

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DA ENVOLTÓRIA DO COLÉGIO DE APLICAÇÃO PEDAGÓGICA DA UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ

Mariana Fortes Goulart (1); Kelen Almeida Dornelles (2); Rosana Caram (3)

(1) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, marigoulart@usp.br

(2) Professora do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, kelend@sc.usp.br

(3) Professora Associada do Instituto de Arquitetura e Urbanismo, rcaram@sc.usp.br
Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, São Carlos-SP.

RESUMO

O Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá (CAP/UEM) fazia parte de um programa do governo nacional que pretendia implantar cinco mil escolas de tempo integral no Brasil inteiro, os CAICs - Centros de Atenção Integral à Criança e ao Adolescente. Mesmo com necessidade de rapidez e baixo custo, Lele cria diversos dispositivos para proporcionar conforto térmico aos usuários em uma arquitetura que se tornou um marco desse programa governamental. O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho térmico das envoltórias do CAP/UEM. O método adotado nesta pesquisa compreende a análise do sistema de fachadas e cobertura em três etapas: estudo da implantação e insolação, análise dos materiais e componentes construtivos e medições das variáveis ambientais na edificação. Os resultados indicam um grande ganho térmico através da cobertura, elemento que necessita de intervenção na sua arquitetura para proporcionar mais conforto aos usuários.

Palavras-chave: desempenho térmico, CAIC, João Filgueiras Lima.

ABSTRACT

The Pedagogical Application College of the State University of Maringá (CAP/UEM) was a part of a nationwide project intended to create five thousand full-time schools throughout Brazil, the CAICs - Centers for Integral Attention to Children and Adolescents. Even with the need for speed and low cost, Lele creates various devices to provide thermal comfort to users in an architecture that has become a hallmark of this government program. This paper aims to evaluate the thermal performance of the wrappers of CAP/UEM. The method adopted in this research includes the analysis of facades and roofing in three stages: a study of deployment and heatstroke, analysis of materials and building components and measurements of environmental variables in the building. The results indicate a large heat gain through the roof, an element that requires intervention on its architecture to provide more comfort to the users.

Keywords: thermal performance, CAIC, João Filgueiras Lima.

1. INTRODUÇÃO

As escolas são vistas como um meio socializador, responsável pela difusão de conhecimentos e pela transmissão de valores de uma cultura entre gerações. A interação entre arquitetos e educadores se faz essencial para atingir a plenitude dos projetos pedagógicos, uma vez que todo meio físico, de qualquer natureza, exerce um impacto direto e simbólico sobre seus ocupantes (ELALI, 2003). Motta Júnior (1895 apud BUFFA, 2008), médico de formação e político, quando era Secretário dos Negócios do Interior do Estado de São Paulo, proferiu uma frase taxativa acerca da relação da pedagogia com o espaço construído: “sem bons prédios é impossível fazer boas escolas”, reiterando assim, a importância da arquitetura no processo educacional de aprendizagem.

Segundo Mueller (2007), a aprendizagem é um processo dinâmico e complexo, que ocorre em qualquer tipo de ambiente. Entretanto, pesquisas apontam que espaços escolares com alta qualidade ambiental refletem diretamente no desempenho dos estudantes. A qualidade do ar interno é essencial para a saúde dos estudantes; a iluminação natural é importante para a melhor absorção do aprendizado; a temperatura, umidade e níveis de ruído interferem na concentração e no desenvolvimento da criatividade. A implantação da escola e orientação dos ambientes e janelas em relação à insolação e aos ventos são responsáveis pelo ganho de calor dos edifícios, bem como a quantidade, tamanho e localização de janelas, as propriedades dos materiais, a resistência, a capacidade térmica e as cores das envoltórias, além da vegetação do entorno. Situações que causam desconforto aos usuários como temperaturas extremas, falta de ventilação adequada, umidade excessiva em locais com temperaturas altas podem ser prejudiciais e causar sonolência, alteração dos batimentos cardíacos e aumento da sudorese. Essas situações são muito prejudiciais para o aprendizado e podem provocar apatia e desinteresse pelos estudos (KOWALTOWSKI, 2011). Dessa maneira, fica evidente que uma sala de aula bem iluminada e apropriadamente ventilada, com boas condições de conforto ambiental no seu interior, proporciona aos alunos um processo de aprendizagem mais rápido, já que estes se sentem mais confortáveis e se distraem menos.

O Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá (CAP-UEM) oferece ensino fundamental e médio, localiza-se no Campus da universidade e tem por mantenedor o Governo do Estado do Paraná. Foi fundado em 1974 para atender à comunidade e servir como laboratório de investigação, testagem, experimentação pedagógica, renovação e melhoria do ensino fundamental e médio, bem como campo de estágios para os cursos de licenciatura da universidade. Inicialmente, o CAP funcionava em um dos blocos existentes do campus, sendo que, somente em 1995, durante o governo de Fernando Henrique Cardoso, foi concluída a obra do atual edifício do CAP, um projeto que fazia parte do programa dos CAIC's.

O CAIC é um desdobramento do CIAC - Centros Integrados de Atendimento à Criança e ao Adolescente, programa criado em 1990 que tinha como principal característica a construção de cinco mil escolas de tempo integral as quais previam atendimento em creches, pré-escola e ensino de 1º grau; saúde e cuidados básicos; convivência comunitária e desportiva (FREITAS; GALTER, 2007).

