



XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído

Avanços no desempenho das construções – pesquisa, inovação e capacitação profissional

12, 13 E 14 DE NOVEMBRO DE 2014 | MACEIÓ | AL

AVALIAÇÃO DAS RECOMENDAÇÕES PROJETUAIS NO DESEMPENHO TÉRMICO E LUMÍNICO EM EQUIPAMENTO ESPORTIVO E SÓCIO-CULTURAL EM NATAL/RN

ALVES, André Felipe Moura (1); LIMA, Glênio Leilson Ferreira (2); DIAS, Alice R. Drummond (3); PACHECO, Giovani H. Silva (4); PEDRINI, Aldomar (5)

(1) PPGAU/UFRN, 84 3215 3722, andrefelipeac@yahoo.com.br (2) PPGAU/UFRN, gleniolima@yahoo.com.br (3) PPGAU/UFRN, alicerdrummond@gmail.com (4) PPGAU/UFRN, giovani.arquitetura@yahoo.com.br (5) PPGAU/UFRN, apedrini@ufrnet.br

RESUMO

O desempenho térmico e de iluminação natural no ambiente construído têm se tornado premissas importantes, e até compulsórias, na programação arquitetônica de edificações. Trata-se de uma resposta às tendências mundiais de redução do impacto ambiental das construções e a busca de diversos benefícios aos usuários. O artigo demonstra, a partir de uma abordagem qualitativa, a importância das recomendações bioclimáticas e de eficiência energética na concepção do edifício, avaliadas através de visita *in loco* e medições do impacto no desempenho térmico e lumínico. O estudo é realizado no equipamento sócio-cultural e ginásio esportivo denominado “Arena do Morro”, no bairro de Mãe Luiza em Natal/RN, projetada pelo escritório suíço Herzog e De Meuron, com apoio de equipe local de arquitetos e engenheiros. O projeto visou desde o início da concepção projetual incorporar os condicionantes bioclimáticos utilizando estratégias como sombreamento e ventilação para redução ou dispensa do uso de sistemas artificiais, como iluminação e condicionamento de ar; aumento da ocorrência de conforto térmico; e diminuição da demanda energética da edificação, minimizando a necessidade de expansão do setor elétrico e o impacto ao meio ambiente. A equipe foi responsável por levantamentos e diagnóstico de diversos aspectos que subsidiaram a concepção arquitetônica, sobretudo no âmbito do conforto térmico e iluminação natural. As recomendações são obtidas por meio de observação das estratégias positivas no clima de Natal/RN, zona bioclimática 08 (ZB 08), complementadas por simulações térmica no programa *DesignBuilder* e de iluminação natural no programa *Relux*. Para avaliação termo-energética foi adotado o modelo de conforto adaptativo desenvolvido por Auliciems e de Dear (2002) atualmente empregado pela ASHRAE (2002). O método de avaliação *in loco* faz uso do levantamento das estratégias adotadas, de medições de temperaturas, e de medições de iluminância para avaliação do atendimento mínimo e da uniformidade. Os resultados comprovam a eficácia das recomendações.

Palavras-chave: Projeto, Bioclimático, Conforto, Desempenho, Diretrizes.

ABSTRACT

The thermal performance and natural lighting in the built environment have become important assumptions, and even compulsory, in the architectural planning of buildings. This is a response to global trends to reduce the environmental impact of buildings and the pursuit of many benefits to users. The article demonstrates the importance of bioclimatic and energy efficiency in building design recommendations, assessed through on-site visit and measurement of the impact on thermal and luminal performance. The study is carried out on the social cultural equipment and gymnasium called "Arena do Morro" in the neighborhood of Mãe Luiza in Natal / RN, designed by Swiss Herzog and De Meuron office, with support from local team of architects and engineers. The project aimed since the beginning of

the design concept incorporate bioclimatic conditions using strategies such as shading and ventilation for reduction or waiver of the use of artificial systems such as lighting and air conditioning; increased occurrence of thermal comfort; and decreased energy demand of the building, minimizing the need for expansion of the electricity sector and the impact on the environment. The team was responsible for surveys and diagnosis of various aspects that support the architectural design, especially within the thermal comfort and daylighting. The recommendations are obtained by observation of positive strategies in the climate of Natal / RN, bioclimatic zone nº 08 (ZB 08), supplemented by thermal simulations in DesignBuilder program and natural lighting Relux program. It was used adaptive comfort developed by Auliciems and Dear (2002) currently employed by ASHRAE (2002). The in loco auditory assesses the strategies, measures the air and surface temperatures, and the illuminance levels and uniformity. The results confirm the efficacy of recommendations.

Keywords: Project, Bioclimatic, Comfort, Performance Guidelines.

