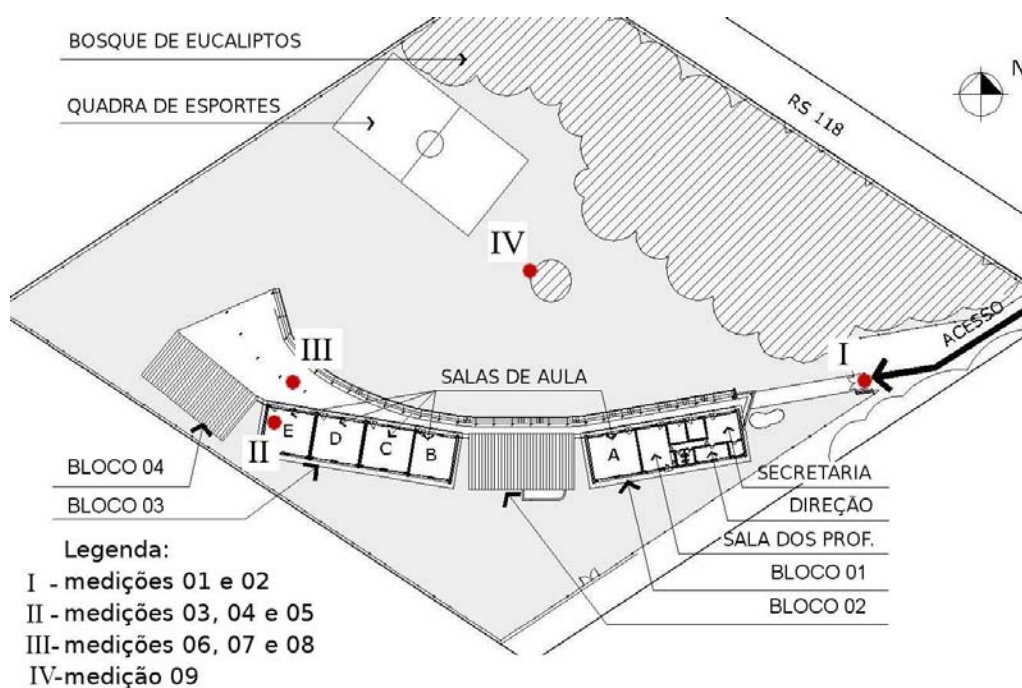


Figura 56: implantação da escola, com localização dos pontos de medição acústica

Assim, os pontos de medição, conforme mostra a Figura 56, agruparam diferentes medições, que ocorreram em diferentes momentos. As medições concentraram-se em quatro pontos distintos. As medições que analisaram os ruídos externos, como ruídos de tráfego e vento, que independem das atividades realizadas na escola, mas estão diretamente ligados a fatores externos, foram realizadas em ponto no exterior da edificação, próximo ao acesso da escola, caracterizado como I, na Figura 56. As medições realizadas no interior da sala de aula (ponto II) e na circulação da escola (ponto III), área aberta e coberta, visaram analisar ruídos provenientes de atividades normais percebidos em sala de

aula durante o período de recreio dos alunos e período de educação física, que acontece na quadra de esportes. E, por último, o ponto, caracterizado como IV, caracterizou-se por sua proximidade à quadra de esportes, e buscou dados de ruídos gerados durante o período de educação física.

As medições 1 e 2, que buscaram caracterizar o ruído externo, de fundo, como tráfego de veículos e vento incidente nas árvores existentes no local, foram realizadas no ponto I.

As medições 03, 04 e 05 foram realizadas na sala de aula E, ponto II, indicado na Figura 56, durante três diferentes períodos de atividades, conforme citados anteriormente. A escolha desta sala de aula para a medição acústica decorreu de sua utilização nas demais medições, uma vez que todas possuem a mesma orientação, e dimensões e superfícies de acabamento semelhantes. Entretanto, o fato de esta sala possuir, na área externa de circulação, uma maior cobertura deste, buscou-se avaliar se também contribuiria para como uma forma de maior geração de ruído no período de recreio, já que este é um espaço sensível, por ser de maior permanência dos alunos. O microfone do equipamento, durante estas medições, foi posicionado no fundo da sala de aula, próximo a porta. O medidor foi posicionado a mais de 1m das paredes internas, conforme recomendado pela NBR (2000), a fim de reduzir o efeito de reflexão pelas mesmas. A medição 03 caracteriza o período de atividades normais da escola, em sala de aula, momento onde deveria ser percebida predominantemente a voz do professor no ambiente e eventualmente alguns ruídos adicionais gerados pelos alunos. A medição 04, realizada durante a aula de educação física, buscou identificar o grau de interferência das atividades realizadas na quadra de esportes, nas atividades dentro da sala de aula. E, a medição 05, também buscou identificar a interferência do ruído externo, porém, gerado no intervalo de aula dos alunos, onde suas atividades recreativas eram liberadas, sem qualquer orientação restritiva por parte de professores. Nas medições 04 e 05, a sala de aula analisada encontrava-se vazia, permitindo identificar o quanto o envelope da sala de aula foi capaz de atenuar o ruído externo.

As medições 06, 07 e 08 foram realizadas no ponto III, indicado na Figura 56, circulação aberta e coberta da escola, posicionando o equipamento a mais de 2m de qualquer superfície refletora, neste caso parede, conforme recomenda a NBR (2000), a fim de reduzir o efeito de reflexão pela mesma. A medição 06 caracteriza um período de atividades normais, no interior da sala de aula, enquanto a medição 07 caracterizou o ruído resultante de atividades de educação física, na quadra de esportes. A medição 08 representou o período de entrada dos alunos na sala de aula, no retorno do intervalo.

Por último, realizou-se a medição 09, que buscou caracterizar o ruído das atividades associadas à aula de educação física, na quadra de esportes, sendo realizada no ponto IV (Figura 56).

5.3.3 Tempo de reverberação

Assim, também foi realizada uma análise do tempo de reverberação das salas de aula em estudo, buscando além de caracterizar fisicamente o espaço em relação ao desempenho acústico oferecido, buscar dados adicionais que pudessem posteriormente, ser cruzados com os resultados das medições acústicas.

A análise do tempo de reverberação oferecido pelas salas de aula foi realizada, segundo mostra a Tabela 27, utilizando coeficientes de absorção encontrados na bibliografia (BISTAFA, 2006), para as diferentes frequências (125Hz, 500Hz e 2000Hz), e, considerando as diferentes áreas e características dos materiais encontrados nos ambientes. Assim, através do produto do coeficiente de absorção pela área de superfície dos materiais expostos no ambiente, pôde-se encontrar os valores apresentados na Tabela 28. Os valores apresentados, na coluna classificada como absorção, representam, assim, o somatório do produto da área das superfícies pelo seu coeficiente de absorção. Estes valores foram utilizados para, através da fórmula de Sabine, apresentada pela NBR(1992b), gerar o tempo de reverberação dos ambientes em análise. Posteriormente, pôde-se, através do tempo de reverberação das salas de aula em análise, constatar que este apresentou valor acima do ideal, em todas frequências analisadas.

Tabela 27: materiais e seus coeficientes de absorção para diferentes frequências (fonte: Bistafa, 2006, p.236)

Sala B e E

Material	Área (m ²)	coeficiente absorção		
		125Hz	500Hz	2000Hz
Reboco	63,68	0,02	0,04	0,04
Pedra Granítica	40,72	0,36	0,31	0,39
Vidro Comum montado em caixilho	15,04	0,35	0,18	0,07
Porta de Madeira Comum	2,20	0,24	0,14	0,13
Piso Cerâmico	49,83	0,02	0,03	0,05
Forro Madeira Pintado	52,00	0,10	0,05	0,03
Carteira Escolar Ocupada	30	0,18	0,28	0,37
Ar (4 x V)	864	-	-	0,002

Sala C e D

Material	Área (m ²)	coeficiente absorção		
		125Hz	500Hz	2000Hz
Reboco	92,38	0,02	0,04	0,04
Pedra Granítica	12,02	0,36	0,31	0,39
Vidro Comum montado em caixilho	15,04	0,35	0,18	0,07
Porta de Madeira Comum	2,20	0,24	0,14	0,13
Piso Cerâmico	49,83	0,02	0,03	0,05
Forro Madeira Pintado	52,00	0,10	0,05	0,03
Carteira Escolar Ocupada	30	0,18	0,28	0,37
Ar (4 x V)	872	-	-	0,002

Outro ponto, que deve ser considerado nos cálculos é a presença de usuários no interior do ambiente. Nas tabelas apresentadas, considerou-se a presença de 30 alunos, apesar deste número não ocorrer em todas as salas. Tal fato proporciona um aumento considerável na absorção de sons do ambiente. Assim, é correto afirmar que as salas de aula em análise,

sem a presença de alunos, determinam, sem dúvida, um aumento sensível na reverberação do som.

Tabela 28: tempo de reverberação para salas de aula - considerando diferentes freqüências (125Hz, 500Hz e 2000Hz)

	Absorção	Vol (m ³)	Tempo de Reverberação (s)
Sala B e E			
125Hz	33,32	216	1,04
500Hz	30,68	216	1,13
2000 Hz	36,65	216	0,95
Sala C e D			
125Hz	23,56	218	1,49
500Hz	22,93	218	1,53
2000 Hz	26,60	218	1,32

Sendo o tempo de reverberação ideal para salas de aula, considerando a freqüência de 500Hz, em torno de 0,6s conforme NBR (1992b) para que se compreenda com nitidez a palavra falada, o tempo de reverberação ficou bem acima do desejável. Apesar disso, sabe-se da imprecisão que os coeficientes de absorção utilizados podem gerar, uma vez que não se apresentam de forma muito esclarecedora, quanto às efetivas características dos materiais que representam.

A partir dos materiais empregados nas superfícies internas dos ambientes analisados, salas de aula (B, C, D e E), fez-se a estimativa da área total de absorção do ambiente considerando duas situações: janelas abertas e fechadas. Através da fórmula de Sabine, obteve-se os diferentes tempos de reverberação, considerando as duas situações, em diferentes freqüências. Neste caso, tomou-se como referência as freqüências propostas pela NBR 12179 (ABNT, 1992b), e os respectivos tempos de reverberação indicados, associado ao volume do ambiente. Assim, na freqüência 500Hz, a ABNT(1992b) recomenda para ambientes com volume de até 200m³, um tempo de reverberação de 0,6s. Conforme mostra a Tabela 29, o tempo de reverberação das salas de aula, na freqüência 500Hz, ficou acima do recomendado, nas duas situações - janelas abertas, e janelas fechadas - em todas as salas de aula, mesmos considerando uma tolerância de 10%, permitida por norma.

Nas demais freqüências analisadas, 125 Hz e 2.000Hz, o tempo ideal de reverberação foi estimado, conforme indicado por Bistafa (2005). Em 125Hz, o tempo de reverberação recomendado foi de aproximadamente 150% daquele em 500Hz, e em 2.000Hz, 95% daquele em 500Hz. Assim, na freqüência 125Hz, tendo por referência as recomendações da norma ABNT (1992b), as salas B e E atingiriam o tempo considerado como tempo de reverberação desejável, na condição, janelas abertas, mesmo considerando 10% de tolerância acima do tempo de reverberação ótimo.. Na mesma freqüência, as salas C e D não atingiriam o tempo de reverberação ideal, indicado pela ABNT (1992b).

Tabela 29: tempos de reverberação das salas de aula - recomendado pela ABNT (1992b)

Tempo de Reverberação (s)		125Hz	500Hz	2000Hz
estimado				
Sala B e E	janelas fechadas	1,04	1,13	0,85
	janelas abertas	0,81	0,81	0,63
Sala C e D	janelas fechadas	1,49	1,53	1,14
	janelas abertas	1,05	1,00	0,78
recomendado				
NBR 12179 (ABNT, 1992b)		0,9	0,6	0,57

Por último, analisando a frequência de 2.000Hz, as salas de aula B e E, atingiriam o tempo de reverberação, indicado pela ABNT (1992b), na condição de janelas abertas, enquanto as salas C e D, teriam o seu tempo de reverberação, nesta frequência, na condição de janelas abertas, um pouco acima do indicado pela ABNT (1992b), conforme mostra a Tabela 29. Assim, o tempo de reverberação das salas de aula, na condição de janelas fechadas, mostrou-se bem longe do ideal. Na condição de janelas abertas, conseguiu-se, em algumas salas analisadas, atingir-se o tempo de reverberação apresentado pela NBR 12.179 (ABNT, 1992b), nas diferentes frequências. Constatou-se, com a análise realizada, que pode existir um efeito “sombreado” na fala, no interior dos ambientes salas de aula analisadas, devido à baixa absorvidade das superfícies, em algumas condições especiais, como a de sala com janelas totalmente fechadas e com poucos usuários no seu interior.

5.3.4 Medição do ruído externo

As medições nomeadas no estudo como 01 e 02, foram realizadas às 10h13min e 11h22min, respectivamente, cada uma com duração de 5 minutos, e buscou a caracterização do ruído de tráfego no local.

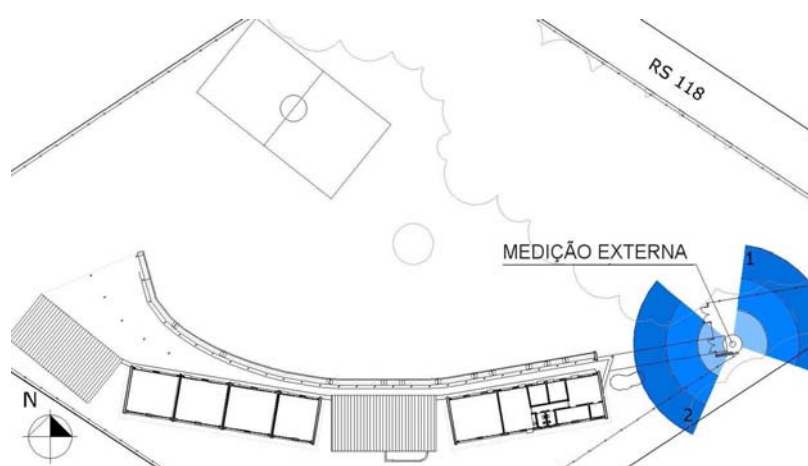


Figura 57: localização do equipamento nas medições 01 e 02

Devido às condições do entorno da escola, que está situada em zona rural, o ruído de maior intensidade detectado no momento da medição correspondeu, apenas, ao ruído de vento nas folhas das árvores (bosque de eucaliptos, localizado à leste da escola). A Figura 57

mostra o local de medição do ruído externo, onde o equipamento estava situado, a 19m da edificação e a 38m do eixo da rodovia voltado, na medição 01 para rodovia e na medição 02 para edificação escolar.

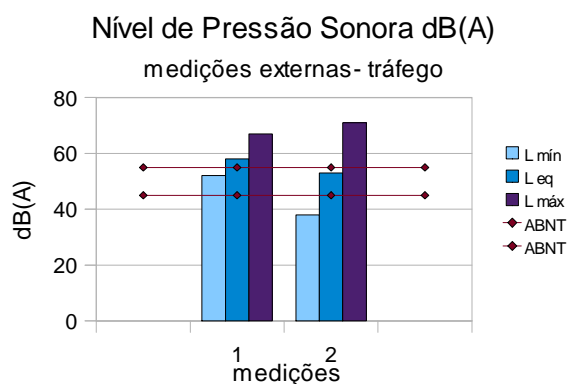


Figura 58: nível de pressão sonora, nas medições externas - tráfego



Figura 59: medidor do nível de pressão sonora, no momento das medições externas - tráfego

Conforme apresentado na Figura 58, verifica-se que o nível de pressão sonora, na medição 01, ficou acima dos valores estabelecidos pela ABNT(1987), tendo como referência, tanto o nível sonoro para conforto, como o nível sonoro aceitável para área de circulação em escolas. Entretanto, na medição 02, o mesmo ficou acima do valor considerado como nível sonoro de conforto, mas abaixo do nível sonoro aceitável, mostrando um resultado mais satisfatório. Apesar dos resultados relativamente elevados encontrados, constatou-se, no momento da medição, que o ruído existente no local é oriundo da natureza, como do canto de pássaros e ruído de vento nas árvores. Entende-se que seria necessário uma avaliação mais detalhada das diferentes freqüências, e de seus níveis de pressão sonora, presentes nestes ruídos (análise espectral), assim como verificar se esta é geradora de incômodo aos usuários.