O arquiteto João Filgueiras Lima, Lelé, foi convidado para participar do empreendimento devido ao seu grande conhecimento e experiência prática com sistemas construtivos rápidos e industrializados de argamassa armada (GUIMARÃES, 2003). Porém, devido às questões políticas, a participação da equipe de Lelé, nessa experiência, limitou-se a execução de dois protótipos e da elaboração dos projetos, posteriormente modificados, descaracterizando a concepção inicial do projeto (LATORRACA, 1999). Mesmo com necessidade de rapidez e baixo custo, Lelé cria diversos dispositivos para proporcionar conforto térmico aos usuários em uma arquitetura que se tornou um marco desse programa governamental.

A figura 1 traz na porção inferior direita, duas imagens gerais da escola (sendo a primeira tirada em 1995 e a segunda em 2012), além da implantação do conjunto. É possível observar o bloco 01, que originalmente continha consultórios médicos e odontológicos, hoje há salas de reforço que acontecem em contra turno, salas de artes, música, salas para a nova primeira série (do ciclo de nove anos), além da biblioteca e do auditório que já existiam no projeto inicial. O bloco 02, único com dois pavimentos, abriga no térreo o refeitório, a cozinha e área de serviço, toda parte administrativa com as secretarias, salas de direções, arquivos, sala de professores, banheiros, sala de informática, laboratório de ciências; e no segundo pavimento é onde ficam as salas de aulas para alunos do Ensino Fundamental. O conjunto conta ainda com o ginásio para atividades esportivas e o bloco 03, onde antigamente era o bloco da pré-escola, hoje atende alunos do Ensino Médio de manhã e das séries iniciais do Ensino Fundamental no período da tarde.

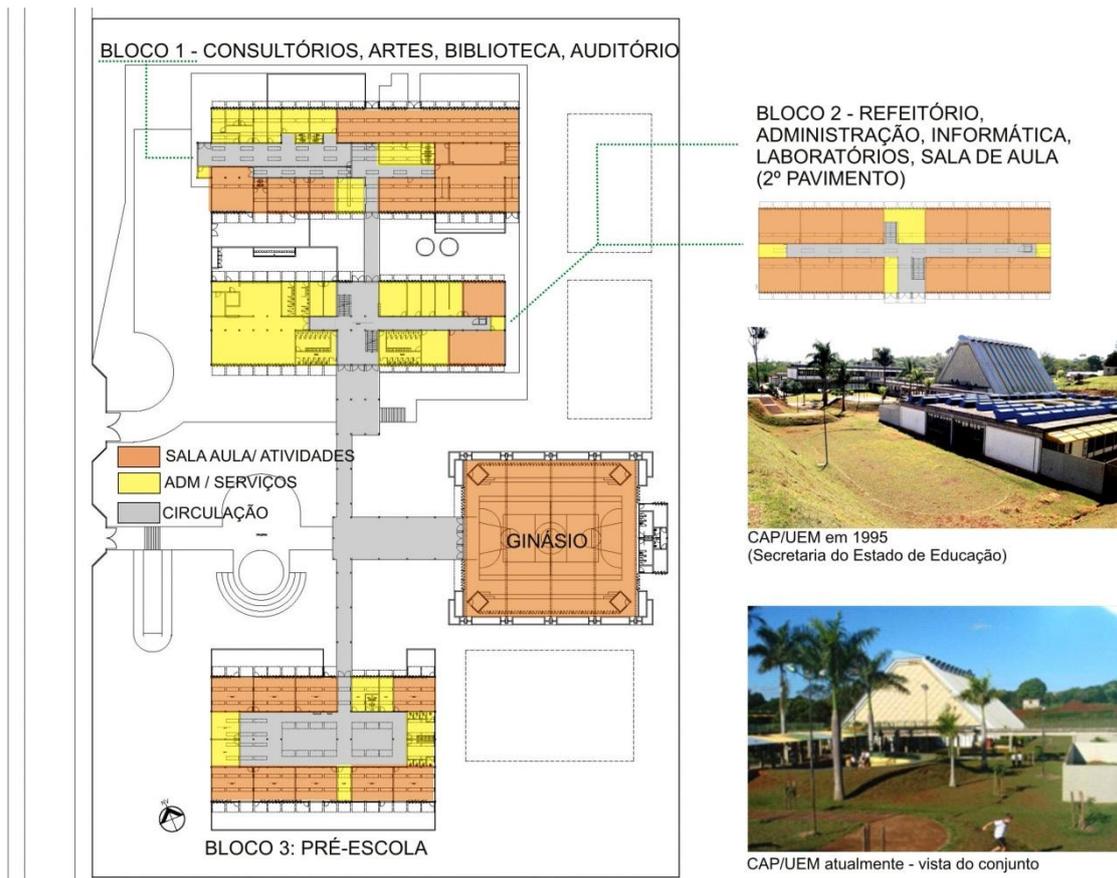


Figura 1: Setorização da planta do CAP/UEM e imagens do conjunto

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é fazer uma avaliação de desempenho térmico do Colégio de Aplicação Pedagógica da Universidade Estadual de Maringá – PR, a partir de estudos dos materiais e componentes da envoltória da edificação e de medições de variáveis ambientais realizadas *in loco*.

3. MÉTODO

O método adotado nesta pesquisa compreende a análise do sistema de fachadas e cobertura em três etapas: estudo da implantação e insolação, análise dos materiais e componentes construtivos e medições das variáveis ambientais na edificação.

3.1. Implantação e insolação

Para verificar a potencialidade do projeto arquitetônico e dos componentes construtivos no desempenho térmico do edifício, realizaram-se estudos de insolação a fim de identificar como o sol penetra no edifício, uma vez que a radiação solar é uma das maiores responsáveis pelo ganho de calor em um edifício, devendo as aberturas estar bem protegidas. Esses estudos foram feitos com base na carta solar para latitude 24°Sul, a que mais se aproxima da latitude de Maringá, que é -23° 25' 31".