1 INTRODUÇÃO

Os desempenhos térmico e de iluminação natural no ambiente construído influenciaram as diretrizes projetuais do projeto arquitetônico da edificação “Arena do Morro” (Ver Figura 1). Trata-se de uma tendência mundial de redução do impacto ambiental das construções e a busca de diversos benefícios aos usuários: redução ou dispensa do uso de sistemas artificiais, como iluminação e condicionamento de ar; aumento da ocorrência de conforto térmico; e diminuição da demanda energética da edificação, minimizando a necessidade de expansão do setor elétrico e o impacto ao meio ambiente. O artigo avalia os desempenho térmico, lumínico da edificação construída por meio de medições *in loco*, e compara com as recomendações bioclimáticas e simulações computacionais influenciaram nas decisões projetuais.

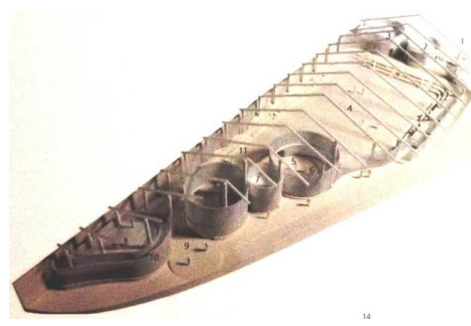
O equipamento denominado "Arena do Morro" destina-se à cultura, lazer e localiza-se no clima quente e úmido da cidade de Natal-RN, no bairro de Mãe Luíza. A estrutura espacial é simples e aberta (ver Figura 2), composta por piso e arquibancadas em granilite que acompanham as curvas de nível do terreno original; cobertura de telhas onduladas instaladas como uma pilha de painéis soltos que permitam ventilação e iluminação natural bem como protege a edificação da chuva; e paredes internas compostas por blocos de concreto com lâminas verticais arredondadas, resultando em possibilidades de permeabilidade visual, de ventilação, iluminação, sonora e chuva.

Figura 1. Planta baixa esquemática da edificação



Fonte: Projeto Herzog e DeMeuron, 2012.

Figura 2. Maquete esquemática da edificação



Fonte: Projeto Herzog e DeMeuron, 2012.

O projeto, concebido em meados de 2011 a 2012, teve auxílio de uma equipe local de arquitetos e engenheiros para o licenciamento, elaboração de projetos de estrutura e sistemas prediais, compatibilização técnica e detalhamento para o projeto executivo de

obra. A execução do edifício iniciou em 2013 e foi concluída em abril de 2014 (ver Figura 3).

Figura 3. Fotografia Panorâmica da obra concluída



Fonte: acervo dos autores

2 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa se detém no estudo do projeto e na avaliação do desempenho térmico e lumínico da edificação construída, incluindo a determinação de recomendações.

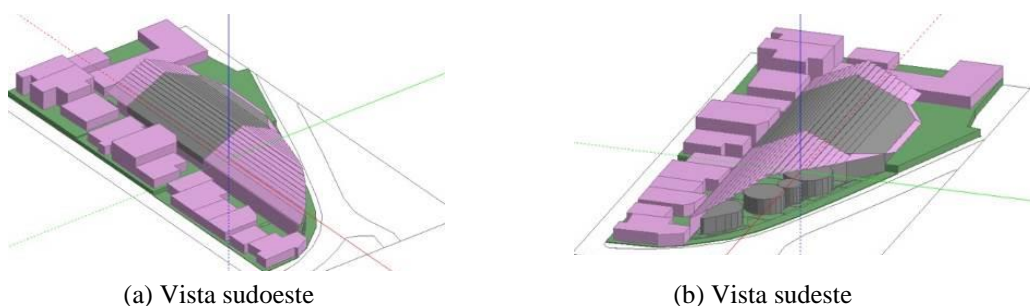
2.1 Análise termo-energética

2.1.1 Simulação

Foi simulado o desempenho térmico do projeto com o software *DesignBuilder*, para verificar o percentual de horas ocupadas em conforto (POC), considerando dois tipos de cobertura: telha de fibrocimento e telha metálica com isolamento térmico. Esta definição ocorreu em função das características do projeto, que apresenta significativa área de cobertura (aproximadamente 2.100m²) em comparação com os fechamentos de parede, que se apresentam muito próximos, colados às edificações vizinhas ou parcialmente enterrados.

O modelo de simulação considerou as características do edifício (Figura 4), do entorno, ocupação, rotinas de iluminação e equipamentos previstos. Todos os ambientes são naturalmente ventilados, sem previsão de sistema de condicionamento de ar.