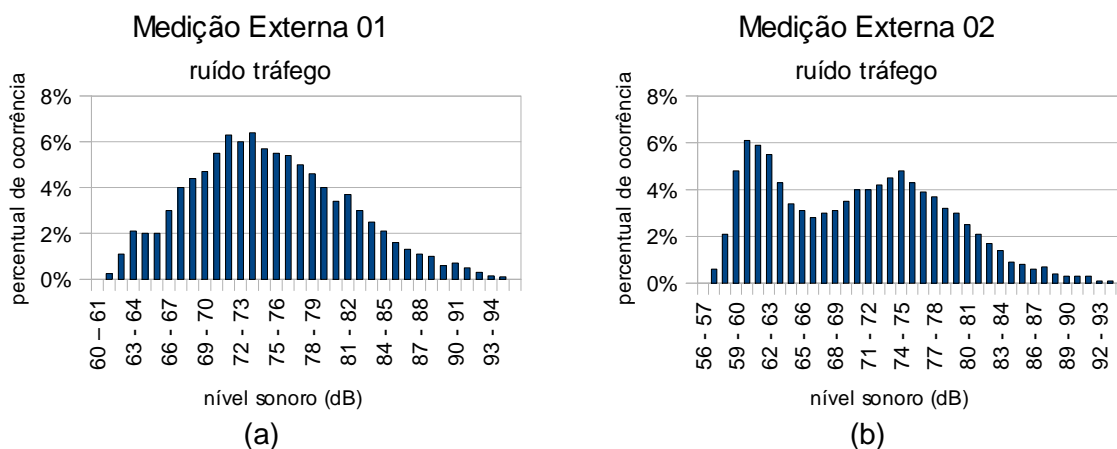


Figura 60: distribuição de ocorrência dos níveis de pressão sonora nas medições 01 e 02

As análises de distribuição de freqüências (em dB) apresentadas na Figura 60, permitem entender a contribuição das diferentes freqüências compondo o nível sonoro. Percebe-se que na medição 01, o intervalo de maior ocorrência de freqüências se situou entre 70dB e

Avaliação de Conforto Térmico, Acústico e Luminico de Edificação Escolar com Estratégias Sustentáveis e Bioclimáticas: o caso da Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacifico

77dB, apesar de o L_{10} , que caracteriza o ruído de atividade, que é ultrapassado em 10% do tempo, ter apresentado 83dB. Na medição 02, apesar de o L_{10} encontrado, 81dB, pode-se perceber pelo gráfico que a maior ocorrência de valores medidos se estabelece entre 59dB e 63dB, decrescendo para níveis sonoros mais elevados, mas volta novamente a ter sua frequência aumentada entre 73 e 75dB. Considerando as duas medições obteve-se uma amplitude de valores de níveis sonoros variando de 57dB a 95dB.

Apesar dos altos valores de nível de pressão sonora encontrados, pode-se constatar que os mesmos não são percebidos de forma tão intensa na circulação aberta da edificação, a qual além de ser protegida dos ruídos por sua cobertura, encontra-se afastada da mata de eucaliptos, existente no local, fonte dos ruídos mencionados.

5.3.5 Medição na sala de aula

As medições 03, 04 e 05 foram realizadas na sala de aula E, buscando associar níveis de ruídos a diferentes atividades.

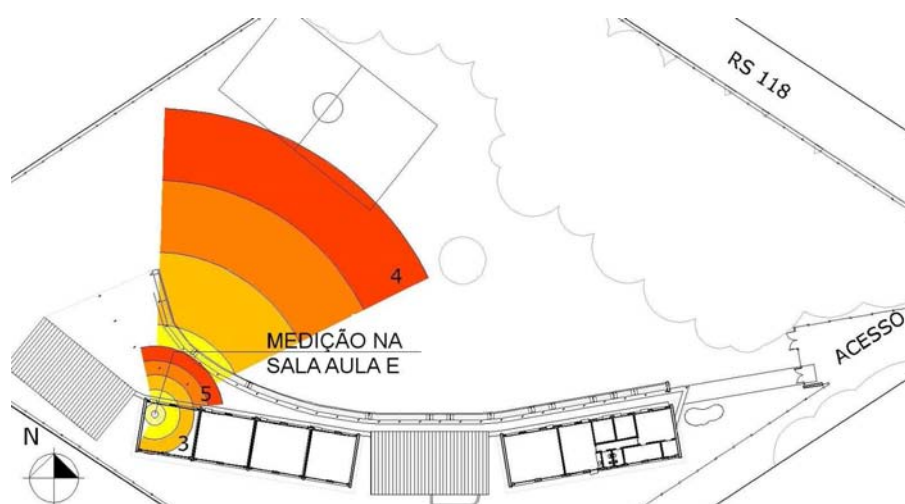


Figura 61: localização do equipamento nas medições 03, 04 e 05

A Figura 61 mostra o local de medição do ruído na sala de aula, onde o equipamento está situado a 1,5m das paredes do vértice noroeste da sala de aula E, voltado na medição 03, para o centro da sala de aula e, nas medições 04 e 05, para a porta da sala de aula, em direção à área externa (circulação coberta e quadra de esportes).

A medição 03, realizada às 10h59, conforme indicado na Figura 61, caracterizou um período de atividades normais, em sala de aula, momento onde se fazia presente, unicamente, a voz do professor. Assim, através do gráfico apresentado na Figura 62, pode-se observar que apenas o nível mínimo ficou abaixo do nível sonoro proposto pela ABNT(1987), estando o nível equivalente e o nível máximo acima dos níveis sonoros estabelecidos. Cabe lembrar que esta medição inclui a voz do professor, elemento que, no caso, não deve ser considerado como constituindo ruído. Considerando a voz humana normal, sem esforço adicional, sabe-se que esta normalmente está associada a um nível sonoro de 65dB(A).

Conclui-se, assim, que o nível equivalente de 66dB(A), encontrado nesta medição, é característico de um ambiente de sala de aula, onde a voz do professor deve ser compreendida e ouvida por todos os alunos. Deve ser lembrado que uma sala de aula, em uma escola, não é um local de silêncio absoluto, e ruído de fundo é inevitável e desejável para realização de atividades escolares. Assim o que se buscou analisar foi o quanto este ruído de fundo poderia estar interferindo na inteligibilidade da voz do professor.

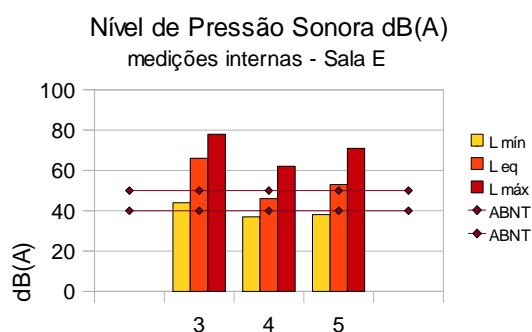


Figura 62: níveis de pressão sonora, nas medições internas – sala E



Figura 63: medidor de nível de pressão sonora, no momento das medições internas – sala de aula E

Através do gráfico apresentado na Figura 64(a), pode-se, também, verificar que os níveis sonoros se concentraram na faixa entre 66dB e 70dB, variando, no período, de 58dB a 84dB, e apresentando um L_{10} , associado à atividade, de 73dB.

A medição 04 foi realizada às 11h49min, na posição indicada na Figura 61, buscando caracterizar a interferência do ruído oriundo da aula de educação física, na quadra de esportes, no interior da sala de aula E. Deve se destacar que neste instante, assim como na medição 05, a sala de aula, onde estava instalado o medidor de nível de pressão sonora estava desocupada, contando apenas com a presença da equipe que realizava as medições. Esta medição, conforme gráfico apresentado na Figura 62, apresentou nível equivalente inferior ao referido pela ABNT(1987), de 50dB(A). Assim, esta medição, a partir destes resultados, comprovou bom desempenho do envelope da sala de aula E, quando exposta aos ruídos externos, oriundos da aula de educação física, que era ministrada na quadra de esportes. A partir do gráfico apresentado na Figura 64 (b), pode-se visualizar uma forte concentração dos níveis sonoros entre 55dB a 60dB, apesar de estes terem ocorrido em uma faixa de variação de 51dB a 81dB. O L_{10} encontrado para este período de medição foi de 62dB, mostrando também, através deste valor, uma boa condição de conforto, frente a tais ruídos, no interior da sala de aula.

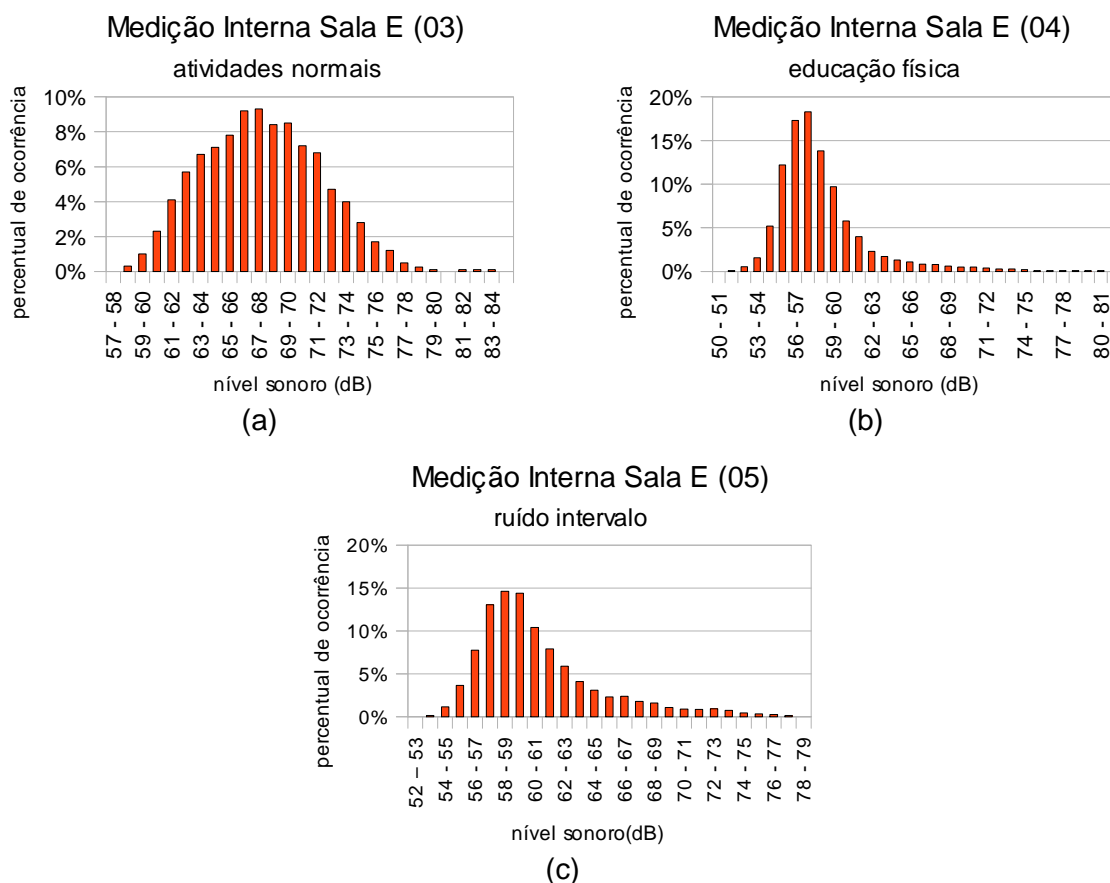


Figura 64: distribuição de ocorrência dos níveis de pressão sonora nas medições 03, 04 e 05

A medição 05, realizada às 10h27min, conforme indicado na Figura 61, buscou caracterizar o ruído gerado durante o intervalo de recreio dos alunos, onde eles foram deixados à vontade para realizarem atividades externas à sala de aula, sem qualquer restrição ou orientação por parte dos professores. O nível equivalente encontrado foi de 53dB(A), estando este apenas 3dB(A) acima do nível considerado aceitável, enquanto o nível mínimo ficou dentro dos limites de conforto e o nível máximo, acima do nível aceitável. Apesar de o nível equivalente ter se apresentado acima do nível recomendado por Norma, considera-se que esta situação de recreio, com alunos gerando ruídos de diversas naturezas, não é tão comum, no dia-a-dia da escola, durante o período de atividades nas salas de aula. Em relação ao L_{10} , nesta medição, foi encontrado o valor de 68dB, onde os níveis sonoros variaram de 53dB a 78dB, com maior ocorrência entre 57dB e 61dB, conforme mostra gráfico (c) na Figura 64.

5.3.6 Medição na circulação

As medições 06, 07 e 08 foram realizadas na circulação coberta, aberta, da edificação, também buscando caracterizar o nível de ruído gerado pelas diferentes atividades. A Figura 65 mostra o local de medição do ruído na circulação, onde o equipamento estava situado a 4m da parede externa na circulação coberta, voltado, na medição 06, para o interior da sala

de aula (porta de acesso). Na medição 07, o equipamento localizado no mesmo ponto, foi voltado para quadra de esportes, disposta no pátio da escola e, na medição 08, o mesmo foi voltado para a área de circulação coberta (direção nordeste).



Figura 65: localização do equipamento nas medições 06, 07 e 08

A medição 06 foi realizada às 10h51min, durante o período de atividades normais no interior das salas de aula. Assim, através do gráfico apresentado na Figura 66, pode-se verificar, que, nesta medição, o nível equivalente encontrado ficou no limite do nível aceitável de 55dB(A), mostrando que as atividades normais de sala de aula pouco afetam, em termos de ruído, a área de circulação da escola.

Comparando este com os níveis sonoros encontrados durante a medição, conforme apresenta gráfico (a), da Figura 68, o L_{10} encontrado apresentou valor de 72dB, 1dB abaixo do L_{10} encontrado na medição das atividades normais, realizadas dentro da sala de aula (medição 03). Entretanto, neste último caso, seus níveis sonoros variaram de 59dB a 84dB, com uma maior ocorrência entre 62dB e 68dB.

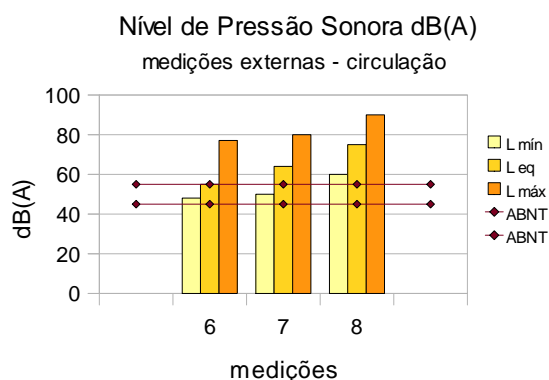


Figura 66: nível de pressão sonora, nas medições externas – circulação



Figura 67: medidor de nível de pressão sonora, no momento das medições externas - circulação

A medição 07 foi realizada às 11h43min, em período de aula de educação física, na quadra de esportes, estando o equipamento, conforme mostra a Figura 65, localizado, durante a medição, na área de circulação da escola. O nível equivalente encontrado na medição se apresentou acima do limite aceitável pela ABNT(1987), de 55db(A), mostrando que apesar

da distância, a ausência de barreiras físicas no local, proporciona um alto nível de ruído na circulação, nos períodos em que são realizadas atividades esportivas na quadra de esportes. O L_{10} correspondente apresentou valor de 80dB, e seus níveis sonoros variaram de 58dB a 95dB, amplitude um pouco acima da mencionada na medição 06. Entretanto, foi constatada uma maior ocorrência de níveis sonoros entre 63dB e 73dB, conforme mostra o gráfico (b), na Figura 68.