3.2. Materiais e componentes construtivos

É sabido que a envoltória tem papel fundamental no desempenho térmico dos edifícios. Para tanto, foram calculados valores de transmitância térmica, atraso solar e fator solar das paredes e cobertura segundo critérios da NBR 15220-2 (ABNT, 2005a), que trata do Zoneamento Bioclimático Brasileiro. Os resultados foram comparados com os valores recomendados pela norma NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), que considera os dados das normais climatológicas medidos de 1961 a 1990; e pela tabela de Mahoney, em que foram utilizadas as médias dos principais atributos climáticos de Maringá no período de 2002 a 2011.

3.3. Medições das variáveis ambientais

As variáveis ambientais medidas na edificação foram: temperatura do ar, temperatura de globo (para cálculo da temperatura radiante média), umidade relativa e velocidade do vento. Os equipamentos utilizados foram emprestados do Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada da UNICAMP e do Laboratório de Conforto Ambiental da Universidade Estadual de Maringá, além do próprio Laboratório de Conforto Ambiental do IAU (Instituto de Arquitetura e Urbanismo da USP). Foram utilizados registradores da marca TESTO modelos 175-T2, 175-H1, 177-H1, 445, além do anemômetro TESTO 405-v1. As medições dessas variáveis aconteceram nos dias 28 e 29 de novembro e 01 de dezembro de 2011, no período das 07h30 às 11h30 e das 13h30 às 17h30, a cada 10 minutos. Foram avaliadas quatro salas de aulas e a biblioteca, além de um ponto externo de referência. As salas foram escolhidas de acordo com a orientação de suas fachadas, sendo que duas são orientadas para nordeste e duas para sudoeste (Figura 2). As salas 01 e 02 ficam no único bloco que possui dois pavimentos e estão localizadas no pavimento superior; as salas 03 e 04 estão no térreo e são circundadas por um muro externo de 2,0 metros de altura.

No primeiro dia de medição, os ventiladores estavam desligados, mas nos demais os ventiladores foram ligados, tamanho desconforto dos alunos que não conseguiam ficar sem o uso do ventilador. Estes eram localizados na frente e no fundo das salas. Com excessão do pedido para o desligamento dos ventiladores no primeiro dia, as salas foram monitoradas como os usuários as deixam. As janelas permaneceram abertas praticamente o tempo todo, com excessão de algumas vezes em que o sol causava reflexo na lousa e era necessário fechar a janela.

De acordo com os resultados da primeira etapa de medições, verificou-se a necessidade de realizar medições da temperatura superficial interna da cobertura e do piso, pois se observou um desconforto muito grande devido ao aquecimento da cobertura. Essas medições aconteceram nos dias 04 e 05 de abril de 2012 com um termômetro digital da marca Minipa, modelo MT-350, que usa sistema de medida por irradiação infravermelha. Essas medições aconteceram nas mesmas salas avaliadas às 7h, 9h30, 12h, 13h, 15h30 e 18h. A temperatura do ar e a umidade relativa foram medidas com um termo-higrômetro digital simples.

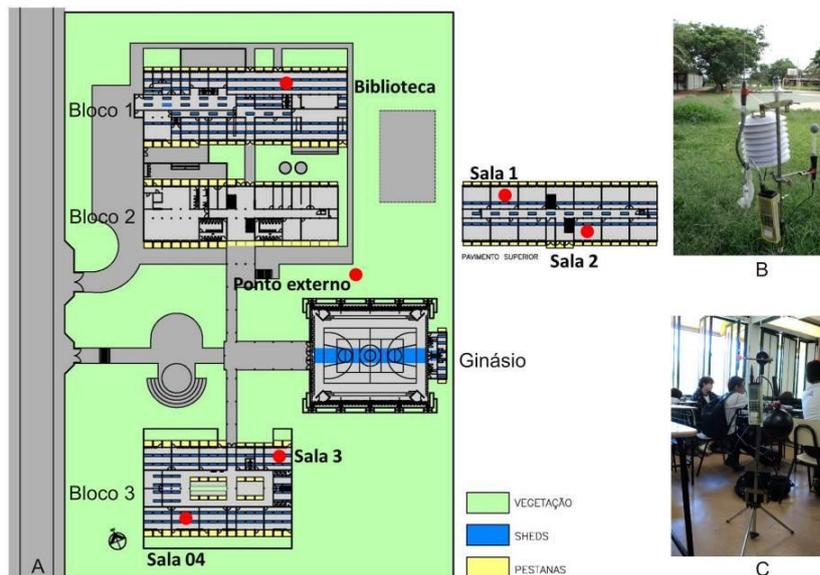


Figura 2: Pontos onde foram realizadas as medições (A); equipamento no ponto externo (B); equipamento na sala de aula (C)

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1. Implantação e proteção das fachadas

Observando a implantação do conjunto no terreno (Figura 3), nota-se que os edifícios possuem aberturas em duas fachadas opostas que estão orientadas para nordeste e sudoeste, com azimute igual a 21,6 graus e 201,6 graus, respectivamente. Analisando as curvas de nível, percebe-se que houve movimento de terra, tendo ficado a escola toda em um único nível, configurando um platô. O terreno cai em direção ao Norte. Próximo à curva mais ao Sul da escola, o terreno era mais alto e foi necessário escavar, formando um grande talude que se configura como uma barreira para a incidência de ventos, principalmente no bloco 03, que fica semienterrado, como pode ser observado nas figuras 4 e 5.

