



AVALIAÇÃO TERMO-LUMINOSA DE UMA ESCOLA DE ENSINO FUNDAMENTAL

Kátia V. Cañellas (1); Amilcar J. Bogo (2); Kelly Jaeger (3); Joice Warmling (4)

(1) Prof. Arq., M.Sc.; (2) Prof. Arq., M.Sc. (3) (4) Estudantes de Arquitetura e Urbanismo
Universidade Regional de Blumenau – FURB - Departamento de Arquitetura e Urbanismo
Laboratório de Conforto Ambiental – LACONFA

Grupo de Estudo e Pesquisa do Habitat – GEPHabitat

Rua Antônio da Veiga, 140, Bairro Victor Konder, CEP 89012-900, Blumenau – SC - Brasil
(47) 3321 0273 - e-mail: katiavc@furb.br

RESUMO

Introdução: Muitas escolas públicas são projetadas dentro de padrões funcionais e construtivos, que não levam em consideração as exigências de conforto ambiental de seus usuários. Este artigo apresenta parte dos resultados obtidos na vertente de conforto ambiental inserida na pesquisa de Avaliação Pós-Ocupação de Escolas Estaduais de Ensino Fundamental na cidade de Blumenau – SC, de clima mesotérmico úmido com verões quentes. **Metodologia:** O trabalho baseou-se em observações, entrevistas, questionários, registro fotográfico e medições *in loco*. Verificou-se a área de ventilação, sombreamento e inércia térmica dos ambientes estudados, segundo estabelecido pela NBR 15220-3. Por meio de medições de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar, avaliou-se o voto médio estimado em relação a sensação térmica (PMV) e a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD). Para a análise do desempenho luminoso, foram realizadas medições de iluminância nos ambientes selecionados.

Resultados: Os sistemas construtivos identificados para paredes externas são adequados aos recomendados pela norma; para as coberturas, devido a ausência de isolamento térmico, identificou-se um resultado muito próximo da inadequação. Com relação ao conforto térmico verificou-se que a escola avaliada possui orientações solares adequadas. O maior problema térmico se refere à sensação de calor, experimentada nos períodos do verão, primavera e eventualmente no inverno. Quanto ao desempenho luminoso, a utilização da iluminação natural só é possível na zona luminosa próxima das janelas, sendo indicado o controle da radiação solar direta para garantir uniformidade de iluminâncias e controle de luminâncias, além da iluminação artificial suplementar nas zonas luminosas mais afastadas das janelas.

Palavras chave: Conforto térmico, desempenho térmico, desempenho luminoso, escolas.

ABSTRACT

Introduction: Many of public building schools are designed by functional and constructive standards, that don't take into consideration indoor thermal comfort. This paper presents some of the results obtained on research of Post-Occupancy Evaluation of Public Building Schools in Blumenau – SC, with mesothermic humid with hot summer climate. **Methodology:** Observations, interviews, questionnaires, photos registers and local measurements are used. It was verified the ventilation areas, shadows and thermal inertia from the parameters established by NBR 15220-3 – Brazilian Standards: Thermal Performance in Buildings. Through measurements of air temperature, relative humidity and air velocity, obtain the Predicted Mean Vote (PMV) and the Predicted Percentage Dissatisfied (PPD). For analysis luminous comfort, have been realized illuminance measurements in the selected classrooms. **Results:** The walls constructive systems identified are adequate; the roofs systems are not adequate (without thermal insulation). The thermal analysis identified adequate solar orientation and the thermal sensation is hot

on summer and spring. The daylighting are incident only near the windows, and the window solar control is necessary to indoor uniform luminous conditions.

Key words: Thermal comfort, thermal conditions, luminous conditions, building schools.

1. INTRODUÇÃO

Esse artigo apresenta os resultados obtidos nos levantamentos realizados em uma das escolas avaliadas na pesquisa de Avaliação Pós-Ocupação de Escolas Estaduais de Ensino Fundamental na cidade de Blumenau – SC e visa discutir a adoção de estratégias de projeto adequadas às particularidades climáticas do lugar.