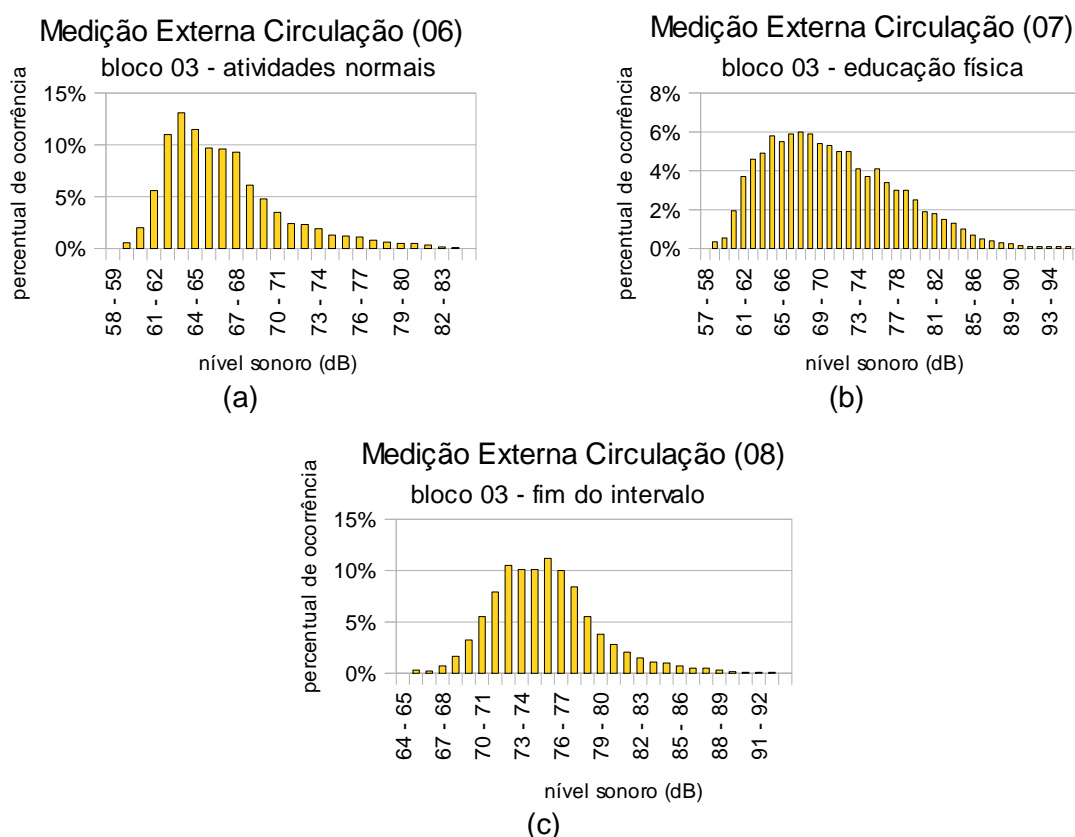


Figura 68: distribuição de ocorrência dos níveis de pressão sonora, nas medições 06, 07 e 08

A medição 08 caracterizou o nível de ruído gerado durante o período de intervalo dos alunos, tendo sido esta medição realizada às 10h36min, no ponto indicado na Figura 65. É importante destacar que, neste horário, os alunos permaneceram na circulação da edificação. Assim, o nível equivalente encontrado ficou bem acima do valor normativo aceitável. Entretanto, assim como na medição 03, neste momento se buscou, através da medição, a caracterização do ruído gerado pelo intervalo e não a atenuação proporcionada por algum elemento da edificação. O ruído de intervalo foi gerado na própria circulação da edificação, através da presença dos alunos, sem orientação ou intervenção do professor. Como esperado, esta medição foi a que gerou maior valor para nível equivalente, ficando este em 75dB(A).

Na avaliação da distribuição de freqüências dos diferentes níveis sonoros, encontrou-se uma variação de 65dB a 93dB, que são valores altos, em comparação com os obtidos nas demais medições. A maior ocorrência foi verificada entre 71dB e 78dB, sendo que o L_{10}

apresentou valor de 80dB, igual ao da medição 07, que avaliou o ruído gerado pelas atividades de educação física, conforme mostra o gráfico (c), na Figura 68.

5.3.7 Medição na quadra de esportes

A medição 09 buscou caracterizar o ruído gerado pelas atividades de educação física na quadra de esportes. O equipamento foi localizado, conforme indica a Figura 69, no pátio da escola, a 13m da quadra de esportes e voltado para a mesma.

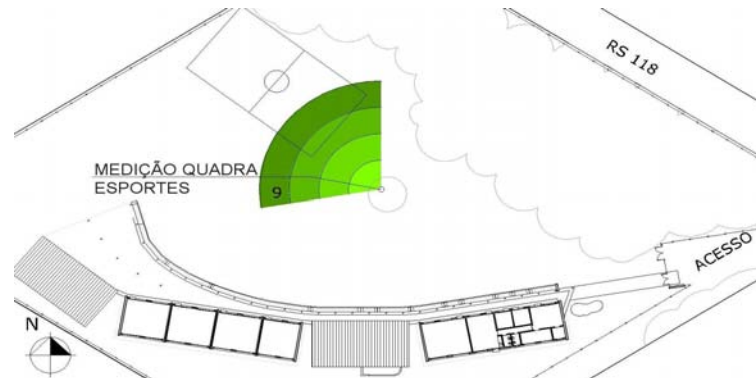


Figura 69: localização equipamento na medição 09

Esta última medição foi realizada às 11h36min e buscou registrar apenas o ruído resultante da atividade esportiva, em área próxima. Seu nível equivalente ficou em 64dB(A), Figura 70, e apesar de estar acima do valor recomendado pela ABNT(1987), de 55dB, considerando-se a inexistência de barreiras físicas e a proximidade do ponto de medição à quadra de esportes, geradora do ruído, concluiu-se que o nível encontrado não foi demasiado elevado. O L_{10} encontrado nesta medição ficou em 69dB, com níveis sonoros variando de 55dB a 83dB, e maior ocorrência, conforme verificável através do gráfico de barras, no intervalo entre os níveis de 59dB e 66dB. Comparando com os valores encontrados nas demais medições, conforme mostra o gráfico apresentado na Figura 71, observou-se que este foi o L_{10} mais baixo, depois daquele correspondente à medição na sala de aula, no período de recreio.

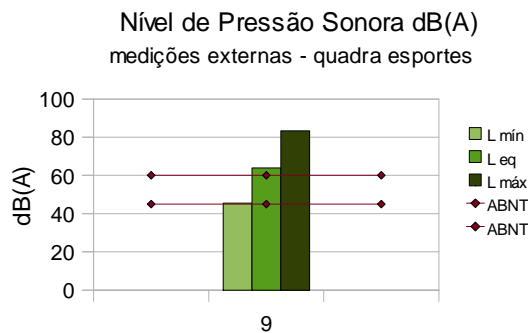


Figura 70: nível de pressão sonora, na medição quadra de esportes

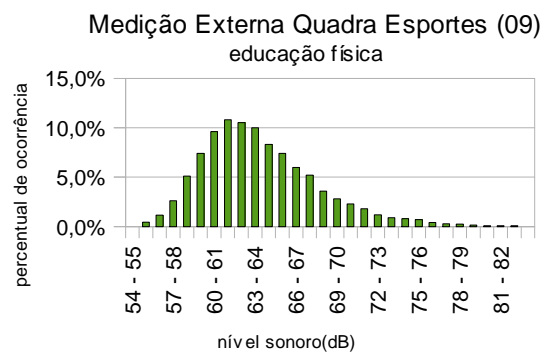


Figura 71: distribuição de ocorrência dos níveis de pressão sonora, na medição 09

5.3.8 Conclusões da medições acústicas

Através de uma análise dos valores encontrados para os níveis equivalentes, em cada atividade e ponto de medição, procurou-se uma relação entre estes e o tipo de construção existente. Assim, conforme dados apresentados na Tabela 30, pode-se chegar a algumas conclusões.

Tabela 30: resultados dos níveis equivalentes de medições acústicas, agrupadas por tipo de ruído

Ruído Tráfego			
1	10:13	58dB(A)	Ruído Externo
2	11:22	53dB(A)	Ruído Externo
Atividades Normais			
3	10:59	66 dB(A)	Sala de Aula E
6	10:51	55 dB(A)	Circulação
Intervalo			
5	10:27	53 dB(A)	Sala de Aula E
8	10:36	75 dB(A)	Circulação
Educação Física			
4	11:49	46 dB(A)	Sala de Aula E
7	11:43	64 dB(A)	Circulação
9	11:36	64 dB(A)	Quadra de Esportes

O ruído de tráfego, da medição 01, apresentou nível equivalente acima do nível equivalente encontrado na medição 06, onde se procurou o ruído de fundo a partir da circulação, no momento em que a sala de aula estava em atividades normais. Desta forma, verificou-se que o ruído de tráfego, que, na verdade, constatou apenas outros ruídos, que não o de veículos, propriamente, sofreu uma atenuação ao alcançar a área de circulação da escola, junto às salas de aula. Apesar disso, a medição 02, também de ruído de tráfego, encontrou nível equivalente inferior ao da medição 01, mostrando que tal ruído não é constante e foi proporcionado, em boa parte, devido ao vento ocorrente no local, no dia da medição. Não se pode concluir de quanto é esta redução, uma vez que medição 06, estava-se também, medindo o ruído oriundo da sala de aula, e as medições 01 e 02 mostraram diferentes valores.

Na medição 03, procurou-se uma caracterização do nível sonoro associado à voz do professor, enquanto em sala de aula. Verificou-se ter alcançado um nível equivalente de 66dB(A). Através da medição na área de circulação 06, buscou-se identificar se ocorreria interferência deste ruído originário da sala de aula, sobre a área de circulação da escola. Verificou-se a ocorrência de um nível equivalente de 55dB(A), aproximadamente 11dB(A) abaixo do ruído encontrado no interior da sala de aula.

Nas medições realizadas durante o intervalo de aula dos alunos, obteve-se na medição 08, feita na circulação, próximo ao grupo de alunos geradores de ruído, um nível de pressão sonora de 75dB(A), valor mais alto dentre todos os valores registrados durante as medições acústicas. Na medição 05, realizada no interior da sala de aula E, foi registrado o valor de 53dB(A). Assim, comparando os dois valores, observa-se uma diferença de

aproximadamente 22dB(A), na condição esquadrias fechadas, o que dá uma indicação sobre a perda de transmissão sonora determinada pelo envelope da edificação, entre a sala de aula e circulação.

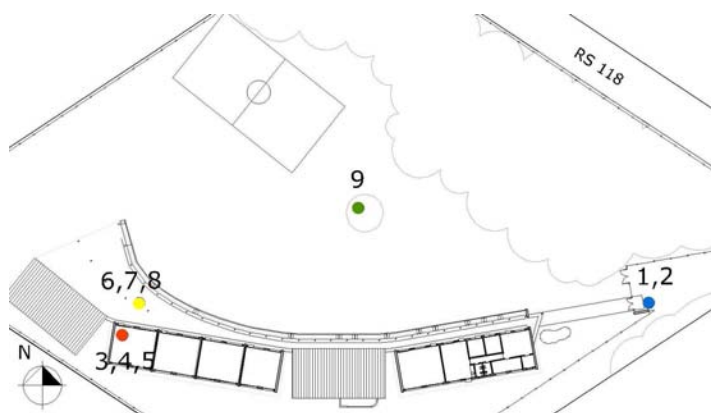


Figura 72: localização do equipamento nas medições acústicas

Por último, o ruído oriundo da quadra de esportes, que na medição 09 foi registrado perto da fonte, com nível equivalente de 64dB(A). Na medição 07, o ruído gerado pela mesma fonte foi observado na área de circulação da escola, e pode-se observar que o nível de pressão sonora indicou o mesmo valor. Na medição 04, realizada no interior da sala de aula, pôde-se observar um nível equivalente de 46dB(A), mostrando uma diferença de aproximadamente 18dB(A), entre os pontos de medição interna e externa.





















E, o tempo de reverberação conforme apresentado no item 5.3.3(Tempo de reverberação) mostrou que as salas de aula, na sua maioria, são pouco absorventes acusticamente, proporcionando, na condição janelas fechadas, um 'efeito sombreado' da voz, nas diferentes freqüências analisadas.

5.4 SATISFAÇÃO DOS USUÁRIOS

A satisfação dos usuários é analisada neste item, considerando os resultados obtidos a partir da aplicação de questionário fechado nos alunos, e do grupo de foco, realizado com os professores da escola.

5.4.1 Questionário definitivo

O questionário definitivo foi aplicado nos dias 23 de setembro, turno da tarde, e 9 de outubro, turno da manhã. No turno da manhã, os alunos, do 5º ao 9º ano, possuíam idade de 10 a 18 anos, enquanto no turno da tarde, 2º ao 4º ano, de 7 a 9 anos.

 NÍVEL DE SATISFAÇÃO DOS ALUNOS DA ESCOLA DE ENSINO FUNDAMENTAL FREI PACÍFICO 										
Identificação										
Nome:	Sexo: () Feminino () Masculino									
Idade:	Turma:									
Data:	Turno: () Manhã () Tarde									
Questionário										
1. Em geral, você acha que sua escola é:	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>BOM</td> <td>REGULAR</td> <td>RUIM</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	BOM	REGULAR	RUIM				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BOM	REGULAR	RUIM								
										
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
2. Em geral, você acha que sua sala é:	<table style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>BOM</td> <td>REGULAR</td> <td>RUIM</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> <td><input type="checkbox"/></td> </tr> </table>	BOM	REGULAR	RUIM				<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
BOM	REGULAR	RUIM								
										
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>								
Por que?										
3. No inverno, sua sala é:	<input type="checkbox"/> quentinha <input type="checkbox"/> nem quentinha, nem fria <input type="checkbox"/> fria									
4. No verão, sua sala é:	<input type="checkbox"/> fresquinha <input type="checkbox"/> nem fresquinha, nem quente <input type="checkbox"/> quente									
5. O vento que entra pela janela é:	<input type="checkbox"/> não incomoda <input type="checkbox"/> as vezes incomoda <input type="checkbox"/> incomoda									
6. Em relação à sua mesa, o sol que entra pela janela:	<input type="checkbox"/> não atrapalha <input type="checkbox"/> as vezes atrapalha <input type="checkbox"/> atrapalha									
7. Em relação ao quadro negro, o sol que entra pela janela:	<input type="checkbox"/> não atrapalha <input type="checkbox"/> as vezes atrapalha <input type="checkbox"/> atrapalha									
8. Sem ligar as lâmpadas, em dias de sol, você acha que a iluminação da sua sala é:	<input type="checkbox"/> boa <input type="checkbox"/> nem boa, nem ruim <input type="checkbox"/> ruim									
9. Ligando as lâmpadas, você acha que a iluminação da sua sala é:	<input type="checkbox"/> boa <input type="checkbox"/> nem boa, nem ruim <input type="checkbox"/> ruim									
10. Existem barulhos externos à sala de aula que atrapalham a aula?	<input type="checkbox"/> sim <input type="checkbox"/> não									
11. Esses barulhos vêm:	<input type="checkbox"/> Da rua (carros, ônibus,...) <input type="checkbox"/> de outras salas <input type="checkbox"/> do corredor <input type="checkbox"/> da quadra de esportes									

MUITO OBRIGADO POR SUA COLABORAÇÃO!

Figura 73: questionário definitivo aplicado nos alunos da edificação escolar, nos turnos da manhã e tarde

O questionário definitivo foi constituído de 11 perguntas fechadas, com uma sub-questão aberta (Figura 73), que não foi respondida por número significativo de alunos, que de alguma forma contribuisse para os objetivos da pesquisa. O questionário se dividiu, de forma bem clara, em quatro partes. A primeira tratou do conforto da escola e da sala de aula, de forma geral; na segunda parte, foi questionado o conforto térmico da sala de aula; na terceira parte tratou o conforto lumínico da sala de aula; enquanto na quarta e última

parte do questionário os alunos foram questionados a respeito do conforto acústico da sala de aula.

O questionário definitivo foi formulado com questões fechadas, uma vez que questões abertas, utilizadas no questionário piloto, ocasionaram dificuldade na tabulação do dados, e, em algumas questões, obteve-se respostas dispersas em relação ao assunto investigado. As perguntas também foram elaboradas de forma a proporcionar resultados em uma escala de 1 a 3 (com exceção da questão 11), para que, posteriormente, pudesse facilitar a geração de gráficos para uma análise quantitativa da amostra.

Os questionários foram aplicados nos alunos pela pesquisadora, que contou com ajuda de uma aluna da graduação da engenharia civil. Assim, os questionários foram aplicados nos alunos do turno da tarde de forma individual, onde o entrevistador leu questões, uma a uma, para alunos menores, de 7 a 9 anos, e o próprio entrevistador marcou as respostas, conforme a opção feita pelos alunos entrevistados. Nos que concerne aos alunos do turno da manhã, apesar de o entrevistador ler todas as questões, as respostas foram marcadas pelos próprios alunos, que acompanharam a leitura das questões, a fim de evitar qualquer desentendimento em relação às perguntas.