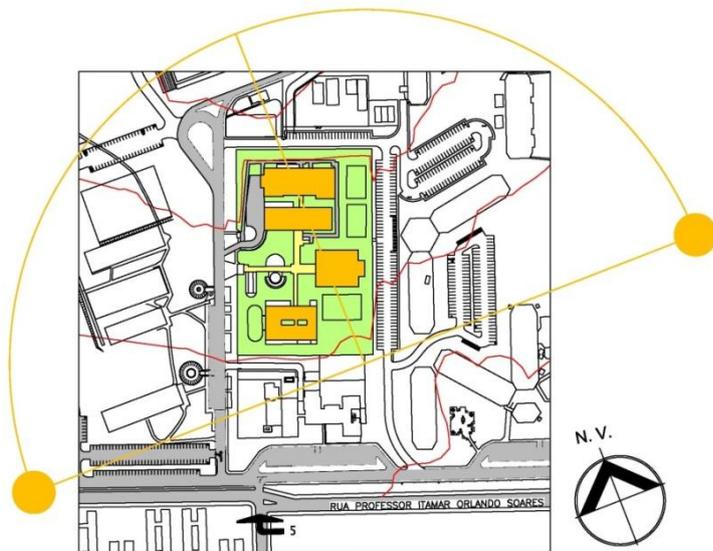


Figura 3: Implantação do CAP/UEM



Figura 4: Perfil do terreno próximo ao bloco 03



Figura 5: Talude próximo ao bloco 03

Todas as aberturas das fachadas nordeste e sudoeste são protegidas por marquises, que o arquiteto Lelé chama de pestanas. Esses elementos de proteção horizontal possuem larguras diferentes, dependendo da altura do peitoril da janela. Peitoris mais baixos possuem pestanas mais largas, peitoris mais altos possuem proteções mais estreitas.

Com base na carta solar para Maringá, pode-se observar os períodos que o sol incide nas fachadas sem considerar as pestanas, como se elas não existissem. Nota-se que a fachada nordeste ($21,6^\circ$) receberia sol praticamente o ano todo, sendo que no verão receberia o sol da manhã (entre 6h e 12h), nos equinócios até às 15 horas e no inverno o dia todo, entre 6h45 e 17h15. Já a fachada oposta, a sudoeste, receberia o sol da tarde toda no verão (entre 12h e 18h30), nos equinócios somente depois das 15 h até 18h e no inverno não receberia sol.

Nas salas de aula que foram inicialmente concebidas para ser da pré-escola, e dessa forma, atender aos alunos mais novos, o peitoril é mais baixo, de 45 cm e a pestana tem 1,80 m de largura (figura 6). Talvez esse rebaixamento do peitoril seja para que a ventilação cruzada acontecesse na altura dos usuários, que neste caso é mais baixa, e então necessitaria de maior proteção horizontal, como de fato aconteceu. Isso acontece também no refeitório, e nos locais onde ao invés de janelas, têm-se portas. Já as demais salas, para alunos mais velhos e funcionários, o peitoril é de 85 cm e a pestana tem 1,15 m de largura (figura 10). Como os blocos possuem grande comprimento, cerca de 40 a 50 metros, e suas janelas e pestanas estão alinhadas, as janelas mais ao centro dos blocos são mais bem protegidas, pois, pode-se considerar que os brises destas janelas são horizontais infinitos, já que os ângulos γ_d ou γ_e das janelas são de 3° . Quanto mais próximas às extremidades, menor é a eficiência da proteção, já que a proteção se restringirá a apenas um lado, o lado protegido pelo brise. Os estudos foram feitos considerando as janelas centrais com brises infinitos.

A partir das máscaras de sombra apresentadas nas figuras 7 e 8, tem-se o período de insolação nas fachadas nordeste e sudoeste com as pestanas mais largas e o peitoril mais baixo, situação observada na figura 9. Percebe-se que no verão, a fachada nordeste estará totalmente protegida, já nos equinócios, o sol incidirá no início da manhã, das 6h até as 08h20. No inverno, essa fachada receberá o sol da manhã toda até o meio dia (6h45 à 12h), o que pode ser uma boa estratégia, visto que as estratégias bioclimáticas para Maringá exigem aquecimento passivo no inverno. Comparando estes dados com a situação sem proteções solares, percebe-se o grau de eficiência dessa proteção para a fachada nordeste, pois durante o verão haveria sol até o meio dia, nos equinócios até às 15 horas e no inverno até às 17h15. Já observando a fachada sudoeste, percebe-se que se não fosse protegida, esta receberia sol nos meses mais quente do ano, a partir do meio dia no verão e a partir das 15h nos equinócios. As proteções utilizadas protegem bem essa fachada, pois permite a incidência do sol no verão somente depois das 16h25, e no inverno depois das 16h50, considerando que as aulas terminam às 17h30, os alunos terão um incômodo de apenas uma hora no final da tarde, que pode ser amenizado com as esquadrias, de modelo pivotante, funcionam como brises móveis verticais.