Selecionou-se para esse estudo uma escola (E.E. B. Max Tavares do Amaral) com concepção formal e sistema construtivo similar à maioria das escolas estaduais de ensino fundamental implantadas na cidade.



Figura 1: Fachada Sudeste



Figura 2: Pátio interno

A escola estudada apresenta 10 salas de aula divididas em dois blocos paralelos, cada sala com dimensão de 8,0 x 6,0 m e pé direito de 3,05 m. Duas salas foram analisadas e apresentam uma única orientação solar cada: a primeira para SE (138°) e a segunda para NO (318°). Em cada sala existem quatro (4) janelas de 1,20 x 1,65 m, do tipo mista (basculante-abrir), com vidro martelado. As paredes externas são de alvenaria de tijolos cerâmicos maciços com espessura média de 0,25m, sendo que nas áreas de peitoris esta dimensão se reduz a 0,15m em tijolo aparente. A cobertura é de telha cerâmica, com beiral de 0,80cm e forro de lambril de madeira de 1 cm de espessura.

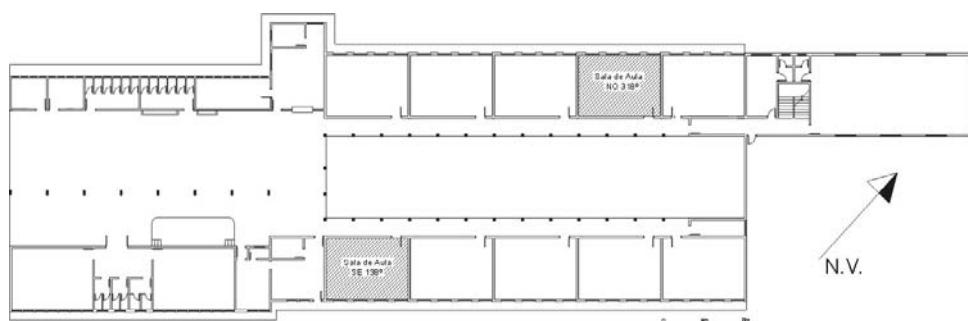


Figura 3: Planta baixa da EEB Max Tavares do Amaral com indicação das salas avaliadas



Figura 4: Interior da sala NO (318°).



Figura 5: Interior da sala SE (138°)

1.1 Caracterização climática de Blumenau

Localizada no Médio Vale do Itajaí, a cerca de 50 km do litoral centro-Norte de Santa Catarina e a 140 km de Florianópolis, na latitude 26° 55' 15", longitude 49° 03' 15" e altitude de 21 m, Blumenau possui clima subtropical úmido ou mesotérmico úmido com verões quentes (Cfa), de acordo com a classificação de Köppen (SANTA CATARINA, 1991). A temperatura média anual de 20,1 °C, sendo que a média mínima é de 16,1 °C e a média máxima é de 27,0 °C. A umidade relativa média é de 84% e a média anual de chuvas é de 1459 mm, com chuvas distribuídas durante o ano e maior concentração nos meses de janeiro e fevereiro (185 mm). Os ventos dominantes são considerados fracos, com velocidade média anual de 1,18 m/s, vindos do quadrante Nordeste no período de verão, início de outono e final de primavera. No inverno a média de horas de Sol é de 123 horas por mês e no verão é de 161 horas por mês, com nebulosidade média de 7,2.