Por fim, o questionário definitivo teve duas respostas tabuladas, separadas por turmas e turnos, possibilitando, assim, investigar algum resultado específico associado a alguma turma ou idade. De forma mais geral, o questionário possibilitaria, posteriormente, gerar resultados, respostas associadas à edificação e às salas de aula, em termos de conforto de todos os usuários, como também, de modo a possibilitar a avaliar o conforto ambiental proporcionado em diferentes turnos.

5.4.2 Definição da amostra

Pretendia-se, no início do estudo, que a amostra fosse composta por duas salas de aula, e incluindo aproximadamente, 60 alunos de um total de 165 alunos. As salas de aula investigadas estão localizadas nas extremidades do prédio, com diferentes orientações solares, buscando identificar diferenças significativas dos resultados, térmicos e lumínicos, pois, segundo Ornstein e Romero (1992, p.83): “[...] o pesquisador deve definir os extratos diferenciados de salas de aula encontradas, em função da localização em planta e orientação solar destes espaços”. Ainda, segundo os autores, a sala de aula a ser escolhida deve, prioritariamente, estar voltada para exterior, e ou ser localizada nas extremidades da edificação, apresentando orientação solar distinta nas suas fachadas.

Verificou-se que estas salas, dispostas nas extremidades, eram utilizadas, no período da tarde, por alunos de 1º e 2º ano, de 6 a 8 anos de idade, considerados muito jovens para responder ao questionário. Buscou-se, diante deste fato, dados de alunos de outras salas de aula, a fim de obter uma amostra mais confiável. Assim, uma nova amostra foi definida,

levando em consideração a idade dos alunos. Esta resultou composta por alunos de 5º a 9º ano (10 a 18 anos), no turno da manhã, e de 2º a 4º ano (7 a 9 anos), no turno da tarde. Os alunos do 1º ano, de 5 a 6 anos, foram desconsiderados da amostra, presumindo que os mesmos poderiam não possuir uma idéia formada sobre as questões analisadas.

Assim, também, buscou-se uma mescla de diferentes idades, aplicando-se o questionário a todos os alunos da escola, do 2º ao 9º ano, que estavam presentes no dia de sua aplicação, excetuando-se o 1º ano, pela idade desses alunos (5 a 6 anos) e o 6º ano, que participou do questionário piloto. A amostra analisada deveria somar um total de 119 alunos, entretanto, no dia em que o questionário foi aplicado estavam presentes apenas 99 alunos. Assim, considerou-se 83% como o percentual de alunos presentes, e 60%, como o total de alunos da escola integrando a amostra.

Com os alunos com menor faixa etária, que presumidamente ainda não possuíam uma opinião formada sobre o que se pretendia investigar, a sua opinião foi coletada de forma separada, para comparar com resultados obtidos.

Assim, também, devido ao limitado período de ocupação da escola (um ano), considerou-se as respostas dos alunos como uma **avaliação de primeira percepção** dos usuários no espaço ocupado, e não uma **avaliação de pós-ocupação**.

5.4.3 Resultados do questionário fechado aplicado nos alunos

O questionário definitivo, composto de 11 perguntas fechadas, foi aplicado em 99 alunos, pretendendo verificar a satisfação dos usuários, alunos, em relação a um ambiente de uso diário, a sala de aula.

A seguir serão apresentados os resultados obtidos através do questionário aplicado nos alunos, sendo ressaltadas as diferentes respostas obtidas nos diferentes turnos da escola, manhã e tarde. No entanto, sabe-se que a amostra do turno da manhã representa a maior parte dos alunos, além de integrar o grupo mais confiável da amostra. Assim, os mesmos serão apresentados de forma separada, através de gráficos.

5.4.3.1 Questões gerais

Na primeira e segunda questões, que buscavam uma opinião geral da escola e da sala de aula, verificou-se, conforme gráficos apresentados na Figura 74, um consenso dos alunos. Na questão relativa à escola, 78% dos alunos consideraram a escola boa.

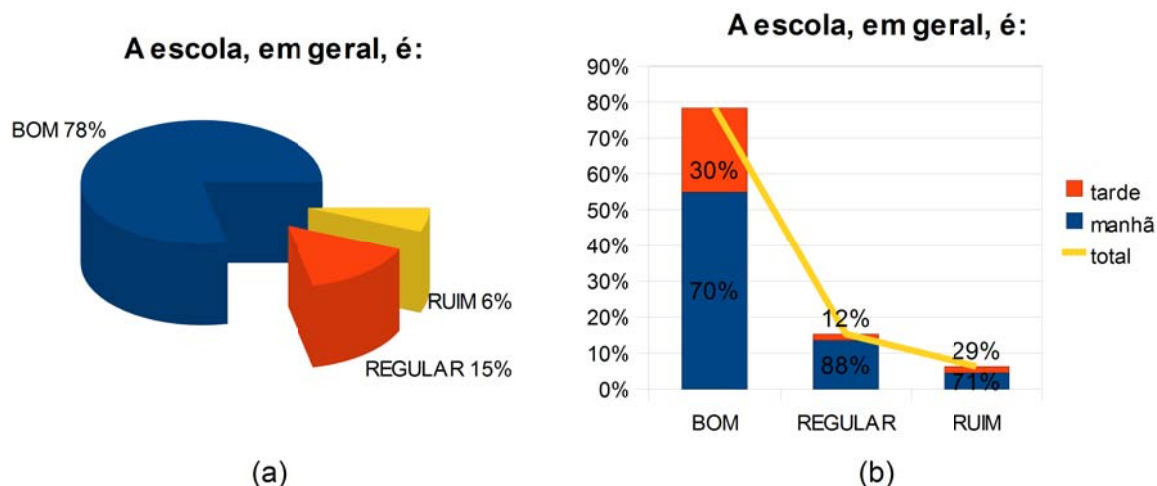


Figura 74: opinião geral dos alunos sobre a **escola**

Na questão relativa à sala de aula, conforme mostra a Figura 75, 68% dos alunos consideraram sua sala de aula boa. Mostrando um consenso entre os alunos, do turno da manhã e da tarde, nas questões relativas a opinião da escola e da sala de aula através de uma visão geral.

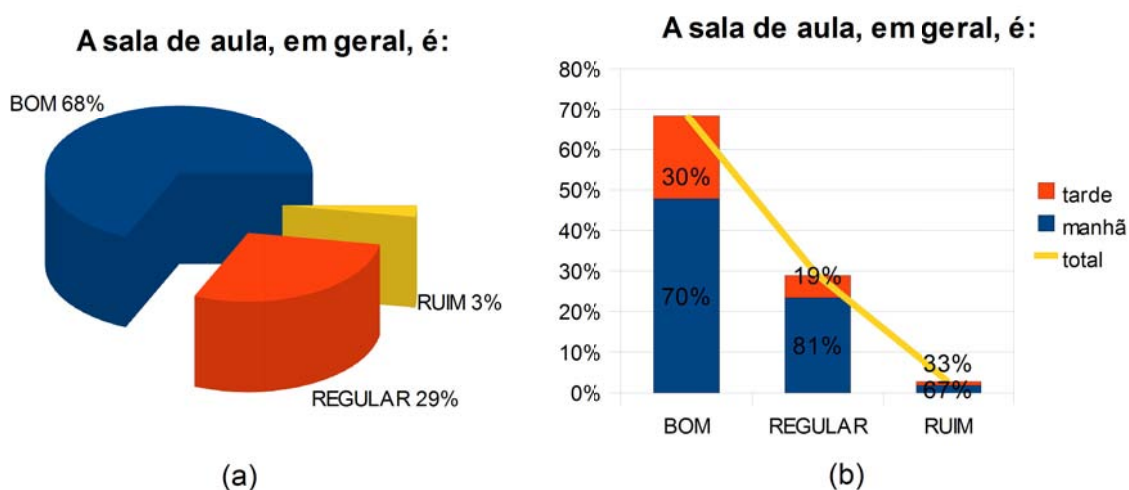


Figura 75: opinião geral dos alunos sobre a **sala de aula**

Constatou-se, portanto, que tanto a escola quanto a sala de aula são consideradas satisfatórias pelos seus usuários, alunos, uma vez que mais de 68%, dos alunos a consideram como **boa**, em ambas respostas. Apesar de a maioria dos alunos pertencer ao turno da manhã, representando maior percentual de respostas, nestas questões ocorreu um maior valor percentual de satisfação dos alunos do turno da tarde, 2º ao 4º ano, quando comparados os dois turnos separadamente.

5.4.3.2 Questões relativas ao conforto térmico

Nas questões relativas ao conforto térmico foram abordadas as condições de temperatura interna no inverno e verão, assim como a ventilação existente no local.

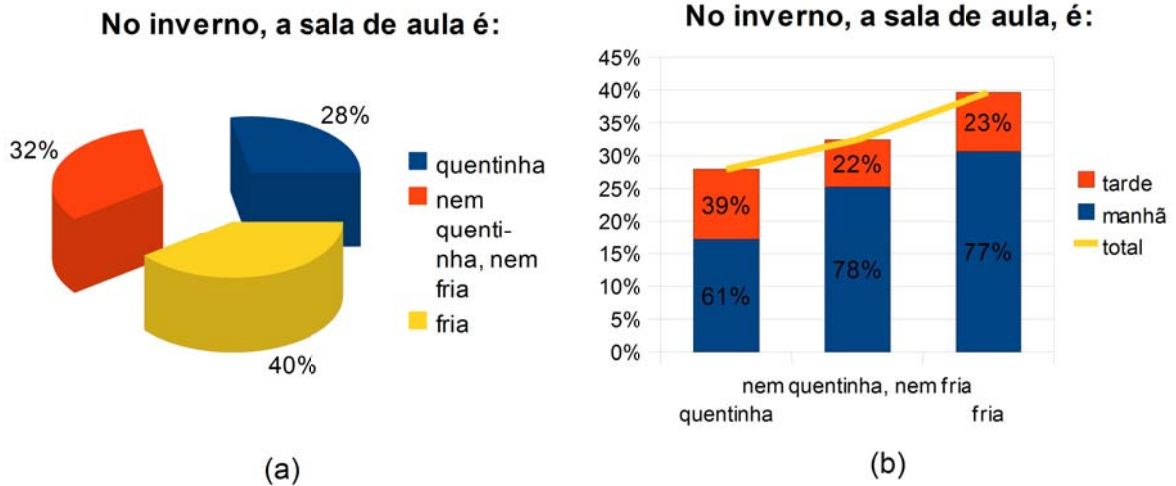


Figura 76: gráficos relativos à **temperatura interna na sala de aula**, no inverno

Em relação à temperatura interna nas salas de aula, os gráficos apresentados na Figura 76, correspondentes a perguntas formuladas se referindo ao período de inverno, os resultados mostraram percentuais mais próximos. Assim, 40% dos respondentes afirmaram que a sala de aula é fria no inverno, enquanto 28% responderam que a sala de aula é agradável, ou quentinha no inverno, e outros 32% responderam que a sala de aula não é nem quentinha, nem fria. Comparando os resultados obtidos nos diferentes turnos constatou-se uma maior satisfação dos alunos do turno da tarde. Apesar do menor número de alunos, e assim menor percentual geral de respostas, houve um maior número percentual de respostas na opção que afirmava que a sala de aula é quentinha no inverno, neste turno.

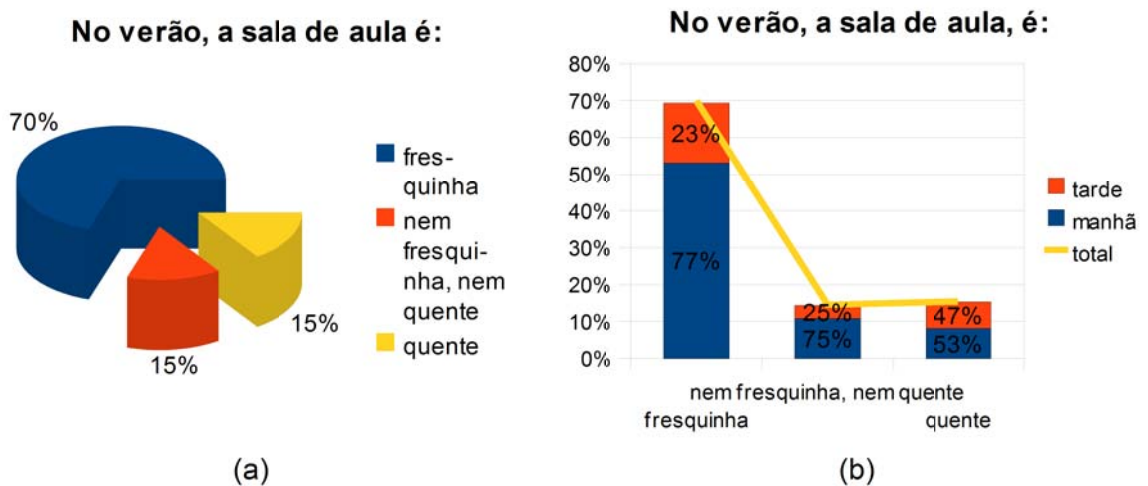


Figura 77: gráficos relativos à **temperatura interna na sala de aula**, no verão

Para a mesma questão, quando relativa ao verão, houve uma maior satisfação por conta dos alunos, que maior percentual apresentou que a sala de aula é fresquinha nesta estação do ano, conforme expresso pelos gráficos da Figura 77. Analisando somente as respostas dos alunos do turno da tarde, o percentual de alunos que responderam que a sala de aula é

quente, foi maior do que o percentual de alunos que responderam que a mesma é nem fresquinha, nem quente. Considerando todos os alunos, nos turnos da manhã e da tarde, 70% responderam que a sala é fresquinha, e 15% que a sala de aula é quente, mas nenhuma sala de aula específica demonstrou consenso ou maior tendência nas resposta ao frio ou calor nas questões analisadas.

Em relação à ventilação, foi perguntado aos alunos se o vento que entra pela janela incomoda. Nesta questão, 51% dos alunos afirmaram que, às vezes, o vento incomoda, conforme mostram os gráficos apresentados na Figura 78. Enquanto isto, 36% dos alunos afirmaram que o vento não incomoda, e 13% afirmaram que o vento incomoda. Com relação a esta questão não houve diferença significativa nas respostas entre os turnos, apesar de o turno da tarde apresentar similaridade percentual maior entre as respostas.

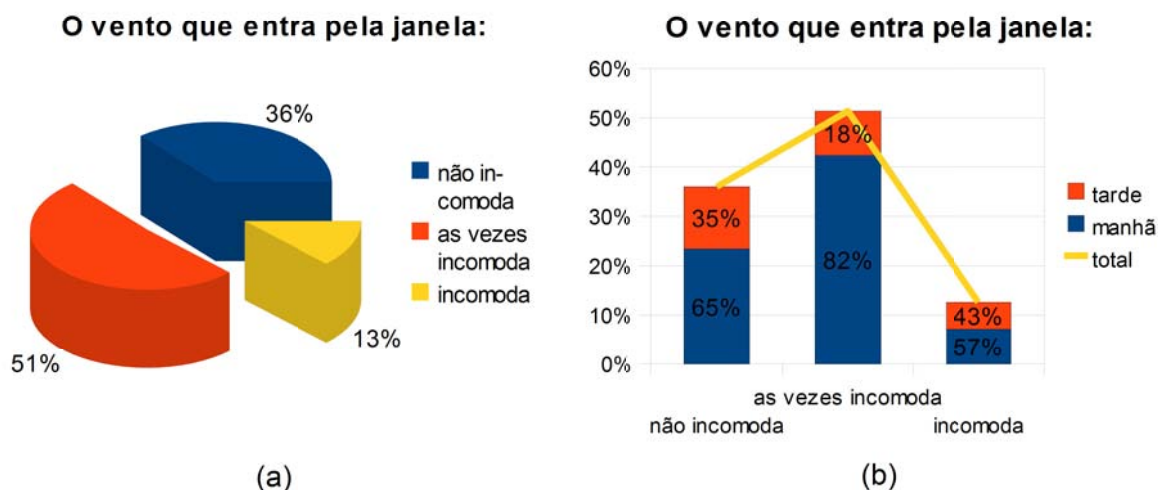


Figura 78: gráficos relativos à questão da **ventilação** na sala de aula

Logo, a partir das questões relativas ao conforto térmico, foi observado uma maior tendência ao desconforto para o frio, nas salas de aula, aspecto que pode ser associado ao vento ocorrente no local, que, segundo os alunos às vezes incomoda. Entretanto, esta questão é mais estudada e discutida pelo grupo de foco realizado com os professores.