Figura 4. Vistas sudoeste e sudeste do modelo de simulação



(a) Vista sudoeste

(b) Vista sudeste

Fonte: elaborado pelos autores

O período de ocupação é das 06:00 às 23:00 horas, de 100%, assim como dos equipamentos. A densidade de ocupação é 0,43 pessoas/m², com metabolismo de uma

atividade social/dança, com fator 1,00. A densidade de potência de iluminação adotada foi de 20,7W/m². O horário de funcionamento do sistema de iluminação foi das 17:30 às 23:00 horas com 100% em operação, e das 23:00 às 05:30 horas com 10% apenas em operação. As características das coberturas são: cobertura em telha de fibrocimento, com $U = 3,68 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $\alpha = 0,49$; cobertura em telha de alumínio com isolamento térmico tipo "sanduíche", com $U = 0,95 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $\alpha = 0,20$.

Foi adotado o modelo de conforto adaptativo, que define a temperatura de neutralidade como uma função da temperatura externa, interna ou ambas as temperaturas, sobretudo em clima quente e úmido. Alguns desses modelos são mais fidedignos em certas condições onde existe o uso de recursos passivos de conforto, a exemplo de ventilação natural em climas quente e úmido. Nesse estudo foi empregado o modelo desenvolvido por Auliciems e de Dear (2002) atualmente empregado pela ASHRAE (2002). Foi considerada atividade sedentária (1 a 1,3 met) para a ocupação da quadra, com a possibilidade de se adaptar de forma livre.

$$T_c = 17,8 + 0,31T_e, \text{ onde:}$$

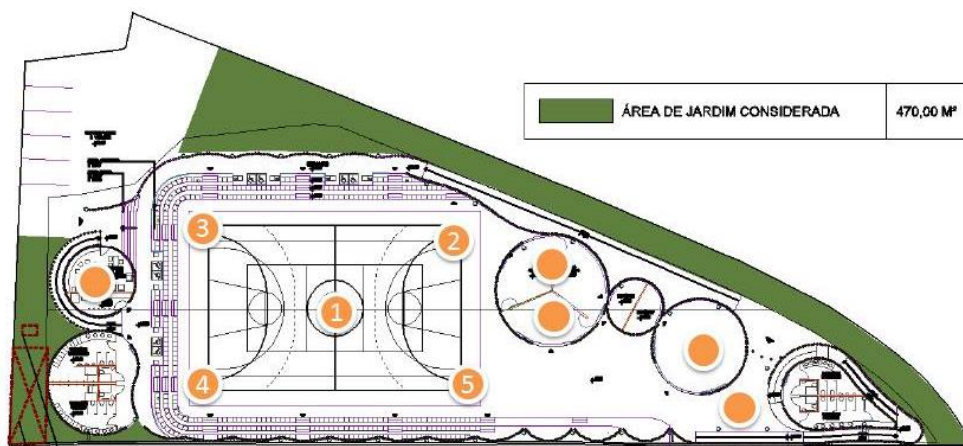
T_c = temperatura de conforto (°C)

T_e = temperatura externa (°C)

2.1.2 Avaliação *in loco*

A avaliação *in loco* foi realizada por visita de curta duração, com instrumentos de medição instantâneos, como termômetros para medição da temperatura de ar e de superfícies, a fim de se obter as temperaturas operativas de cada ambiente e compará-las com a temperatura do ar externo. As medições ocorrem às 9, 12 e 15h, em um dia ensolarado, com comportamento térmico representativo. Os ambientes medidos de permanência prolongada são a sala dos professores, sala multiuso e salas adicionais 01 e 02. As medições das temperaturas da quadra foram realizadas em cinco pontos (Ver Figura 5).

Figura 5. Vistas sudoeste e sudeste do modelo de simulação



Fonte: elaborado pelos autores

2.2 Análise lumínica

2.2.1 Simulação

As simulações computacionais foram realizadas no software RELUX PRO 2010, introduzindo os parâmetros de localização do sítio referente à cidade de Natal com latitude de $-5,5^\circ$, longitude de $-35,5^\circ$ e UTC $-03:00$ hrs. Foi utilizado plano de referência com 0,75m de altura e as características geométricas e de superfícies conforme projeto arquitetônico. Foram simuladas as situações de equinócio, solstício de verão e inverno para os horários das 9, 12 e 16h com tipo de céu claro (representativo da abóboda celeste do contexto climático), totalizando 28 situações simuladas para o ginásio e 28 simulações para a sala multiuso. O valor de referência considerado para quadra esportiva foi de 200 lux e 300lux para as salas multiuso, conforme parâmetros da NBR 5413. Foram adotadas 03 alternativas de cobertura a partir da concepção inicial do projeto (Tabela 1).