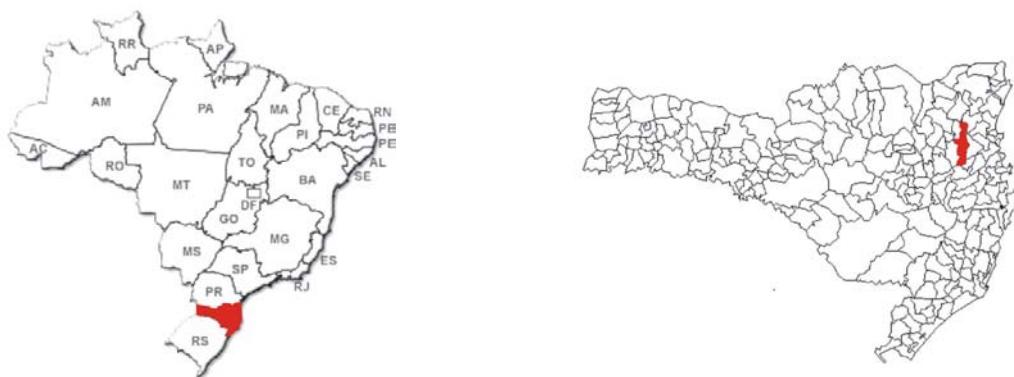


Figura 6 (a): Mapa do Brasil com localização do Estado de Santa Catarina

Figura 6 (b): Mapa de Santa Catarina com localização do município de Blumenau

1.2 Análise de rigor climático

A análise do rigor climático local baseada no método das Tabelas de Mahoney (MAHONEY, 1971), realizada por (BOGO, 1997), é adiante apresentada, junto com uma avaliação pessoal de sensação térmica vivência na cidade, identificando situações de transição Quente-Conforto, Conforto- Frio em algumas situações, não identificadas no método de Mahoney. Esse método, apesar de ser considerado simplificado, analisa dados mensais de temperatura do ar, umidade relativa, chuvas e direção dos ventos que, aliados ao diagnóstico do rigor climático, possibilitam a definição de estratégias para projeto e características construtivas das edificações.

Por meio do rigor climático local, foram identificando períodos de calor, de frio e de conforto nos diferentes meses do ano, para o período diurno e noturno.

Tabela 1 – Rigor climático para a cidade de Blumenau

| MESES | J | F | M | A | M | J | J | A | S | O | N | D |
|-------|-----|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|-----|-----|-----|
| DIA | Q | Q | Q | Q/C | C | C | C | C | C | Q/C | Q | Q |
| NOITE | Q/C | Q/C | Q/C | C | C/F | F | F | F | F | C/F | Q/C | Q/C |

Onde:

Q = Maior probabilidade de situação quente.

C = Maior probabilidade de situação de conforto.

F = Maior probabilidade de situação de frio.

Assim, em Blumenau, existem doze (12) períodos de calor, dos quais 7 diurnos, assim como seis (6) períodos de frio, todos noturnos. Fica caracterizado então o rigor climático de calor (Q), dominante na cidade.

Considerando-se o período letivo (março até dezembro) e os turnos de aula das escolas avaliadas (manhã e tarde), observa-se inicialmente uma maior probabilidade de conforto entre os meses de maio a outubro. Nos demais períodos há maior probabilidade de calor.

2. METODOLOGIA

A metodologia utilizada baseou-se em observações, entrevistas, questionários, registros fotográficos e medições *in loco*. Observou-se as características formais dos espaços analisados como tamanho, configuração espacial, localização, dimensionamento e tipologia de janelas, tipos de vidros, existência de sistema de sombreamento, materiais e cor dos revestimentos internos e externos, obstrução externa, sistema de iluminação e condicionamento artificial.

As medições das variáveis térmicas e luminosas ocorreram em três épocas do ano: inverno (12/08/2004), primavera (26/10/2004) e verão (22/02/2005), em dois períodos distintos do dia: manhã (entre 9 e 11 horas) e tarde (entre 14 e 16 horas).

Para a análise de **desempenho térmico**, foi realizada a verificação das condições de ventilação, sombreamento, inércia térmica, forma e orientação dos ambientes estudados, com base nos parâmetros estabelecidos pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005).

Segundo a mesma norma, para a Zona Bioclimática 3, onde se localiza a cidade de Blumenau, as diretrizes e estratégias a serem atendidas são as seguintes:

Aberturas para ventilação: Média ($15\% < A < 25\%$)

Necessidade de sombreamento das aberturas: permitir o sol durante o inverno.

Vedações Externas: - Parede leve refletora ($U \leq 3,6$; $\phi \leq 4,3$; $FCS \leq 4,0$)¹ e cobertura leve isolada ($U \leq 2,0$; $\phi \leq 3,3$; $FCS \leq 6,5$).

Para o verão: ventilação cruzada com janelas em mais de uma fachada.

¹ U = Transmitância térmica ($W/m^2.K$); ϕ = Atraso térmico(horas); FCS = Fator de calor solar(%).