5.4.3.3 Questões relativas ao conforto lumínico

Relativamente ao conforto lumínico foram feitas, primeiramente, perguntas relativas à incidência de radiação solar no plano de trabalho, mesas e quadro negro. Posteriormente as questões trataram da iluminância oferecida no ambiente, com e sem utilização de iluminação artificial.

Na primeira questão foi perguntado se a incidência do sol em relação à mesa atrapalhava, em algum momento. A maioria dos alunos, 55%, respondeu que o sol não atrapalha. Entretanto, 31% dos alunos responderam que o sol às vezes atrapalha, conforme mostram os gráficos apresentados na Figura 79.

A fim de entender os alunos prejudicados por um provável ofuscamento causado por incidência de radiação solar direta na mesa, constatou-se que dos 14% que afirmaram que

o sol atrapalha, a maior incidência percentual foi dos alunos do 5º ano, onde 18% dos respondentes deste ano responderam que o sol atrapalha. Enquanto que 33% dos alunos do 3º ano, apesar de apresentar um número de alunos muito baixo dentro da amostra, também afirmaram que o sol atrapalha. Assim mesmo, pode-se considerar que a resposta foi positiva dentro da amostra.

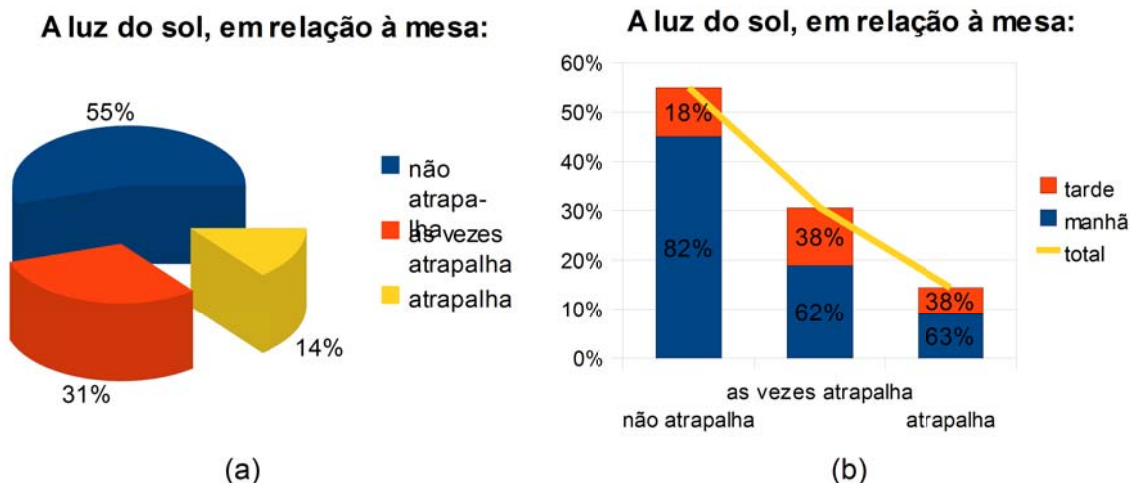


Figura 79: gráficos relativos à incidência de luz solar na mesa

Na questão que trata sobre a incidência da luz do sol sobre o quadro negro, conforme gráficos apresentados na Figura 80, houve um menor número percentual de satisfação. Assim, 46% dos alunos afirmaram que, às vezes, a luz do sol no quadro negro atrapalha, enquanto 33% afirmaram que o sol não atrapalha e 21%, que o sol realmente atrapalha por sua incidência no quadro negro.

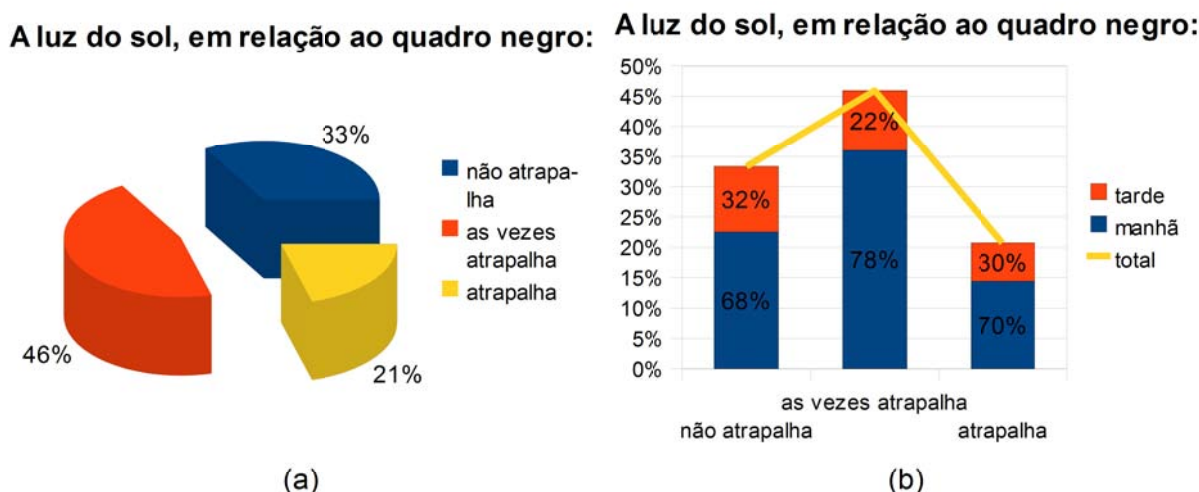


Figura 80: gráficos relativos à incidência de radiação solar no quadro negro

Através dos percentuais encontrados constatou-se que o maior percentual de alunos que afirmaram que o sol atrapalha está no 5º e 4º ano, onde, nas duas turmas, 33% dos alunos afirmaram que o sol atrapalha. Este resultado apresentou-se de certa forma interessante, uma vez que, estes alunos que representam a maioria freqüentam a mesma sala de aula, em turnos diferentes, o que representa diferentes posições solares, mas mesma posição do

quadro.

Na questão relativa à iluminação natural oferecida pela sala de aula, 79% dos alunos afirmaram que a iluminação, em dias de sol, é boa, podendo ser identificado um maior percentual para os alunos da manhã, 81% , enquanto, apenas 19% dos alunos que consideraram a iluminação boa eram do turno da tarde.

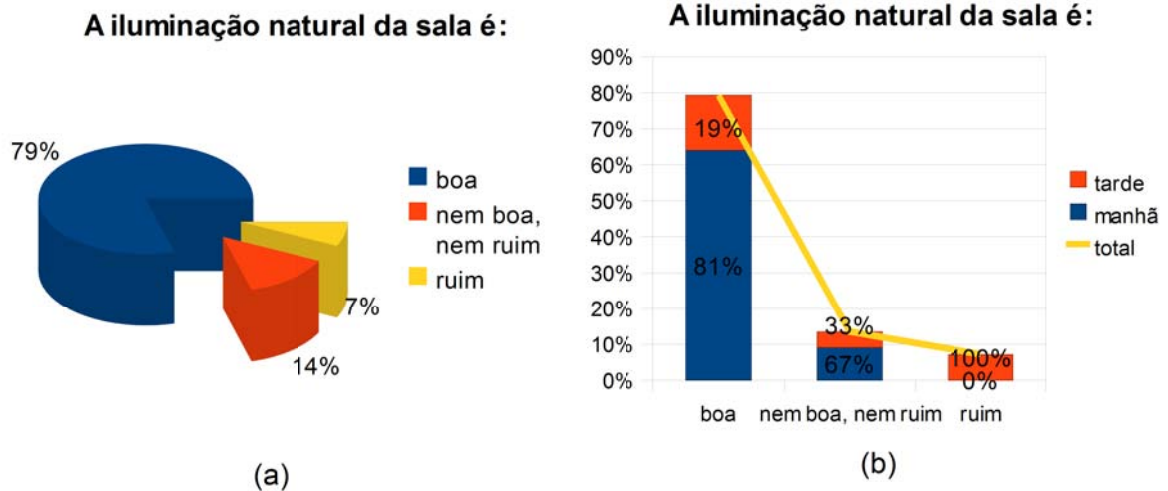


Figura 81: gráficos relativos à **iluminação natural da sala de aula**

Analisando de forma mais específica, os alunos mais satisfeitos com a iluminação natural, foram os alunos do 9º e 3º ano, enquanto os menos satisfeitos foram os alunos do 2º ano, que freqüentam, no turno da tarde, a sala de aula avaliada através da medição lumínica. No turno da manhã, nenhum aluno respondeu que a iluminação natural da sala de aula é ruim, apesar dos alunos do 8º ano, mesma sala de aula do 2º ano, terem apresentado menor número percentual de respostas indicativas de iluminação natural boa.

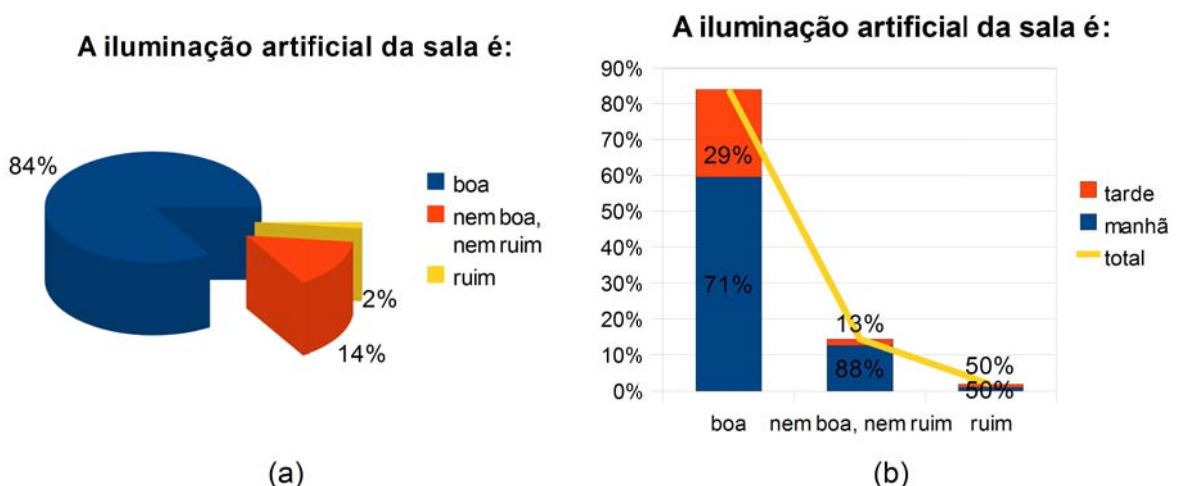


Figura 82: gráficos relativos à **iluminação artificial na sala de aula**

A iluminação artificial oferecida nas salas de aula, conforme mostram os gráficos apresentados na Figura 82, mostrou-se boa para 84% dos alunos da amostra. E nesta questão houve um consenso, quase geral, entre os alunos, em relação à sua satisfação, pois apenas 2% afirmaram que a iluminação artificial é ruim. Analisando os alunos

insatisfeitos, houve uma concentração dos resultados nos alunos do 4º e 8º ano, enquanto nos demais anos o número percentual de insatisfeitos foi zero. Comparando esta questão com a questão anterior, que trata da iluminação natural, pôde-se concluir que, nas respostas dos alunos do 8º ano, houve um aumento na insatisfação dos mesmos com relação a iluminação artificial, fato que pode ser compreendido pela provável presença de ofuscamento causada pela iluminação artificial.

Assim, após apresentar e analisar os resultados obtidos pelos questionários aplicados nos alunos, com relação ao conforto lumínico, pôde-se constatar uma maior insatisfação com relação à incidência de radiação solar no quadro negro. Todas as outras questões tratadas apresentaram respostas consideradas de satisfação em relação as condições oferecidas pela Escola.

5.4.3.4 Questões relativas ao conforto acústico

Na parte de conforto acústico, o questionário tratou das questões de ocorrência de ruídos externos que atrapalham as atividades em sala de aula, e origem destes ruídos.

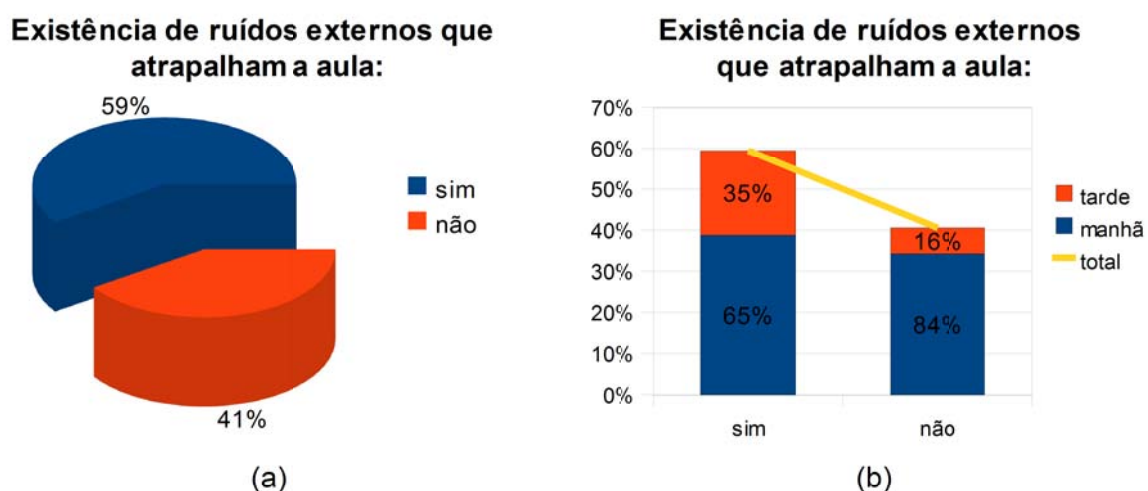


Figura 83: gráficos relativos à existência de ruídos externos à sala de aula

Assim, a primeira questão desta parte do questionário, que trata do conforto acústico, questionou os alunos quanto à existência de ruídos externos, que atrapalhem o andamento das classes. Conforme os gráficos apresentados na Figura 83, pôde-se observar uma disparidade nas respostas: 59% dos alunos responderam que existem ruídos externos; 41% responderam que não existem ruídos externos. Esta diferença percentual diminui quando analisados apenas os alunos do turno da manhã: 53% disseram que os ruídos atrapalham; 47% responderam que estes não atrapalham. Entretanto, os alunos do turno da tarde se mostraram mais insatisfeitos: 77% responderam que existem ruídos externos que atrapalham as atividades em sala de aula; 23% disseram que não. Este fato pode ser melhor entendido, após apresentação dos resultados obtidos no grupo de foco dos professores, que também foi relativo aos dois turnos.

Na questão relativa à procedência dos ruídos externos, que atrapalham a sala de aula, muitos dos alunos que responderam que tais ruídos não atrapalham, acabaram por responder esta questão também, mostrando certa incoerência na resposta anterior, entretanto as suas respostas foram analisadas da mesma forma. Alguns alunos também marcaram mais de uma alternativa para esta questão, o que também foi considerado, não cabendo à pesquisadora a escolha de uma ou outra resposta.

Assim, conforme os gráficos apresentados na Figura 84, os ruídos externos, segundo a maioria dos alunos, 36%, são oriundos do corredor. Para 25% dos respondentes os ruídos vêm de outras salas, 20% dos alunos afirmaram que os ruídos vêm da quadra e os restantes 20% responderam que estes são oriundos da rua (carros, ônibus, caminhões, ...). Comparando as respostas obtidas nos diferentes turnos, o ruído oriundo do corredor apresentou, nos dois turnos, o maior índice percentual.