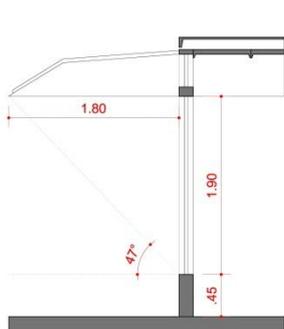


Figura 6: Corte esquemático

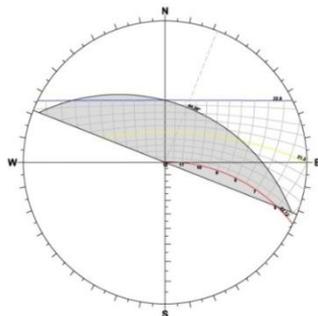


Figura 7: Máscara de sombra da fachada nordeste com pestanas maiores

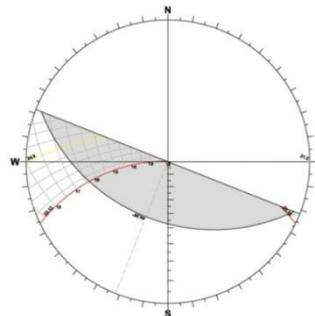


Figura 8: Máscara de sombra da fachada sudoeste com pestanas maiores



Figura 9: Fachada sudoeste – janelas do refeitório

Na Tabela 1 tem-se o período de insolação nas fachadas nordeste e sudoeste com as pestanas mais estreitas e o peitoril mais alto, situação que acontece em todas as salas de aula do bloco 02 (figuras 11 e 12), na biblioteca do bloco 01 e nos locais de serviço onde os usuários são funcionários adultos. A eficiência dessa fachada é muito parecida a das pestanas maiores, com uma diferença de, aproximadamente, 20 minutos a mais de incidência de sol. No verão a fachada nordeste estará protegida, como no caso das pestanas maiores; nos equinócios, ao invés do sol incidir até as 08h20, o sol incidirá até as 08h40; e no inverno até às 13h15. Já observando a fachada sudoeste, no verão, ao invés de receber sol depois das 16h25, esses casos receberão sol a partir das 16h15, nos equinócios a proteção valerá a partir das 16h50min, como no caso das pestanas maiores.

Tabela 1: Período de insolação das fachadas com pestanas de larg.: 1,15m e peitoril: 0,85m

Fachada	Solstício de verão	Equinócios	Solstício de inverno
Nordeste (21,6°)	----	06h00 até as 08h40	06h45 até as 13h15 16h25 até às 17h15
Sudoeste (201,6°)	16h15 até as 18h30	16h50 até as 18h00	----

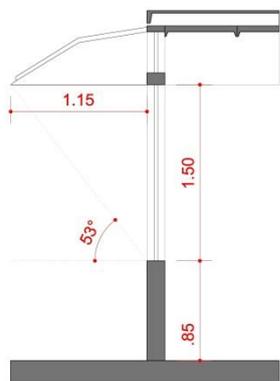


Figura 10: Corte esquemático



Figura 11: Fachada nordeste com pestanas menores – bloco 02



Figura 12: Fachada sudoeste com pestanas menores – bloco 02

Em relação à altura solar, a figura 13 ilustra os períodos de penetração do sol pelas janelas. Observa-se que o sol entra até aproximadamente 9h e depois das 15h, quando os ângulos de incidência são menores. Como as aulas começam 7h30 e terminam às 17h30, os alunos tem em média, 2 horas de sol incidindo diretamente nas salas. Para amenizar o problema, as esquadrias basculantes (figura 14) podem ser usadas para barrar o sol. Dessa maneira, fica comprovada a eficácia das pestanas projetadas pelo arquiteto Lelé na maior parte do ano.

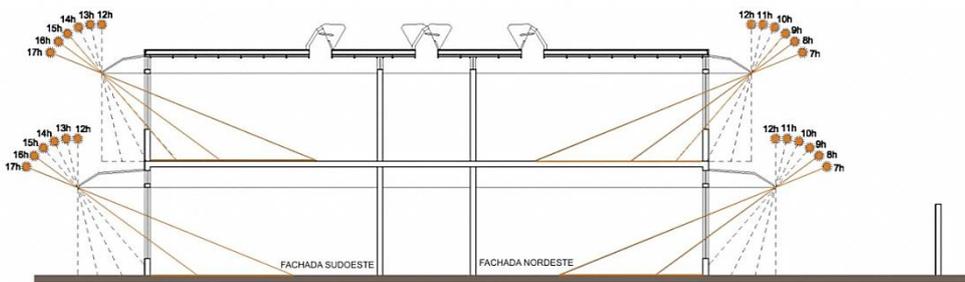


Figura 13: Estudo de insolação com altura solar no solstício de verão



Figura 14: Janela pivotante

4.2. Materiais e componentes construtivos

As paredes do edifício atual do CAP são de bloco de concreto de 19x19x39 cm de dimensão, não rebocadas, mas pintadas externa de branco e internamente de cinza até 1,60m de altura e acima disso de branco. As paredes do projeto original do arquiteto Lelé eram de painéis duplos de argamassa armada. Os elementos estruturais como pilares e vigas, bem como o sistema de lajes da cobertura são de argamassa armada como no projeto original. As figuras 15, 16 e 17 trazem os detalhes do sistema de cobertura, que consiste em vigas-calha de argamassa armada, que possui função estrutural e de recolher águas pluviais. Sobre as vigas-calhas estão apoiadas as lajes da cobertura (uma laje com função de forro e outra de cobrimento), com colchão de ar de 10 cm entre elas. Este colchão de ar praticamente não é ventilado, pois o fechamento da borda (figura 17) impede a entrada ou saída de ar.