Para o inverno: aquecimento solar da edificação, através de orientação solar favorável e inércia térmica com paredes e coberturas de maior massa térmica.

Para a análise do **conforto térmico**, realizaram-se medições de temperatura, umidade relativa e velocidade do ar. A determinação dos pontos de medição seguiu as recomendações da norma (ISO 7726, 1996) e os resultados foram registrados em planilhas específicas. Os dados medidos, junto com as características de atividade desenvolvida e vestimenta dos usuários, foram inseridos no programa Analysis CST (ANALYSIS CST, 2002), para determinação das condições de conforto térmico, segundo o voto médio estimado em relação a sensação de conforto térmico (PMV) e a percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD) nas diferentes épocas do ano nos ambientes avaliados.

Como no momento das medições não havia incidência de radiação solar direta nos ambientes, considerou-se a temperatura radiante média igual à temperatura do ar.

A avaliação do conforto térmico baseia-se na norma ISO 7730 (ISO,1994), com cálculo do índice PMV (*Predict Mean Vote*), que exprime um voto de sensação térmica, relacionado a uma escala psicofísica, adiante apresentada:

Tabela 2 – Parâmetros de avaliação do PMV

| Muito quente | Quente | Levemente quente | Neutro | Levemente frio | Frio | Muito Frio |
|--------------|--------|------------------|--------|----------------|------|------------|
| +3 | + 2 | + 1 | 0 | -1 | -2 | -3 |

As informações sobre desconforto térmico são obtidas a partir do índice PPD (*Predict Percentage of Dissatisfied*), por meio da estimativa percentual de pessoas suscetíveis de sentir muito calor ou muito frio em um dado ambiente. Os parâmetros de PPD recomendados como aceitáveis para conforto térmico devem ter valores menores que 10%, correspondente aos limites para PMV entre -0,5 e + 0,5.

Para a análise de **desempenho luminoso** realizaram-se medições de iluminâncias naturais nos ambientes selecionados, com determinação do número de pontos e da malha de medição de acordo com o projeto de norma da ABNT (ABNT, 1999). No momento das medições as janelas estavam completamente abertas e desobstruídas e a iluminação artificial estava desligada.

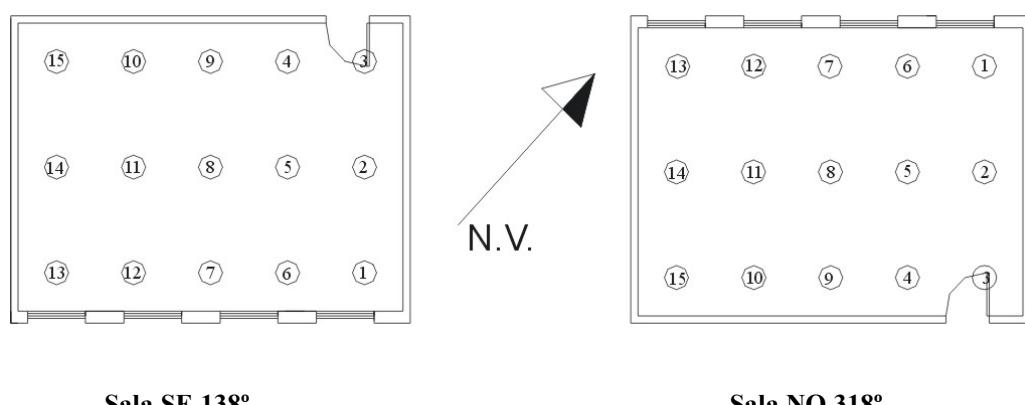
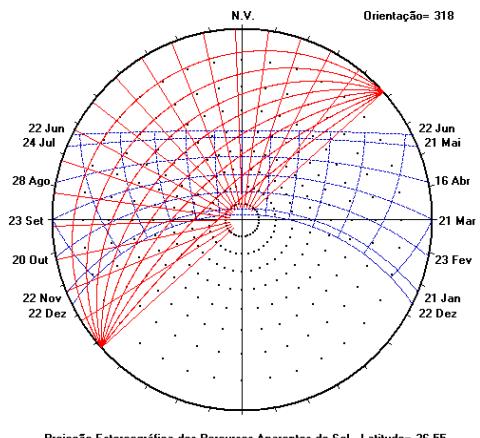
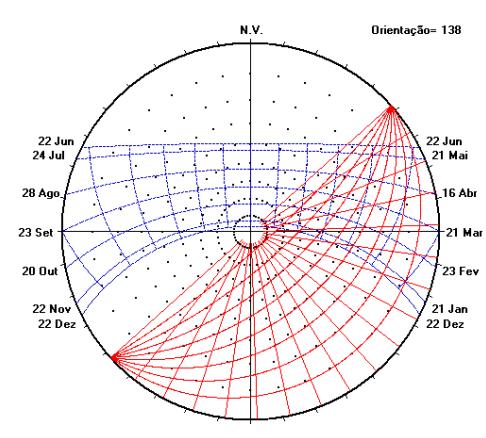