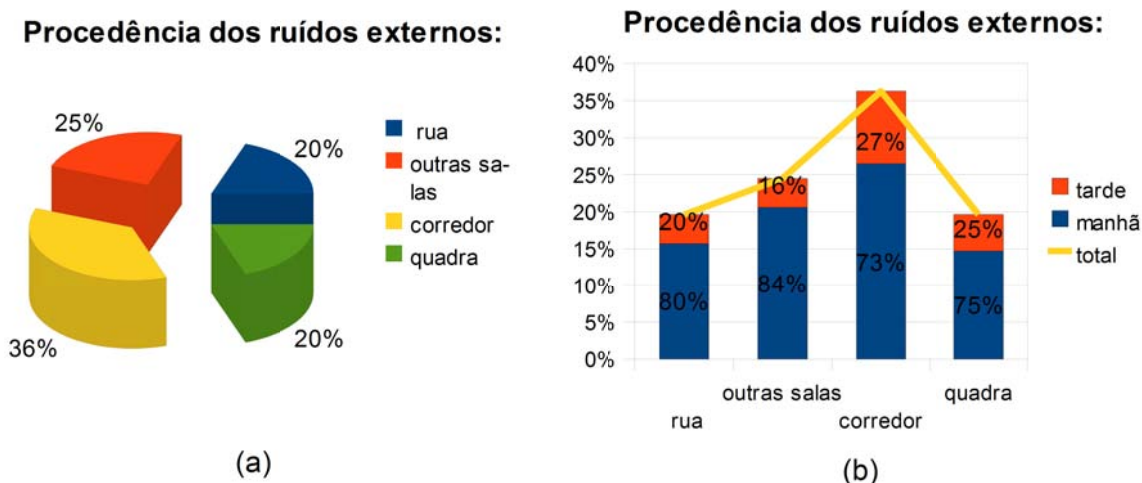


Figura 84: gráfico relativos à procedência de ruídos externos

Assim, verificou-se que o conforto acústico da escola, sob o ponto de vista dos alunos, está no limite do conforto, mostrando grande índice de insatisfeitos, entretanto também se verificou que grande parte da insatisfação é oriunda de ruídos oriundos dos próprios colegas, na passagem pelo corredor.

5.4.3.5 Conclusões dos resultados obtidos na aplicação dos questionários

Após a análise percentual das respostas obtidas através da aplicação do questionário aos alunos, foi realizado uma análise das médias alcançadas em cada questão, com seu respectivo desvio-padrão, a fim de entender, nos diferentes turnos e no geral da amostra, os pontos mais críticos apontados, segundo opinião dos alunos. Neste item foram avaliadas apenas as questões de 1 a 9 do questionário, visto que as questões 10 e 11 não tinham a mesma escala de três pontos, inviabilizando sua utilização em conjunto com as demais questões. Entretanto as questões 10 e 11, tratam de acústica, assunto que será melhor tratado após a apresentação dos resultados obtidos com o grupo de foco realizado com os professores

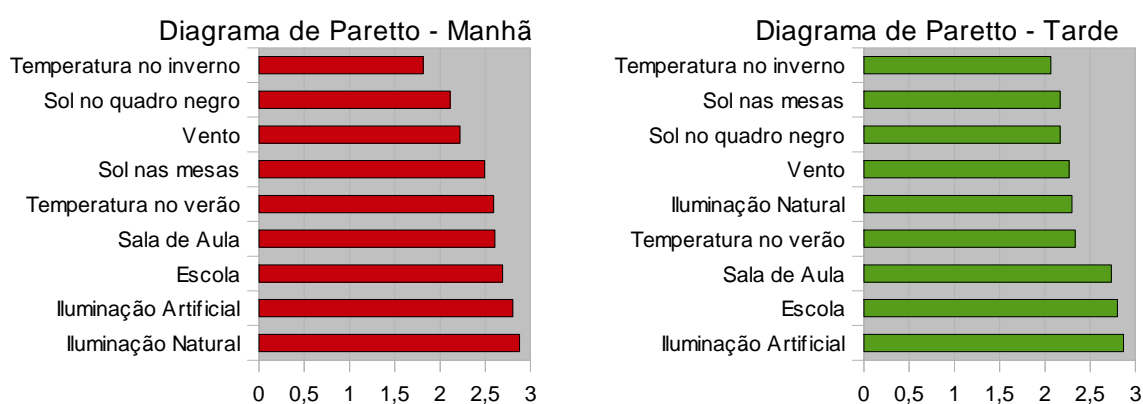


Figura 85: Diagrama de Pareto, relacionado aos turnos da escola

Conforme diagramas apresentados na Figura 85, a ordem de insatisfação dos itens do questionário apresentou-se com pouca diferença entre os turnos. Os alunos do turno da manhã, amostra maior, apontaram como aspecto mais fraco, dentre as questões abordadas no questionário, a temperatura da sala de aula no inverno, seguido pela incidência de sol no quadro negro e a incidência de vento na sala de aula. Os alunos do turno da tarde, também apresentaram a temperatura da sala de aula, no inverno, como ponto mais fraco na escola, seguido pela incidência de sol nas mesas e a incidência de sol no quadro negro. Os pontos mais fortes apresentados, segundo os alunos, foram, no turno da manhã, a iluminação natural e artificial e a qualidade da escola no geral, enquanto, no turno da tarde, os itens apontados foram a iluminação artificial, qualidade geral da escola e da sala de aula.

Tabela 31: resultados obtidos através da análise das respostas de cada turno

Item	MANHÃ			Item	TARDE		
	Média	Moda	DP		Média	Moda	DP
Temperatura no inverno	1,81	1	0,79	Temperatura no inverno	2,07	3	0,87
Sol no quadro negro	2,11	2	0,71	Sol nas mesas	2,17	2	0,75
Vento	2,22	2	0,61	Sol no quadro negro	2,17	3	0,79
Sol nas mesas	2,49	3	0,71	Vento	2,27	3	0,78
Temperatura no verão	2,59	3	0,74	Iluminação Natural	2,3	3	0,88
Sala de Aula	2,6	3	0,61	Temperatura no verão	2,33	3	0,88
Escola	2,69	3	0,58	Sala de Aula	2,73	3	0,52
Iluminação Artificial	2,8	3	0,43	Escola	2,8	3	0,55
Iluminação Natural	2,88	3	0,33	Iluminação Artificial	2,87	3	0,43

Analisando os valores apresentados na Tabela 31, verificou-se que os itens que apresentaram as maiores médias e conformidade entre os turnos foram: “iluminação artificial” e “qualidade da escola”. E a maior média alcançada foi na questão da iluminação artificial, que atingiu média 2,87, no turno da tarde, e 2,8, no turno da manhã. Apenas a fim de comparação, a iluminação natural recebeu boa pontuação no turno da manhã, média 2,88, mas no turno da tarde apresentou média 2,3, não considerada ruim, mas abaixo da média alcançada pelos três melhores itens, em cada turno. O outro item que recebeu média superior, em ambos os turnos, foi a “qualidade da escola”, que apresentou média 2,69, no turno da manhã, e 2,8, no turno da tarde.

No geral, o turno da tarde apresentou maiores valores para o desvio-padrão, mas as médias foram um pouco inferiores às obtidas no turno da manhã. Entretanto, considerando a média 2,0 como recomendável, apenas um item apresentou-se abaixo desta média: a temperatura no inverno no interior da sala de aula, no turno da manhã, com média 1,81.

Analisando também, os itens que receberem as piores médias, foi possível, em cada turno, elencar dois itens: “temperatura no inverno” e “sol no quadro negro”. A temperatura no inverno apresentou média igual a 1,81, no turno da manhã, e 2,07, no turno da tarde, enquanto o sol no quadro negro apresentou média igual a 2,11, no turno manhã, e 2,17, no turno tarde. No entanto, pode-se dizer que as médias obtidas no geral, em ambos os turnos apresentaram desempenho superior a regular, considerando as respostas dos alunos.

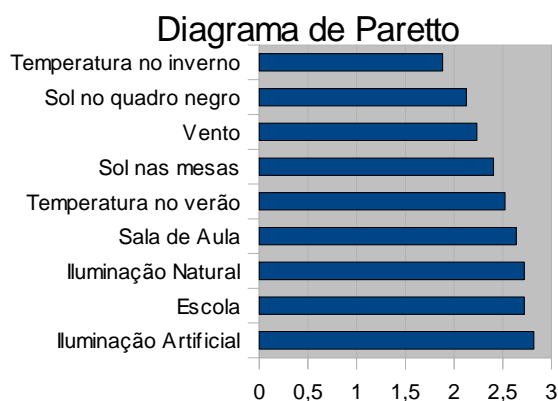


Figura 86: Diagrama de Pareto total da amostra

Assim, através das respostas do total da amostra, e conforme diagrama apresentado na Figura 86, houve maior satisfação dos alunos em relação à iluminação artificial, qualidade geral da escola e iluminação natural. O item iluminação natural se apresentou invertido, na ordem de preferência dos alunos segundo os resultados obtidos na análise das respostas do turno da manhã, conforme se pode observar através das médias e desvios, descritos a seguir. Este resultado ocorreu devido ao grande número de alunos da manhã, em comparação com o do turno da tarde, que assim constituem maior parte da amostra. Entretanto, estes alunos do turno da manhã também possuem maior faixa etária, podendo, de certo modo, ser considerados como o grupo atribuindo as respostas mais confiáveis da amostra.

Os pontos mais fracos, apresentados nas respostas aos questionários, foram a temperatura de inverno, no interior da sala de aula, a incidência de sol no quadro negro e a existência de ventos inconvenientes na sala de aula. Estes itens, conforme mencionado anteriormente, devido à composição da amostra, apresentaram o mesmo resultado que aquele resultante da análise de resultados obtidos com os alunos do turno da manhã.

Através dos dados apresentados na Tabela 32, pôde-se afirmar que o resultado das médias obtido se apresentou bem similar ao resultado obtido no turno da manhã, com exceção do item escola que apresentou média igual ao item iluminação natural, mas com desvio padrão menor. No restante os valores das médias se apresentaram bem próximos, e no geral demonstrando satisfação, uma vez que todos se apresentaram acima de regular, na escala de três pontos.

Tabela 32: resultados obtidos através da análise das respostas de toda amostra

Item	Média	Moda	DP
Temperatura no inverno	1,88	1	0,82
Sol no quadro negro	2,13	2	0,73
Vento	2,23	2	0,66
Sol nas mesas	2,41	3	0,73
Temperatura no verão	2,52	3	0,78
Sala de Aula	2,64	3	0,58
Iluminação Natural	2,72	3	0,59
Escola	2,72	3	0,57
Iluminação Artificial	2,82	3	0,43

Por fim, a temperatura de inverno no interior da sala de aula é o ponto de maior insatisfação dos alunos, seguido da incidência de radiação solar no quadro negro. O item **ocorrência de ventos no interior da sala de aula** apresentou-se, no diagrama geral, como terceiro ponto de insatisfação dos alunos, apesar de não ter sido apontada no turno da tarde como insatisfação, na análise separada por turnos. No geral, os alunos avaliaram positivamente a escola, especialmente nos itens **qualidade em geral da escola** e suas condições de **conforto lumínico** nos itens iluminação artificial e natural. Entretanto estes aspectos ainda serão melhor discutidos e analisados após a apresentação dos resultados obtidos no grupo de foco dos professores, que será tratado no item a seguir.

5.4.4 Grupo de foco

O grupo de foco foi realizado no dia 30 de setembro de 2008, no turno da manhã, com 5 professores e a diretora da escola, e no dia 04 de novembro de 2008, no turno da tarde, contando com mais 4 professores. O grupo de foco, realizado junto aos professores, também foi realizado nos diferentes turnos, com o intuito de coletar as diferentes opiniões de forma distinta, sem interferências. Particularmente, busca-se aplicá-los especialmente no turno da tarde, como um embasamento para melhor compreender os resultados, dos questionários aplicados junto aos alunos, que apresentavam menor faixa etária.

O grupo de foco com os professores foi escolhido como ferramenta qualitativa para a pesquisa, porque, segundo Ornstein e Ono (2005), o grupo focal é um “instrumento importante e de fácil obtenção de dados qualitativos, uma vez que o mediador pode introduzir temas de discussão em função dos objetivos da realização desta atividade”.

GRUPO DE FOCO COM OS PROFESSORES
Quais os pontos fortes da escola?
Quais os pontos fracos da escola?
CONFORTO TÉRMICO:
Quais principais problemas enfrentados nas salas de aula com relação ao conforto térmico (temperatura e umidade apresentadas nas salas de aula) (corredor aberto é um problema?)
CONFORTO LUMÍNICO:
Existem problemas com relação a iluminação natural das salas de aula? A luz tem que estar sempre acesa? Em algum momento o sol ofusca a vista dos alunos?
CONFORTO ACÚSTICO:
Existem problemas de acústica nas salas de aula ou barulhos externos às salas de atrapalham?

Figura 87: roteiro utilizado durante grupo de foco com professores

As perguntas selecionadas para o grupo de foco englobaram os mesmos aspectos incorporados no questionário aplicado nos alunos, tendo assim divididas em quatro tópicos (Figura 87): (a) aspectos gerais; (b) conforto térmico; (c) conforto lumínico; (d) conforto acústico das salas de aula. No grupo de foco também se buscou investigar alguns aspectos apontados como de desconforto pelos alunos, a fim de verificar a opinião dos professores a respeito dos mesmos.

5.4.5 Resultados do grupo de foco com professores

O grupo de foco foi realizado em dias diferentes na escola; o primeiro dia contou com a participação dos professores do turno da manhã, enquanto o outro dia contou com a participação dos professores do turno da tarde. A separação dos professores por turnos foi importante, não só para ressaltar a diferença de opinião dos professores, nos diferentes turnos, mas também para proporcionar uma maior exploração das respostas obtidas nos questionários aplicados aos alunos. Os resultados serão descritos em partes, conforme assunto tratado, mas de forma a juntar as informações coletadas nos diferentes turnos, para melhor compreensão do resultado final. A discussão foi grupada em quatro partes distintas, conforme grupamento apresentado no questionário aplicado nos alunos. A primeira, composta de uma questão geral a respeito da escola, buscando pontos positivos e negativos da escola. A segunda parte tratando da questão do conforto térmico proporcionado pela escola aos usuários. A terceira parte tratando da iluminação e a quarta e última parte tratando da questão do conforto acústico na edificação escolar.

5.4.5.1 Questões gerais

O turno da manhã, composto por turmas do 5º ao 9º ano, inicia seu período de atividades às 8h com término previsto para às 12h. O sistema de ensino, neste turno, por tratar de anos mais adiantados dentro do ensino fundamental, possui diferentes professores para os diferentes períodos nas salas de aula, permitindo uma opinião dos professores mais

generalizada sobre as salas. Apenas a professora do 5º ano não troca de sala de aula, nos diferentes períodos.

O turno da tarde é composto por quatro turmas, distribuídas do 1º ao 4º ano, com professores fixos, em todas salas de aula. O início das atividades ocorre às 13h30min com término às 17h, permitindo que professores tenham conhecimento mais específico de cada sala de aula utilizada.

Primeiramente, os dois grupos de foco foram questionados com relação a aspectos positivos e negativos da escola. Os professores do turno da manhã relataram como positivo a boa iluminação e, como negativo, a falta de salas de aula. Os professores do turno da tarde relataram, como positivo, o ambiente e a natureza do local, e, como negativo, a falta de espaços específicos com infra-estrutura para sala de vídeo, biblioteca e de um local fechado para apresentações dos alunos.

Nesta etapa da coleta de dados, pode-se perceber nitidamente a insatisfação dos professores com o espaço disponível para o programa que a escola deve atender.

5.4.5.2 Questões relativas ao conforto térmico

Na segunda parte, o grupo foi questionado com relação ao conforto térmico que as instalações da escola oferecem. No turno da manhã, os professores afirmaram que a escola é fria, principalmente no inverno, por não conseguir conservar o calor internamente e estar localizada em uma região muito fria. Estes ainda afirmaram que o local da escola sofre o impacto de muitos ventos frios, oriundos de uma lagoa localizada ao sul do terreno, e que no ano de 2008, o inverno havia sido muito chuvoso. Na sala de aula do 5º ano foi constatado, pela professora, a presença de umidade no quadro negro, em dias úmidos no inverno, impossibilitando a escrita com giz no quadro negro. Os professores também afirmaram que o local onde a escola está implantada é úmido e apresentou-se alagadiço, devido às chuvas ocorrentes no inverno de 2008. Os professores do turno da tarde, entretanto, afirmaram que no inverno as salas de aula são agradáveis, estando o problema maior na passagem entre blocos no corredor. O problema de umidade também foi constatado pelos professores do turno da tarde, que afirmaram que todas salas de aula apresentaram problemas de manchamento por umidade, próximo à parte inferior das paredes da fachada sul, em pedra granítica.