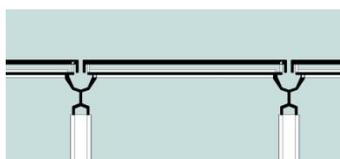


Figura 15: Corte cobertura – painel duplo de argamassa armada com colchão de ar



Figura 16: Sistema de cobertura em argamassa armada



Figura 17: Detalhe da cobertura

A Tabela 2 traz as características do bloco de concreto e da argamassa utilizadas no cálculo das propriedades térmicas dos materiais. As paredes foram calculadas como camadas homogêneas e não homogêneas, sem reboco, mas com argamassa de assentamento. Já a cobertura foi calculada como camadas homogêneas, composta por uma camada de 2,5cm de argamassa, 10 cm de câmara de ar e 2,5cm de argamassa. Os dados de condutividade, densidade e calor específico foram obtidos junto à norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005a) e, devido à inexistência de dados específicos de argamassa armada, utilizaram-se os valores referentes à argamassa normal, o que pode alterar os resultados.

Tabela 2 – Características do bloco de concreto e da argamassa utilizados para o cálculo das propriedades

Material	Condutividade térmica [W/m.K]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kg.K]	Absortância
Bloco de concreto	1,75	2400	1000	0,3
Argamassa	1,15	2000	1,00	0,8

A partir dos cálculos realizados, observa-se na tabela 3 a comparação dos resultados obtidos com os estipulados pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), que considera Maringá como zona bioclimática 01 (através de análise das normais climatológicas de 1961-1990) e pela tabela de Mahoney (com dados mais recentes, de 2002 a 2011). Quando se analisa as diferenças entre as exigências da norma e as de Mahoney, percebe-se que os dados mais atuais pedem vedações com maior inércia, pois exigem transmitância e fator solar menores e atraso térmico maior. Através deste estudo, concluiu-se que a norma deve ser revista quanto ao zoneamento de Maringá, que não condiz com os dados climáticos mais recentes.

Verifica-se que as paredes externas atendem a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b) nos três quesitos: transmitância, fator solar e atraso térmico. Já a cobertura não atendeu apenas o fator solar, cujo resultado foi 6,9%, considerando a cor externa como concreto aparente, porém, devido à falta de manutenção, a cor do telhado externamente é praticamente preta. Quando calculado com valor de absortância de 0,98, obtém-se um valor 8,46% de fator solar, extremamente maior que os recomendados. Quando se compara os valores

encontrados com os recomendados por Mahoney, verifica-se que o único item que atende às recomendações é o fator solar da parede, pois é pintado de branco externamente. Os demais ficaram muito inferiores aos recomendados, com destaque para a diferença do atraso térmico, em que Mahoney indica atraso maior que 8 horas e o resultado deu apenas 2 horas, indicando que tanto a parede quanto a cobertura possuem menos inércia térmica do que o indicado para Maringá. O fator solar da cobertura que foi calculado deu um valor bem maior que os 3% recomendados por Mahoney. De acordo com os cálculos realizados, verifica-se que uma mudança dos materiais utilizados no CAP/UEM, principalmente na cobertura, pode melhorar o desempenho térmico do edifício e assim, melhorar a satisfação dos alunos.

Tabela 3 – Valores calculados para o CAP e os recomendados pela tabela de Mahoney

	Propriedades	CAP/UEM	NBR 15220-3	Mahoney
Paredes	Capacidade térmica	106 (KJ/m ² .K)	-	-
	Transmitância	2,90 W/(m ² .K)	≤3,00 W/(m ² .K)	≤ 2,00 W/(m ² .K)
	Fator solar	3,48%	≤5%	≤ 4%
	Atraso térmico	2,05 horas	≤4,3 horas	≥ 8horas
Cobertura	Capacidade térmica	105 (KJ/m ² .K)	-	-
	Transmitância	2,16 W/(m ² .K)	≤2,00 W/(m ² .K)	≤ 0,85 W/(m ² .K)
	Fator solar	6,90 %	≤6,5 %	≤ 3%
	Atraso térmico	2,40 horas	≤3,3 horas	≥ 8horas

4.3. Medições na edificação

4.4.1. Temperatura do ar e umidade relativa

Os valores de temperatura mostraram comportamento parecido nos três dias, sendo a média das temperaturas representativa do comportamento das mesmas, apresentada na figura 18. A linha tracejada representa os dados da temperatura e umidade medidos no ponto externo. No horário de almoço, das 11h30 às 13h30, não foram realizadas medições, ficando assim, o gráfico interrompido. A área pintada de cinza no gráfico traz a faixa de temperatura aceitável para espaços condicionados naturalmente de acordo com a ASHARE 55 (2010), que, de acordo com os cálculos realizados para o clima de Maringá, é de 21° a 29°C.

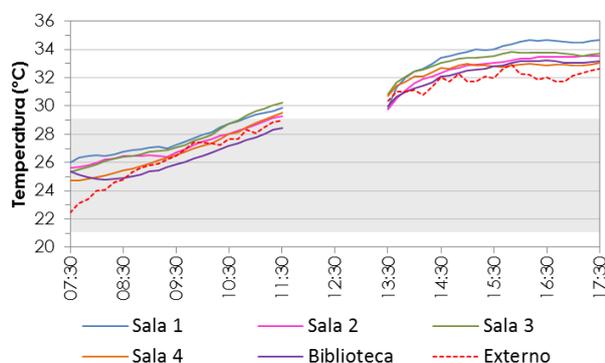


Figura 18: Média da Temperatura do ar

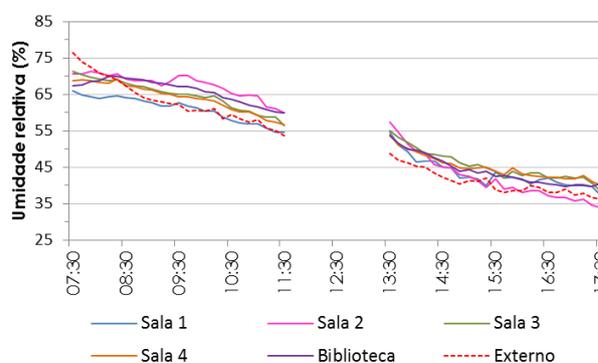


Figura 19: Umidade relativa média do ar (%)

No período da manhã, até, por volta de 10h30, as temperaturas estão dentro da faixa aceitável segundo a ASHRAE 55 (2010). No período da tarde nenhum dia apresentou temperaturas aceitáveis, sendo quase sempre maiores que 30°C. Interessante perceber que a temperatura externa, no período da tarde é menor que no interior das salas de aula, ou seja, se os alunos tivessem aula ao ar livre (à sombra) seria mais confortável nesses dias.