Figura 7: Pontos de medição de iluminâncias

Considerou-se também a orientação solar, a penetração do Sol no espaço e a distribuição iluminâncias naturais internas, a posição das janelas, a existência de ofuscamento e a necessidade de uso de elementos de sombreamento.



Orientação solar NO 318°



Orientação solar SE 138°

Figuras 8(a) e 8 (b) : Diagrama solar para Blumenau e orientação das aberturas em análise

Foi adotado como parâmetro de avaliação, a classificação de iluminância natural média interna (MACEDO, 2002), que segue:

Tabela 3 – Classificação de iluminância natural interna

| | |
|------------------------|--|
| Muito Bom | valores entre 1.000 e 2.000 lux |
| Bom | valores entre 300 e 1.000 lux |
| Ruim/Admissível | valores entre 100 e 300 lux valores entre 2.000 e 3.000 lux |
| Insuficiente/Excessivo | valores abaixo de 100 lux valores acima de 3.000 lux |

Em relação a esta classificação apresentada, deve-se considerar que valores superiores a 2.000 lux representam um acréscimo significativo nos ganhos térmicos e um aumento de consumo de energia para condicionar o ambiente, sem necessariamente melhorar a acuidade visual (MASCARÓ e VIANNA, 1980).

Identificaram-se pontos da sala, horários do dia e épocas do ano em que há deficiências da iluminação natural. Analisou-se a distribuição de iluminâncias em cada local através da relação entre as áreas bem e mal iluminadas, assim como a necessidade de iluminação artificial suplementar, tanto para garantir as iluminâncias recomendadas para a realização de tarefas visuais, quanto para qualificar o ambiente, eliminando contrastes excessivos e adaptação desfavorável do olho.

3. RESULTADOS

3.1 Desempenho térmico

A comparação entre os resultados obtidos no levantamento de dados de campo e as diretrizes construtivas do projeto de norma (ABNT,2003) são apresentados na tabela 4 que segue:

Tabela 4: Diretrizes construtivas para EE Max Tavares do Amaral

| | | Diretrizes Construtivas | Recomendado | Resultados |
|---------------------------------------|--|----------------------------|--|--------------------------------|
| Ventilação e Sombreamento | | Aberturas para Ventilação | Média (15 – 25%) | 14,30% |
| | | Sombreamento das Aberturas | Permitir Sol no inverno | Não ocorre |
| Vedações Externas | | Parede | Leve Refletora $U \leq 3,60 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U=2,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| | | Cobertura | Leve Isolada $U \leq 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U=2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$ |
| Estratégia de condicionamento passivo | | Verão | Ventilação Cruzada | Não possui |
| | | Inverno | Aquecimento Solar | Permite |
| | | | Vedações internas pesadas $U \leq 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ | $U=3,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ |

Analizando os dados, identifica-se situações adequadas do ponto de vista da área de aberturas para ventilação, paredes e cobertura. Por se tratar de salas de aula, a entrada de Sol no inverno não é adequada devido aos possíveis problemas de ofuscamento.