Os professores do turno da manhã afirmaram que, nos meses de verão, e que tendo freqüentado a escola até a presente data, as temperaturas se mostraram muito agradáveis, não necessitando o uso de ventiladores de teto. Os professores do turno da tarde discordaram desta opinião, afirmando que, no verão, as salas de aula na escola são muito quentes, devido à limitada ventilação que as esquadrias basculantes oferecem. Segundo estes professores as janelas das salas de aula deveriam oferecer maiores vãos abertos de ventilação, uma vez que, no turno da tarde, é costume manter a porta das salas fechada

diminuindo, portanto, a área efetiva de ventilação. No turno da manhã, houve um consenso entre os professores em relação à ventilação, que afirmaram que as aberturas das salas de aula fornecem condições adequadas de ventilação.

Com relação ao corredor que une os blocos, e que se apresenta coberto, mas aberto, foi apontado como agradável, pelos professores dos dois turnos. Entretanto, os professores também afirmaram, em consenso, que nos trechos de transição entre blocos, pela falta de um fechamento na fachada sul, há a incidência direta de vento frio, no inverno, oriundo da lagoa. O bloco administrativo foi apontado como o bloco mais frio e úmido da edificação, onde, no inverno, devido à mata de eucaliptos existente no local, não há incidência direta de sol na edificação. Foi também constatada a incidência de manchas de bolor e mofo em uma das salas, que por ser utilizada como arquivo, permanece mais tempo fechada, neste bloco administrativo, junto à fachada sul. Entretanto, foi afirmado pelos usuários, professores, que o posicionamento da escola é bom em relação ao sol, pois as salas de aula não recebem a incidência direta de sol.

No turno da manhã, no verão, segundo os professores, as janelas superiores à prateleira de luz na fachada norte são mantidas abertas, juntamente com as janelas da fachada sul, proporcionando ventilação agradável ao ambiente. No inverno, no mesmo turno, foi afirmado que as esquadrias da fachada sul permanecem fechadas, devido ao vento frio oriundo da lagoa, da mesma forma que as janelas superiores da fachada norte também permanecem fechadas, e são utilizadas apenas as inferiores desta fachada, para trocar o ar acumulado no ambiente.

Ainda no que se relaciona à umidade, os professores do turno da tarde mostraram preocupação em relação ao madeiramento da circulação coberta, e goteiras constatadas em dias de chuva, podendo o madeiramento ter sua vida útil diminuída. Alguns professores da tarde também afirmaram que já vivenciaram goteiras internamente, em algumas salas de aula.

5.4.5.3 Questões relativas ao conforto lumínico

Na terceira parte do grupo de foco, os professores foram convidados a falar sobre a questão do conforto visual e lumínico das salas de aula. Os professores do turno da manhã afirmaram que, em dias claros, não é necessário utilizar a iluminação artificial. Entretanto, em dias nublados eles utilizam as luminárias próximas à porta, e da fila central, afirmando que, junto à fachada sul, raramente utilizam a iluminação artificial, elogiando a separação do comando das luminárias em filas paralelas à fachada norte e sul. E um dos professores do turno da manhã mencionou o fato de a iluminação artificial atrapalhar a leitura do quadro negro, devido ao reflexo que a mesma determina. No turno da tarde, os professores afirmaram que fazem uso da iluminação artificial a partir dos períodos após o intervalo.

Alguns, responsáveis pelas salas mais a oeste, utilizam a iluminação artificial logo após o

intervalo e outros, dispostos nas salas mais a leste, somente no último intervalo, e quando necessário.

A questão da incidência de radiação solar não foi identificada como problema, por nenhum dos professores e, no turno da manhã, foi afirmado que a incidência ocorre na parte superior da parede e em curto espaço de tempo. No turno da tarde nenhum dos professores fez nenhuma menção à incidência de sol no interior da sala de aula.

Também foi mencionada a questão da incidência de sol no início da manhã e final da tarde, através das esquadrias da fachada sul, ocorrente no verão, e que em função disso foram providenciadas cortinas para as salas de aula. Entretanto, as mesmas foram retiradas por causa da umidade e devido a não ocorrência de entrada de sol pela fachada sul durante o restante do ano.

A questão do quadro negro, que foi localizado na parte oposta à parede prevista em projeto, tendo sido levantada pela pesquisadora, os professores responderam que o quadro foi pintado na própria parede e por isso a sua localização na parede rebocada. Assim, também, foi levantado por eles que a sala do 6º ano possui o quadro negro na parede de pedra e por isso não oferece condições adequadas para escrita, uma vez que sua superfície é irregular. A cortina existente na fachada norte da sala do 6º ano também foi esclarecida como necessária, para auxiliar na concentração dos alunos, que se distraem facilmente com esquadria baixa disposta para circulação.

5.4.5.4 Questões relativas ao conforto acústico

Na última parte, os professores foram convidados a fazer comentários relativos ao conforto acústico que a escola oferece aos usuários. No turno da manhã, foi comentado que a sala do 6º ano, utilizada somente neste turno, é a mais prejudicada por causa da janela baixa, voltada na fachada norte para a circulação, que, apesar de não atrapalhar a aula, distrai o aluno.

Com relação aos prováveis ruídos que pudessem atrapalhar a sala de aula, a quadra com atividades de educação física não foi citada como ruído que atrapalhe a aula, nem pelos professores da manhã, nem pelos professores da tarde. Os professores da tarde ainda afirmaram que, por manterem a porta fechada durante a aula, ruídos externos à sala de aula não são percebidos de forma a atrapalhar o andamento das atividades realizadas no interior. Entretanto, a utilização da quadra para ensaios da banda, no turno da tarde, mencionado pelos alunos nos questionários, de acordo com os professores já foi contornado. Os ensaios da banda, geradores de muito ruído e desconforto para os alunos em aula, agora são realizados no interior de uma sala, salvo em situações de ensaio, com participação de todos membros da banda. Assim, diferente dos alunos, os professores não demonstraram nenhuma insatisfação em relação a ruídos externos.

Na questão acústica, uma professora ressaltou que, na sala de aula do 1º ano, turno da

tarde, ocorre freqüentemente, durante a aula, a repetição do som da sua voz, em forma de eco, devido ao baixo número de alunos que ocupam o ambiente. Este fato confirma os altos tempos de reverberação encontrados nas salas de aula, no item 5.3.3(Tempo de reverberação).

5.4.5.5 Conclusões resultantes dos grupo de foco

Considerando a opinião dos professores dos dois turnos em conjunto, pôde-se observar nitidamente que o problema térmico observado pelos alunos de temperaturas frias no inverno, no interior da sala de aula, torna-se mais evidente no turno da manhã. No turno da tarde, os professores não reclamaram deste fato e ainda mencionaram que a escola é quente no verão, fato não mencionado pelos professores da manhã.

A iluminação apresentou-se boa para ambos os grupos. Entretanto, os professores da tarde utilizam por um período maior o recurso da iluminação artificial - quase todos dias após o intervalo - enquanto os professores da manhã confirmaram que só utilizam a iluminação artificial em dias nublados (fato também verificado através das respostas dos alunos).

E, por último, a questão acústica apresentou-se coerente e satisfatória a todos os professores, que afirmaram não terem problemas com relação a ruídos externos, como responsáveis pela interrupção de atividades na sala de aula. Foi apontada a ocorrência de eco nas salas ocupadas por baixo número de alunos.

Concluindo, a temperatura fria no inverno foi mais uma vez confirmada pelos usuários e as questões relativas à incidência de sol no quadro negro ou nas mesas não se confirmou. Assim, também, a questão da ventilação, que obteve pontuação positiva segundo os professores da manhã, e negativa, pelos professores do turno da tarde. Entretanto, a ventilação, quando mencionada, foi criticada em relação à sua falta, especialmente no verão, e não ao seu excesso, como foi apontado pelos alunos.

5.4.6 Conclusões sobre os resultados quanto à satisfação dos usuários

Após analisar os resultados do questionário aplicado nos alunos e grupo de foco realizado com professores, os mesmos foram colocados em uma mesma matriz, a fim de cruzar as informações obtidas nos diferentes turnos. Sabe-se que as informações não podem ser somadas quantitativamente ou igualadas em valor, por tratar-se de diferentes fontes de evidência. A seguir, em caráter ilustrativo, na Tabela 33 será apresentada a matriz, com seus resultados.

Na questão conforto térmico, houve um consenso entre os alunos e professores do turno da manhã, em relação às temperaturas de inverno e verão, onde os mesmos ressaltaram que as salas de aula são frias no inverno e agradáveis no verão. No turno da tarde, professores e alunos colocaram que as salas de aula são agradáveis e quentinhas no inverno, enquanto no verão, os alunos afirmaram que as salas são fresquinhos e os professores que estas são

quentes. Em relação ao vento, os resultados mostraram-se mais dispersos, os professores da manhã acham a ventilação agradável e satisfatória: os alunos afirmaram que o vento na sala de aula às vezes incomoda. Os professores da tarde afirmaram que, no verão, a ventilação é insuficiente, enquanto os alunos afirmaram que o vento não incomoda.

Tabela 33: matriz com resultados encontrados nos questionários e grupo de foco, nos diferentes turnos

	ALUNOS MANHÃ	PROF. MANHÃ	ALUNOS TARDE	PROF. TARDE
CONFORTO TÉRMICO				
temperatura no inverno	fria	fria	quentinha	agradável
temperatura no verão	fresquinha	agradável	fresquinha	quente
ventilação	às vezes incomoda	agradável	não incomoda	insuficiente
umidade		alta		alta
CONFORTO LUMÍNICO				
incidência sol no quadro negro	não atrapalha	não atrapalha	às vezes atrapalha	indiferente
incidência sol nas mesas	às vezes atrapalha	indiferente	não atrapalha	indiferente
iluminação natural	boa	boa	boa	mais ou menos
iluminação artificial	boa	não é necessária	boa	às vezes necessária
CONFORTO ACÚSTICO				
ruídos externos	corredor	indiferente	corredor	indiferente
	outras salas		quadra de esportes	

Em relação ao conforto lumínico oferecido pela edificação escolar aos seus usuários, professores e alunos do turno da manhã afirmaram que a incidência de luz no quadro negro não atrapalha. Os alunos do turno da tarde afirmaram que a incidência de luz no quadro negro às vezes atrapalha, e os professores colocaram que a incidência ocorre, mas não atrapalha. A incidência de luz nas mesas, segundo os alunos do turno da manhã, às vezes atrapalha, enquanto os professores do mesmo turno afirmaram que a ocorrência existe, mas não atrapalha. Os alunos e professores do turno da tarde afirmaram que a incidência de luz nas mesas não atrapalha. A iluminação natural nas salas de aula, segundo os alunos e professores do turno da manhã é boa, enquanto no turno da tarde os alunos afirmaram que a mesma é boa, mas os professores afirmaram que é necessário o uso de iluminação artificial no final da tarde. Em relação à iluminação artificial, os professores do turno da manhã afirmaram que esta, às vezes, atrapalha, dando reflexo nas superfícies de trabalho, enquanto os alunos do mesmo turno ressaltaram que a mesma é boa. A iluminação artificial nas salas de aula, no turno da tarde, é boa, para todos alunos e professores deste turno. Quanto às condições de conforto acústico segundo os alunos do turno da manhã, ocorrem ruídos externos, que atrapalham a aula, e estes são oriundos do corredor e das outras salas. Os professores do turno da manhã afirmaram que tais ruídos não atrapalham. Os alunos do turno da tarde afirmaram que os ruídos atrapalham e vêm do corredor e da quadra de esportes, enquanto os professores afirmaram que estes não atrapalham a aula.

6 CONCLUSÕES

A seguir são apresentadas conclusões gerais do trabalho acerca dos resultados obtidos apresentados no capítulo anterior, e algumas considerações finais. Sabe-se que não é possível somar quantitativamente todos os dados e resultados obtidos, uma vez que estes englobam diferentes decisões, que não podem ser diretamente comparadas. A análise deste trabalho, portanto, não apresenta como resultado um valor ou indicador, pois trata de questões e variáveis subjetivas. Os resultados são apresentados de forma simplificada através de matriz, como forma de proporcionar uma visualização das considerações a serem feitas, e como forma de apresentar os mesmos de forma conjunta. Entretanto não desconsidera discussões apresentadas no capítulo de resultados, pois estes são de grande relevância para o trabalho, e não podem ser somados.

6.1 CONSIDERAÇÕES SOBRE OS RESULTADOS

Primeiramente, são abordados os pontos que dizem respeito aos objetivos específicos, como forma de alcançar o objetivo principal da pesquisa. Assim, como ponto de partida buscou-se a **avaliação dos principais requisitos de conforto térmico, acústico e lumínico em edificações escolares**, que utilizam estratégias sustentáveis, considerando o microclima e o entorno do local. Esta avaliação foi realizada a partir da identificação destes requisitos encontrados durante a revisão bibliográfica, que buscou identificar os requisitos de conforto para as diferentes dimensões de conforto ambiental analisadas. Nesta busca, foram identificados tanto os estudos referentes a edificações escolares, como também a edificações com funções distintas desta.

Outro objetivo específico apresentado na introdução buscou a **caracterização das possíveis relações entre as principais variáveis de conforto ambiental (térmico, acústico e lumínico) e o grau de satisfação dos usuários em edificação escolar**. O resultado deste objetivo não ocorreu de forma explícita no decorrer da pesquisa, mas é apresentado juntamente com objetivo principal, no presente capítulo. Não foi apresentado anteriormente, para não sugerir que os mesmos possam ser avaliados utilizando a mesma escala de valores. E sendo assim, por tratar-se de dados qualitativos que podem sugerir diferentes interpretações, apresentam dificuldade em serem apresentados de forma

unificada.

Assim, o objetivo estabelecido inicialmente, como principal, diz respeito a um **diagnóstico das variáveis de o conforto ambiental, considerando as dimensões de conforto térmico, lumínico e acústico**, na edificação escolar analisada. A Tabela 34 apresenta uma matriz que sintetiza os resultados obtidos e as estratégias bioclimáticas a que estão associados.

Tabela 34: matriz com os resultados obtidos e a satisfação dos usuários frente às diferentes variáveis

	Estratégia Bioclimática	Dados Técnicos	Alunos		Professores	
			manhã	tarde	manhã	tarde
CONFORTO TÉRMICO						
		Conforto 38%				
temperatura no inverno	Paredes Externas de Pedra Granítica	Desconforto por frio 48%	fria	quentinha	fria	fria
temperatura no verão	Cobertura com inclinação voltada para Sul. Paredes Externas de Pedra Granítica Telhado Verde	Desconforto por calor 14%	fresquinha	fresquinha	fresquinha	fresquinha
ventilação	Ventilação Cruzada Efeito chaminé		às vezes incomoda	não incomoda	não incomoda	não incomoda
umidade	Ventilação Cruzada Efeito chaminé	alta umidade 44%			alta	alta
CONFORTO LUMÍNICO						
incidência sol no quadro negro	Prateleira de Luz Orientação das salas Norte-Sul	incidência sol no quadro no inverno	não atrapalha	às vezes atrapalha	não atrapalha	não atrapalha
incidência sol nas mesas	Prateleira de Luz Orientação das salas Norte-Sul	incidência sol nas mesas no verão	às vezes atrapalha	não atrapalha	não atrapalha	não atrapalha
iluminação natural	Esquadrias na Fachada Sul sem Elementos de Sombreamento. Prateleiras de Luz na Fachada Norte.	maior de 300 lux – no inverno	boa	boa	boa	mais ou menos
iluminação artificial	Comando luminárias independente	maior de 300 lux – em todas medições	boa	boa	boa	as vezes necessária
CONFORTO ACÚSTICO						
ruídos externos	Janelas Altas para Circulação	L_{eq} 53dB(A) durante intervalo	corredor	corredor	indiferente	indiferente
			outras salas			
	Quadra de Esportes próxima a mata de eucaliptos	L_{eq} 46dB(A) durante aula educação física		quadra de esportes		

A partir da Tabela 34, e dos resultados apresentados no capítulo anterior, pôde-se constatar a eficiência de algumas estratégias bioclimáticas utilizadas na edificação escolar avaliada.