A máxima umidade relativa externa registrada foi de 79,9% no dia 03 às 7h30 (figura 19); nesse mesmo dia a mínima foi de 31,8% às 17h, apresentando uma variação de 47,9%. Já para os dias 01 e 02 as máximas umidades relativas externas foram de 72,2% e 77,7% ambos às 7h30; as mínimas para esses dias foram de 36,8% às 17h30 e 37% às 15h10, respectivamente. Nota-se um decaimento acentuado da umidade relativa ao longo de todos os dias, constatando os altos níveis de radiação solar que evaporam as partículas de água presentes no ar e fazem a temperatura subir.

Analisando os gráficos de temperatura média para os diferentes ambientes avaliados, percebe-se que mesmo tendo comportamento parecido, as salas 01 e 03 apresentam temperaturas um pouco mais altas e estão orientadas a nordeste. As salas 02 e 04 apresentam temperaturas um pouco mais baixas que as citadas

anteriormente, ficando estas orientadas a sudoeste. Já a biblioteca, que também está orientada a nordeste registrou as temperaturas menores entre todas as salas. De manhã a biblioteca apresenta temperaturas menores que a externa, mas à tarde, a temperatura externa é a mais amena entre todas, comprovando a crítica situação dos alunos e professores.

A maior temperatura de todas as salas durante os três dias foi de 35,6°C registrado na sala 01 (nordeste) no dia 02 das 16h30 até, praticamente, o fim da tarde, 17h30. Já as menores temperaturas, excetuando as externas, foram de 24,4°C registradas na sala 03 às 7h30 do dia 01 e na biblioteca às 8h10 do dia 02, ambas com orientação a nordeste. A temperatura um pouco mais baixa da biblioteca pode ser explicada pela baixa ocupação, ou seja, o ambiente é grande e vazio, já as salas de aulas o ganho térmico devido às pessoas é maior. O fato de a mesma orientação apresentar os valores mais altos e mais baixos de temperatura reforça a tese de que o maior ganho da edificação vem pela cobertura.

4.4.1. Velocidade do ar

Analisando a média de todos os dias através do gráfico da figura 20, a velocidade média dos ventos externos foi de 0,94 m/s, o que não significa uma potencialidade muito grande para o aproveitamento dos ventos naturais como estratégia de resfriamento. A sala 01 apresentou uma média de 0,65m/s, enquanto a sala 02 obteve uma média de 0,20 m/s, a sala 03 de 0,28 m/s e a sala 04 de 0,26 m/s. A biblioteca, como média geral, obteve 0,22m/s. Esses dados se referem a média de um dia com ventiladores desligados e dois dias com eles ligados.

A sala 01 localizada a nordeste e no pavimento superior apresentou as maiores velocidades já que a orientação dos ventos dominantes de Maringá é nordeste e no piso superior não há obstruções significativas. Já a sala 02, localizada a sotavento dos ventos dominantes apresentou as menores velocidades do vento, sendo a utilização de *sheds* como captadores de vento uma boa alternativa para as salas com essa orientação. As salas 03 e 04 são as localizadas próximas a um talude e cercadas por muros, o que prejudicou, de fato, a ventilação, apresentando valores baixos de velocidade de vento.

A ventilação natural de fato, não acontece nas salas de aulas e biblioteca. O vento não consegue penetrar nos ambientes, pois com os *sheds*, janelas superiores e portas fechadas, não se cria o diferencial de pressão necessário para que o ar circule nos ambientes, ou seja, não há ventilação cruzada.

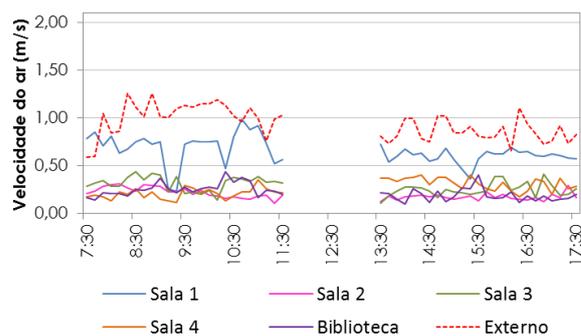


Figura 20: Velocidade média do ar

4.4.1. Temperatura de superfície

Para verificar a diferença de temperatura vertical nos ambientes monitorados, precedeu-se à medição da temperatura superficial da cobertura (medida internamente) e do piso das salas. A figura 21 traz um gráfico da média de todas as salas e dias medidos. Verificou-se que as maiores temperaturas do teto ocorreram às 15h30, pois a cobertura recebeu calor durante todo o dia e esse calor chega ao interior da edificação por volta das 15h30, chegando a valores mais altos que as temperaturas externas do ar. Esse forro superaquecido combinado com o pé-direito de 2,80 metros causa uma sensação de desconforto por diferença de temperatura radiante enorme.