3.2 Conforto térmico

Os resultados obtidos na análise de conforto térmico nas duas salas são apresentados na tabela 5 que segue abaixo:

Tabela 5: Resultados experimentais de conforto térmico

| | Inverno | | | | Primavera | | | | Verão | | | |
|-----|---------|------|---------|-------|-----------|-------|---------|-------|---------|-------|---------|-------|
| | SE 138° | | NO 318° | | SE 138° | | NO 318° | | SE 138° | | NO 318° | |
| | Mat. | Vesp | Mat. | Vesp | Mat. | Vesp | Mat. | Vesp | Mat. | Vesp | Mat. | Vesp |
| PMV | -1,75 | 0,16 | -1,70 | -0,65 | -1,29 | -0,58 | -0,89 | -0,53 | 1,00 | 2,33 | 0,92 | 2,26 |
| PPD | 64,2 | 5,55 | 61,5 | 13,98 | 39,9 | 11,93 | 21,6 | 10,97 | 25,9 | 89,04 | 22,8 | 86,92 |

A partir da análise destes resultados, observa-se que no inverno matutino, as duas salas apresentam situação próxima de frio; no período vespertino a sala de orientação SE (138°) apresenta situação de neutralidade enquanto a sala NO (318°) de levemente frio.

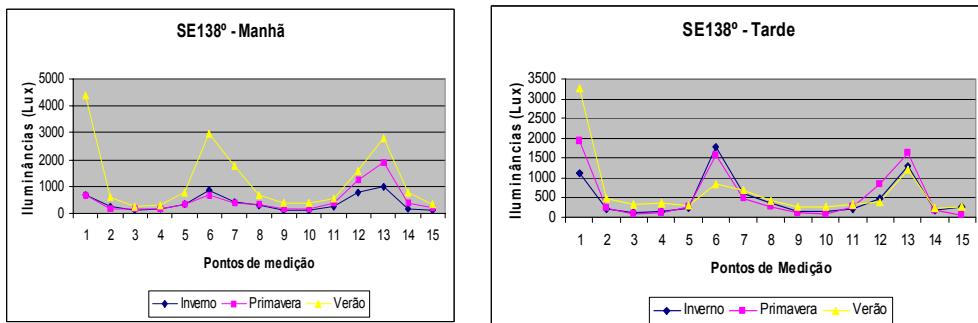
Na primavera matutina, em ambas as salas apresenta-se situação de levemente frio, e no período vespertino, a sensação de neutralidade.

O verão matutino apresenta em ambas as salas a situação de sensação de quente, e no período vespertino muito quente.

3.3 Desempenho luminoso

A análise dos questionários relativos a sala SE (138°) apontou um resultado satisfatório na avaliação dos usuários, que consideraram a iluminação do ambiente muito boa (60%) e boa (27%). Esse fato se confirma através dos dados medidos. Observa-se que o ambiente apresenta, nos diversos períodos do ano, iluminâncias entre 300 e 1.000 lux, e em alguns pontos entre 1.000 e 2.000 lux, com classificação boa e muito boa nas zonas luminosas próximas à janela e intermediária. Apenas no período de verão, pela manhã, identificam-se pontos próximos à janela com iluminâncias superiores a 3.000 lux. Nas

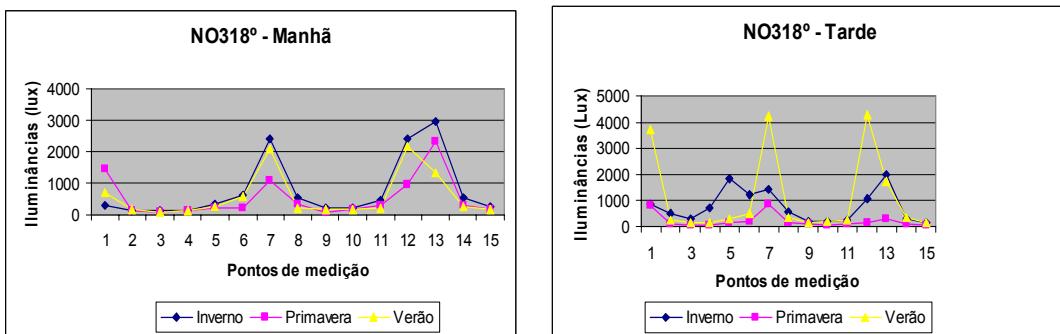
zonas afastadas das janelas (pontos de medição múltiplos do número 3), as iluminâncias registradas são inferiores a 300 lux, cuja classificação é ruim e muito ruim.