Considerou-se, portanto, como contribuindo para o **conforto térmico**, as estratégias

adotadas para abrandamento da temperatura externa, no período de verão, ou sob altas temperaturas. Sob este aspecto a resposta da edificação se mostrou satisfatória, tanto através dos dados coletados, quanto através da resposta dos usuários. No inverno, ou sob baixas temperaturas, a resposta da edificação foi menos efetiva. Verificou-se que devido às estratégias utilizadas, que visavam não permitir a entrada de calor nos ambientes internos, tais condições internas mostraram-se mais críticas, o que foi observado tanto através dos dados coletados como da resposta dos usuários. Desta forma, pode-se questionar a necessidade, na região onde foi implementada a escola, de utilização da cobertura voltada para sul, assim como das esquadrias da fachada sul, como grande plano vazado, que determinam grande perda de calor do ambiente interno para o meio externo. Por outro lado, a ventilação foi considerada eficiente, e necessária, principalmente devido à constatação da alta umidade existente no local.

Em relação à **iluminação**, a utilização da prateleira de luz, na fachada norte, junto com as esquadrias dispostas na fachada sul foi considerada capaz de proporcionar uma iluminação natural satisfatória, o que ficou demonstrado, tanto através dos resultados medidos, como do ponto de vista expresso por seus usuários. Do ponto de vista de desempenho, os resultados mostraram-se eficientes, particularmente no solstício de inverno. As demais medições mostraram resultados satisfatórios, mas na maioria dos casos não atingiram plenamente os valores estabelecidos pela Norma. As prateleiras de luz mostraram-se eficientes, estendendo a propagação de luz refletida pelo forro ao ambiente, e protegendo os planos internos da incidência de radiação solar direta. Entretanto, foram identificados, em vários horários, baixos valores de iluminância próximo à fachada norte. Verificou-se, também, através das medições e observações no local, que as esquadrias da fachada norte, abaixo da prateleira de luz, são pouco eficientes devido ao sombreamento proporcionado pela larga cobertura da circulação. E, apesar da restrição às esquadrias da fachada sul, contribuindo para o resfriamento passivo da edificação, no período de inverno, estas são as contribuintes maiores pelos significativos ganhos de luz dos ambientes internos analisados.

O **conforto acústico**, tratado de forma simplificada no presente trabalho, buscou identificar alguns valores de nível de pressão sonora, e o grau de satisfação dos usuários da escola, em relação aos mesmos. Não se encontrou, na análise do projeto, nenhuma estratégia específica que buscasse contemplar um melhor desempenho acústico da edificação. Os resultados quanto ao conforto foram contraditórios, pois apesar de os valores encontrados terem se mostrado não elevados, os usuários alunos manifestaram insatisfação, enquanto os usuários professores mostraram satisfação.

6.2 SUGESTÕES PARA MELHORIA DA EDIFICAÇÃO

Devido à complexidade e dificuldades de se tratar o tema conforto ambiental de forma holística, principalmente diante de uma realidade climática como a presente no sul do Brasil, com considerável amplitude térmica, somada a elevadas umidades e ventos frios, durante o inverno, sabe-se que é muito difícil otimizar o desempenho global da edificação. O presente estudo buscou identificar os fatores de maior interferência na satisfação dos usuários, assim como de melhorias na sensação de conforto de modo a melhor atender às necessidades de seus usuários.

O presente estudo não pretende aprofundar a discussão sobre as melhorias passíveis de serem introduzidas na edificação, mas com base nos estudos e medições realizadas alguns aspectos considerados relevantes serão mencionados.

Assim, apesar da complexidade envolvida, principalmente a associada a recursos, em se melhorar a edificação em estudo, sugere-se que em propostas futuras, para edificações de mesma natureza, seja considerada a possibilidade de utilização de um sistema construtivo capaz de proporcionar maior aquecimento solar passivo. No caso da edificação estudada, talvez, através de aberturas na cobertura da circulação norte, de modo a tornar possível o aquecimento passivo da fachada, através da incidência de radiação solar direta nesta, proporcionado, também, maior nível de iluminância através das esquadrias desta fachada. E, outro ponto a ser levantado, é a iluminação por zenitais, que segundo bibliografia, em escolas, oferecem altos níveis de iluminância, sem ocasionar problemas de ofuscamento, quando propriamente implementados, oferecendo luz natural provindo da melhor direção, o teto.

6.3 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

Diante a complexidade de se tratar o tema conforto ambiental de forma holística, de modo a contemplar todos os sentidos humanos, reconhecemos que o estudo não se apresentou completo em sua avaliação do desempenho físico da edificação escolar em estudo. Um dos maiores obstáculos, certamente, foi o tempo disponível para a realização do estudo, entre outros. Faz-se, pois, algumas recomendações para futuros trabalhos na área de conforto ambiental em edificações escolares, que venham complementar os estudos aqui realizados:

- a) Identificação de variáveis de conforto ambiental em outras edificações escolares que utilizem estratégias bioclimáticas, em microclima e entorno semelhante, que também se valham de dados de conforto térmico, acústico, lumínico e satisfação dos usuários, a fim de cruzar com as informações encontradas no presente estudo e verificar tendências de conforto e eficiência das estratégias utilizadas.

Quanto à edificação escolar analisada, especificamente, surgem também algumas recomendações para futuros trabalhos, como forma de continuar a presente pesquisa e aprofundar alguns pontos que não puderam ser devidamente estudados:

- a) Avaliação do desempenho térmico da edificação, considerando dados de medição de um ano inteiro, e comparando-os com período de ocupação de março a dezembro, avaliado nesta pesquisa;
- b) Avaliação do desempenho lumínico da edificação, incluindo a análise de variáveis como o Fator de Luz Diurna (Daylight Factor), e englobando, além dos solstícios de inverno e verão e equinócio de primavera, o equinócio de outono;
- c) Avaliação mais aprofundada do desempenho acústico da edificação estudada, como forma de verificar os dados encontrados;
- d) Verificação da satisfação dos usuários, após um período maior de ocupação, aprofundando o uso de técnicas associadas a avaliações pós-ocupação;
- e) Aprofundar estudos que possam gerar melhorias para a edificação escolar estudada, a fim de gerar uma maior satisfação aos seus usuários, tendo por referência os pontos fracos identificados no presente estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, A. P. **Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso**. 2004. 179 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2004.

ALVES, S. et al. Avaliação do Ambiente Construído através da Percepção Ambiental: Metodologia Aplicada à Escola PRODECAD – UNICAMP. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005. p.27-36.

AROSZTEGUI, J.M. **Parâmetros do Conforto Térmico de Porto Alegre**. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1977.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 5413 – **Iluminância de interiores**. Rio de Janeiro, 1992(a).

_____. NBR10151 – **Acústica - avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade – procedimento**. Rio de Janeiro, 2000.

_____. NBR10152 – **Níveis de ruído para conforto acústico**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. NBR12179 – **Tratamento acústico em recintos fechados**. Rio de Janeiro, 1992(b).

_____. NBR15215-4 – **Iluminação Natural: parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações: Método de medição**. Rio de Janeiro, 2004.

_____. NBR15220-2 – **Desempenho térmico de edificações: parte 2: Método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações**. Rio de Janeiro, 2005.

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Thermal environmental conditions for human occupancy: ANSI/ASHRAE 55-1981**.

_____. **ASHRAE Handbook 1993: fundamentals**. Atlanta: ASHRAE, 1993.

AULICIEMS, Andris; SZOKOLAY, Steven. **Thermal Comfort**. Brisbane: University of Queensland, 1997. 64 p. (Plea Notes). Note 3.

BECKER, Rachel; GOLDBERG, Itamar; PACIUK, Monica. Improving energy performance of school buildings while ensuring indoor air quality ventilation. **Building and Environment**, Lausanne, v. 42, n. 9, p.3261-3276, September 2007.

BERTOLI, S. R. Quanto custa o conforto ambiental? In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 7., 2003, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2003. p.485-494.

BISTAFA, S. R. **Acústica Aplicada ao Controle de Ruído**. São Paulo: Eduardo Blücher, 2006. 368p.

BITAN, A. The methodology of applied climatology in planning and building. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 11, n. 1-3, p.1-10, March 1988.

BRAGER, G. S.; DEAR, R. J. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 27, n. 1, p.83-96, February 1998.

CAMARGO, R. F.; KOWALTOWSKI, D. Melhorias de Conforto ao ambiente educacional por meio da avaliação do edifício escolar: estudo de caso em duas escolas de primeiro grau em São Carlos – SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC, 4., 1997, Salvador. **Anais...** Salvador, 1997. p. 503-507.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em Busca de uma Arquitetura Sustentável para os Trópicos: Conforto Ambiental**. Rio de Janeiro: Revan, 2003. 287p.

FANGER, P.O. **Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering**. New York: McGraw-Hill, 1972.

FRANDOLOSO, M.; **Critérios de Projeto para Escolas Fundamentais Bioclimáticas**. 2001. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado – PROPAR – UFRGS.

FRANSSON, N.; VÄSTFJÄLL, D.; SKOOG, J. In search of the comfortable indoor environment: A comparison of the utility of objective and subjective indicators of indoor comfort. **Building and Environment**, Lausanne, v. 42, n. 5, p.1886-1890, May 2007.

FREIRE, M. R. **Iluminação Natural em Salas de Aula: o Caso das Escolas FAEC em Salvador**. 1996. Porto Alegre. Dissertação de Mestrado – PROPAR – UFRGS.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 8. ed. São Paulo: Studio Nobel, 2007. 243 p.

FUNARI, T. B.; KOWALTOWSKI, D. C. Arquitetura Escolar e Avaliação Pós-Ocupação. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 8., 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005, p. 2255-2257.

GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1997. 464 p.

_____. Comfort, Climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 18, n. 1, p.11-23, 1992.

GOULART, S. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. 1993. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1993.

GRAÇA, V. C.; KOWALTOWSKI, D. C. Metodologia de avaliação de conforto ambiental de projetos escolares usando o conceito de otimização multicritério. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.4, n.3, p.19-35, jul./set., 2004.

HÖPPE, P. Comfort Requirements in Indoor Climate. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 11, n. 1-3, p.249-257, March 1988.

KOENIGSBERGER, O.H. et al. **Viviendas y edificios em zonas cálidas y tropicales**. Tradução Emiro Romero Ros. Madrid: Paraninfo, 1977. 328 p.

KOWALTOWSKI, D. et al. O Conforto no Ambiente Escolar: Elementos para intervenções de melhoria. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 9., 2002, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu, 2002, p.173-182.

KROELING, P. Health and well being disorders in air-conditioned buildings: comparative investigations of the “building illness” syndrome. **Energy and Buildings**, Lausanne, v.11, n.1/3, p.277-282, March 1988.

KRÜGER, E.; ADRIAZOLA, M.; TAKEDA, N. Avaliação do desempenho térmico em escolas emergenciais da região de Curitiba. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENTAC, 10., 2004, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2004.

LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. **Eficiência Energética na arquitetura**. São Paulo: Pw, 1997. 192 p.

LI, D.; TSANG, E. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. **Building and Environment**, Lausanne, v. 43, n. 9, p.1446-1458, September 2008.

LIN, Z.; DENG, S. A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics: Developing a thermal comfort model for sleeping environments. **Building and Environment**, Lausanne, v. 43, n. 5, p.905-916, May 2008.

MARQUARDT, H. **Determinantes Climatológicas para a Arquitetura em Porto Alegre e Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Gráfica da UFRGS, 1969.

MASCARÓ, Lúcia R. de. **Luz, clima e arquitetura**. São Paulo: Nobel, 1983. 189p.

MASCARÓ, L. E.; MASCARÓ, J. L. **Uso racional de energia elétrica em edificação: iluminação**. São Paulo: agência para aplicação de energia, 1992.

MENDELL, M. J.; HEATH, G. A. Do indoor pollutants and thermal conditions in schools influence student performance? A critical review of literature. **Indoor Air: International Journal of Indoor Environment and Health**, [s.l.], v. 15, n. 1, p.27-52, January 2005.

MORELLO, A. **Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada**. 2005. 178 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

NERY, J.; COELHO, G.; ANDRADE, T. Avaliação do Conforto Lumínico em Edificações Escolares. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 5., 1999, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza, 1999.

NUNES, M. F. **Avaliação da Percepção do Ruído Aeronáutico em Escolas**. 2005. 221p. Tese (Doutorado) – Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2005.

ORNSTEIN, S. W. **Avaliação pós-ocupação aplicada ao conforto ambiental: o caso das escolas de 1º e 2º graus da grande São Paulo**. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 3., 1995, Gramado. **Anais...** Gramado, 1995. p. 637-642.

ORNSTEIN, S. W.; ONO, R. Avaliação Pós-Ocupação (APO) do Conforto Ambiental de Escolas: comparação entre ferramentas qualitativas e quantitativas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC, 8., , 2005, Maceió. **Anais...** Maceió, 2005. p.1387-1396.

ORNSTEIN, S. W.; ROMERO, M. A. **Avaliação Pós-Ocupação do Ambiente Construído**. São Paulo: Studio Nobel, 1992. 223p.

PAPST, A. L. **Uso de Inércia térmica no clima subtropical: estudo de caso em Florianópolis- SC**. 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia)- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 1999.

RAJA, I. et al. Thermal Comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 33, n. 3, p.235-244, February 2001.

REIS, A. T.; LAY, M. C. Avaliação da qualidade de projetos: uma bordagem perceptiva e cognitiva. **Revista Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.6, n.3, p.21-34, jul./set ., 2006.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: acondicionamento térmico natural**. Tradução José Miguel Aroztegui. Porto Alegre: D.C.Luzzatto Editores: ed. da Universidade, UFRGS, 1985. 240 p.

ROAF, S.; FUENTES, M.; THOMAS, S. **Ecohouse: A Casa Ambientalmente Sustentável**. Tradução Alexandre Salvaterra. Porto Alegre: Bookman, 2006. 408p.

ROMERO, M. A.; ORNSTEIN, S. W. **Avaliação Pós-Ocupação: Métodos e Técnicas aplicados à Habitação Social**. Porto Alegre: ANTAC, 2003. (coleção habitare). 294p.

SATTLER, M. A. Edificações Sustentáveis: Interface com a Natureza do Lugar. Capto 8. p.259-287. **Desenvolvimento Sustentável e Gestão Ambiental nas Cidades: Estratégias a partir de Porto Alegre**. Organizado por Rualdo Menegat e Gerson Almeida. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2004.

SCHMID, A. L. **A idéia de conforto: reflexões sobre o ambiente construído**. Curitiba: Pacto Ambiental, 2005. 338p.

SHAPIRO, Y.; EPSTEIN, Y. Environmental Physiology and Indoor Climate: Thermoregulation and thermal comfort. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 7, n. 1, p.29-34, September 1984.

SHAVIV, E. Climate and Building Design: Tradition, Research and Design Tools. **Energy and Buildings**, Lausanne, v. 7, n. 1, p.55-69, September 1984.

SILVA, A. C. **Zoneamento bioclimático brasileiro para fins de edificação**. 1994. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1994. Cap. 3.

SZOKOLAY, S. V. **Environmental Science Handbook: for architects and builders**. Lancaster, England: Pitman. 1980.

THEODOSIOU, T.G.; ORDOUMPOZANIS, K.T. Energy, comfort and indoor air quality in nursery and elementary school buildings in the cold climatic zone of Greece. **Energy and Buildings**, In Press, Corrected Proof, Available online 26 June 2008.

TONIOLO, E. **Eficiência do Sistema de Quebra-Sol e Escola de Ensino Público em Porto Alegre – RS: Desempenho do Ponto de Vista Térmico, Lumínico e de Uso**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS, Porto Alegre, 2004.

TURIK, N. **Estabelecimento de exigências de desempenho higrotérmico de habitações populares térreas: estudo aplicado à casa COHAB tipo RS 16-I.3-42**. 1985. 223 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1985.

UBER, L. L. **A climatologia aplicada ao ambiente construído: uma contribuição à caracterização climática de Porto Alegre/RS**. 1992. 131 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 1992.

VIANNA, N.; GONÇALVES, J. **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo: Geros, 2007. 357p.

YANNAS, S. Environmental Sustainability and Architectural Design: educational buildings in Europe. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO - ENCAC, 3., 1995, Gramado. **Anais...** Gramado, 1995. p. 49-69.

YANNAS, S. **Design of Educational Buildings: Primer**. London: Environment & Energy Studies Programme, Architectural Association Graduate School, 1994. 95p.

YIN, R.K. **Case study research: design and methods**. 2.ed. Thousand Oaks: Sage Publications, 1994. 171p.

ZANIN, N. Z. et al. Projeto Sustentável para a Escola Municipal de Ensino Fundamental Frei Pacífico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 11., 2006, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis, 2006, p.3925-3934.