Analisando a tabela 4, notam-se as maiores diferenças entre a temperatura do teto e do piso no período da tarde, por volta de 15h30, sendo que na sala 04 essa diferença chegou a 10,5°C. Também se vê que no início da manhã, às 7h, o teto está mais frio que o piso, isso porque foi resfriado durante a noite, quando se tem as temperaturas mais baixas. Isso demonstra a pouca inércia do edifício, pois por volta das 10 horas essa situação se inverte, e com o aquecimento durante o dia, a temperatura do forro aumenta muito, provocando um desconforto muito grande.

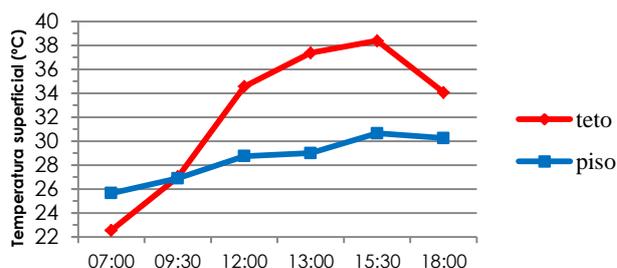


Figura 21: Temperaturas superficiais do piso e do teto ao longo do dia

Tabela 4: Diferença de temperatura superficial teto - piso

	Dia 01					Dia 02				
	Bibl.	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04	Bibl.	Sala 01	Sala 02	Sala 03	Sala 04
7:00	-3	-3	-3,5	-3	-3,5	-2,5	-3,5	-3	-3,5	-2,5
9:30	-1	-0,5	0	1	1,5	-1,3	-0,5	-1	1	2
12:00	2,8	5,5	6	6	7,5	2,8	6	6,5	7	8
13:00	5,8	9	9	9,5	10	6,4	8	9,5	8	8,5
15:30	6,7	9	9,5	9,5	10,5	5,2	6,5	6	6,5	8
18:00	5	5	5,5	4,5	5	4,2	1,5	2	2,5	3

Assim, fica comprovada a necessidade de se promover uma melhoria do desempenho térmico da cobertura. Pois, resolvendo o problema do grande aquecimento da cobertura, melhorará a satisfação dos alunos quanto ao conforto térmico nos dias mais quentes do ano.

5. CONCLUSÕES

As análises mostraram que o edifício está bem orientado e protege bem suas fachadas. O uso de brises horizontais de diferentes tamanhos de acordo com a altura do peitoril e o desenho da esquadria pivotante que pode funcionar como um brise vertical demonstra o cuidado do arquiteto com o conforto ambiental. Em relação aos materiais, a edificação é leve, e seu desempenho térmico atende aos indicados pela NBR 15220 (ABNT, 2005b), mas não responde aos indicados por Mahoney, que analisa os dados climáticos mais recentes da cidade, devendo o zoneamento da norma ser revisto para Maringá.

As temperaturas das salas de aula se mantiveram acima da temperatura externa, sendo que no período da manhã, observou-se um limite de conforto aceitável para todas as salas. Esse limite é o estabelecido pela ASHRAE 55 (2010), que considera o ambiente termicamente confortável e aceitável, aquele em que no mínimo 80% das pessoas expressam satisfação com o ambiente analisado. Com temperaturas externas maiores que 30°C no período da tarde, dificilmente se teria conforto sem utilização de sistemas ativos complementares.

Os piores resultados obtidos nas salas 01 e 03 que possuem orientação nordeste e os melhores resultados da biblioteca, que também está a nordeste, demonstraram que o calor vem da cobertura, necessitando de intervenção de sua arquitetura. Fato confirmado quando se observa a diferença de mais de 10 graus das temperaturas superficiais do forro e do piso em um pé direito de 2,80 metros.

Esse alto grau de desconforto pode ser explicado pela falta de manutenção, que acarretou o escurecimento da superfície externa da cobertura, absorvendo grande quantidade de calor e pela pouca inércia do seu sistema construtivo, prejudicando as condições de conforto no interior e, conseqüentemente, o processo de ensino-aprendizagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações** – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3: Desempenho térmico de edificações** – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **ANSI/ASHRAE 55-2010 – Thermal environmental conditions for human occupancy**. Atlanta, 2010.
- BUFFA, E. Pesquisas sobre arquitetura e educação: aspectos teórico-metodológicos. In: SANTOS, A. V. dos; VECHIA, A. (Org.). **Cultura escolar e história das práticas pedagógicas**. Curitiba: UTP, 2008.
- ELALI, G. V. M. A. O ambiente da escola - o ambiente na escola: uma discussão sobre a relação escola-natureza em educação infantil. **Estudos de Psicologia**, Natal, v. 8 (2), n. 1, p. 309-319, 2003.
- FREITAS, C. R.; GALTER, M. I. Reflexões sobre a educação em tempo integral no decorrer do século. **Educere et Educare**, v. 2, n.3, p. 123-138, 2007.
- GUIMARÃES, A.G. **João Filgueiras Lima: O último dos modernistas**. 196p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- KOWALTOWSKI, D. C. C. K. **Arquitetura Escolar: o projeto do ambiente de ensino**. 1.ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.
- LATORRACA, G. (Org). **João Filgueiras Lima, Lelé**. São Paulo: Instituto Lina BO e P.M. Bardi, 1999.
- MUELLER, C. M. **Espaços de ensino-aprendizagem com qualidade ambiental: o processo metodológico para elaboração de um anteprojeto**. Dissertação (Mestrado – Área de concentração: Tecnologia da Arquitetura) – FAUUSP. São Paulo, 2007.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a CAPES pelo financiamento da pesquisa.