Figuras 9 e 10 - Gráficos de Iluminâncias naturais medidas na sala SE138° - Manhã e tarde

Para a sala NO (318°), os questionários aplicados aos usuários apontaram uma insatisfação com relação à iluminação do ambiente. Os alunos do período da manhã consideram a sala escura (47%) e muito escura (17,5%). No período da tarde, o ambiente foi considerado escuro para 40,6% dos usuários, muito escuro para 15,6% e excessivamente claro para 6,25% dos usuários.

Através das medições *in loco*, identificou-se que, no inverno pela manhã, a classificação de iluminância é boa e muito boa na faixa central da sala, com iluminâncias variando entre 330 e 2.000 lux, mas a sala apresenta áreas de iluminação excessivas (acima de 2.000 lux), classificadas como muito ruins, localizados próximos à janela. No período da tarde, os valores são adequados nos pontos próximos à janela e ao quadro negro. Por outro lado, na primavera e no verão, tanto de manhã quanto a tarde, identificam-se zonas luminosas boas (entre 300 e 1.000 lux) apenas nos locais próximos às janelas. Nas demais zonas há deficiência de iluminação, com iluminâncias inferiores a 300 lux, cuja classificação é ruim e muito ruim.

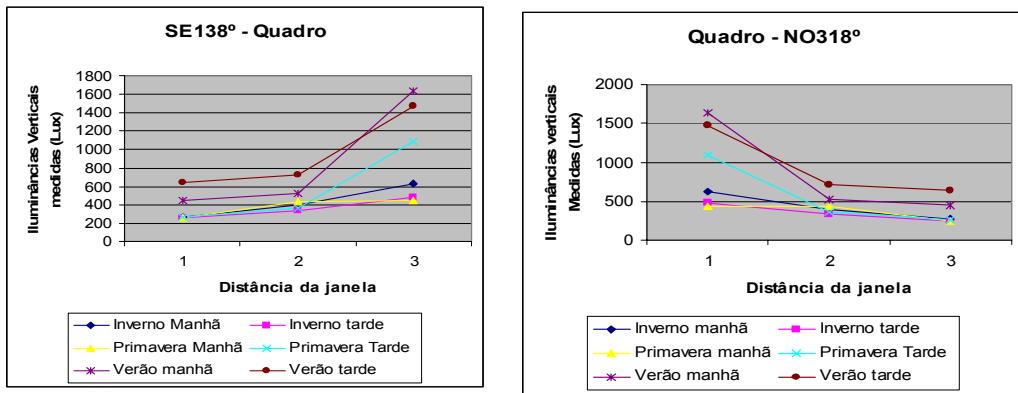


Figuras 11 e 12 – Gráficos de Iluminâncias naturais medidas na sala NO318° - Manhã e tarde

Com relação à iluminação do quadro, os questionários apontaram um nível satisfatório de iluminação para a sala SE138°. No período da manhã os usuários desse ambiente classificaram a iluminação do quadro como muito boa (66%) e boa (30%). No período da tarde a classificação dos usuários foi considerada muito boa (38%) e boa (57%).

Por outro lado, na sala NO318°, as opiniões ficaram divididas quanto à iluminação do quadro no período da manhã, com porcentagens em torno de 50% para classificação boa e muito boa. Já no período da tarde a iluminação nessa região da sala foi considerada insatisfatória por cerca de 55% dos usuários (43% classificaram como escura e 12% como muito escura).

As iluminâncias verticais medidas no quadro apontam variações muito altas (em torno de 1.000 lux) entre as áreas mais próximas e mais afastadas da janela. Observa-se iluminâncias mais elevadas (acima de 500 lux) nos períodos de verão. Por outro lado, nos períodos de inverno (manhã e tarde) e primavera (manhã) as iluminâncias nas áreas central e mais afastada da janela são inferiores a 400 lux.



Figuras 13 e 14 – Gráficos de Iluminâncias verticais medidas no quadro

4. RECOMENDAÇÕES

Quanto ao **desempenho térmico**, recomenda-se as seguintes ações:

- Implantação de janelas altas nas paredes opostas àquelas já existentes para favorecer a ventilação cruzada;
- Utilização de isolamento térmico entre a telha e forro de madeira;
- Adoção de elementos de controle solar mais eficientes, que evitem a radiação solar direta nos períodos mais quentes, sem prejudicar a ventilação e favorecendo a visualização do exterior. Isso seria possível através de elementos adicionados à própria fachada.

Quanto ao **desempenho luminoso**, recomenda-se as seguintes ações:

- Utilização de iluminação específica para o quadro negro, com iluminância mínima no plano vertical de 300 lux e controle de luminâncias excessivas próximo à janela para evitar ofuscamento;
- Aplicação de cores claras para o ambiente, principalmente no teto e paredes;
- Eliminação no campo visual do usuário, de materiais de acabamento com superfícies polidas e reflexivas, como mesas de trabalho, paredes e superfícies próximas às janelas;
- Controle da radiação solar direta no plano de trabalho e nas superfícies próximas à janela para garantir uniformidade de iluminâncias e luminâncias adequadas. Isso pode ocorrer através de elementos externos de proteção ou através do uso de persianas cuja regulagem favoreça o direcionamento da luz para o teto.

5. CONCLUSÕES

Os sistemas construtivos identificados para paredes externas estão adequados aos recomendados pelo projeto de norma. Para as coberturas identificou-se um resultado muito próximo da inadequação, devido a ausência de isolamento térmico.

Com relação ao conforto térmico verifica-se que a escola possui orientações solares adequadas. A fachada de maior incidência solar NO (318°), está protegida por uma massa arbórea que bloqueia a radiação solar no ambiente. A fachada SE (138°) recebe pouca incidência do Sol nas manhãs de inverno, no verão até aproximadamente 10 horas, sendo depois bloqueada pelo beiral.

A partir dos questionários, observações de campo e medições, observou-se que o maior problema existente nas salas de aula em relação ao conforto térmico se refere a sensação térmica de calor, experimentada nos períodos do verão, primavera e eventualmente no inverno.

Com relação ao conforto luminoso verifica-se que a utilização da iluminação natural só é possível na zona luminosa mais próxima das janelas, sendo indicada à iluminação artificial suplementar nas zonas luminosas intermediária e mais afastada das janelas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – NBR 15220-3 (2005). Desempenho térmico de edificações: Parte 3: Zoneamento bioclimático e Diretrizes construtivas para habitações.
- ABNT – NBR 15215-4 (2005). Iluminação Natural: Parte 4: Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de medição.
- ABNT – NBR 5413 (1992). Iluminância de interiores.
- ANALYSIS CST (2002). Programa Analysis CST. Departamento de Engenharia Civil - Núcleo de Pesquisa em Construção - Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE). UFSC, Florianópolis.
- BOGO, Amilcar José (1998). Iluminação natural e arquitetura. Blumenau: FURB, Laboratório de Conforto Ambiental.
- BOGO, Amilcar José (1997). Clima e arquitetura em Blumenau. Blumenau: FURB, Laboratório de Conforto Ambiental.
- BOGO, Amilcar José (1998). Conforto térmico e conservação de energia para edificações escolares. Blumenau: FURB, Laboratório de Conforto Ambiental.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 7726: (1996). Ergonomics of the thermal environment – Instruments for measuring physical quantities. ISO: Genebra.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION - ISO 7730: (1994). Moderate thermal environments – Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort. ISO: Genebra.
- MACEDO, C.C.(2002). Análise de desempenho térmico e luminoso de sistemas de iluminação natural que utilizam a luz direta do sol. Dissertação de Mestrado , Curso de Pós-graduação em Engenharia Civil, UFSC: Florianópolis.
- MAHONEY, C.(1971). Climate and house design. Department of economic and social affairs. New York. United Nations, 93 p.
- SANTA CATARINA. Atlas escolar de Santa Catarina. Florianópolis. SEPLAN, 1991, 135 p.