Tabela 1. Avaliação lumínica da quadra: Alternativas de cobertura avaliadas

Alternativa A-01	Alternativa A-02	Alternativa A-03
<p>Telhado com inclinação de 21% e espaçamento entre coberturas de 7,5cm</p>	<p>Telhado com inclinação de 24% e espaçamento entre coberturas de 4,7cm</p>	<p>Telhado com inclinação de 14% e espaçamento entre coberturas de 14,5cm</p>

Fonte: elaborado pelos autores

Nas salas multiuso foram simuladas três alternativas construtivas para o desempenho lumínico, com base na concepção inicial do projeto (Tabela 2).

Tabela 2. Avaliação lumínica das salas multiuso: Alternativas de coberta avaliadas

Alternativa B-01:	Bloco sem laje, apenas com a cobertura metálica do ginásio
Alternativa B-02:	Bloco com laje, bloqueando iluminação da cobertura metálica
Alternativa B-03:	Bloco com aberturas zenitais circulares na laje, dimensionadas com 1.10m de raio e 1.70m de raio (25% área do piso)

Fonte: elaborado pelos autores

2.2.2 Avaliação da iluminação natural

A avaliação da iluminação natural consiste da observância das recomendações e medições *in loco*, e se deu nos horários das 9, 12 e 16h do dia 17/04/14, nos ambientes da quadra poliesportiva e sala multiuso, aferindo respectivamente 21 pontos e 04 pontos nos ambientes.

3 RESULTADOS

Os resultados são apresentados quando ao desempenho térmico e quanto ao desempenho lumínico.

3.1 Desempenho térmico

- Simulações termo-energéticas

As simulações demonstraram que a cobertura possui grande impacto sobre o desempenho térmico. Entre os casos avaliados, aquele com uso de telha metálica com isolamento $U=0,95\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ foi o que apresentou melhor resultado. A opção de cobertura com telha de fibrocimento resultou em 40% das horas ocupadas em conforto térmico. Esse desempenho é inferior ao da opção com telha de alumínio tipo “sanduíche”, que resultou em 71% das horas ocupadas em conforto. Os resultados confirmaram o impacto da cobertura no conforto dos usuários e a necessidade de incorporar um material que priorize a cor clara e a baixa transmitância térmica.

- Recomendações para projeto

Foi recomendado o uso da cobertura leve refletora com o uso de isolamento térmico, com transmitância menor ou igual a $1,0\text{W}/\text{m}^2\cdot\text{K}$ e a absorvância não maior que $\alpha = 0,5$. O objetivo é reduzir o ganho térmico da cobertura e, principalmente, reduzir a sua temperatura superficial interna.

Para permitir a remoção da carga térmica interna, recomenda-se adotar as vedações com aberturas para ventilação constante, sendo essas aberturas sempre sombreadas para não permitir a entrada da radiação direta. Recomenda-se tornar a fachada sudeste – direção com maior frequência dos ventos – mais permeável e afastar os blocos com ambientes visando favorecer a ventilação da quadra.

- Avaliação *in loco*

As recomendações da NBR 15220 (ABNT, 2003) para a ZB 08 – emprego de vedações leves e claras, aberturas amplas e sombreadas, uso da ventilação natural cruzada – estão presentes na proposta e foi verificado que elas resultaram em ambientes com temperaturas operativas – média da temperatura do ar interno e da temperatura radiante das superfícies internas – inferiores às temperaturas do ar externo. As temperaturas radiantes das superfícies internas das coberturas e paredes são inferiores à temperatura do ar interno – variando de 1°C a 5°C –, devido à baixa exposição ao calor e às inércias térmicas, pois são elementos leves e de cores claras.

A quadra possui cobertura em contato com o exterior, mas esta apresenta temperatura radiante abaixo da temperatura do ar no local, mostrando que é eficiente a remoção do calor da cobertura pela constante ventilação. Essa ventilação também é perceptível ao nível do usuário.

Os demais ambientes de uso prolongado possuem cobertura interna sob a cobertura de todo o ginásio, sendo, portanto, sombreadas durante quase todo o dia. Essas coberturas internas possuem temperaturas superficiais semelhantes à da cobertura externa. A diferença é que a temperatura destes elementos é mais constante ao longo do dia, já que a radiação solar direta só ocorre no começo da manhã.

Registrou-se, no geral, temperaturas mais amenas no período da tarde, em especial a temperatura superficial dos elementos de vedação. A parede oeste é fechada, enquanto

as demais, com aberturas, são totalmente sombreadas, contribuindo para reduzir a temperatura radiante e, conseqüentemente, a operativa dos ambientes. Por fim, em quase todas as medições realizadas, as temperaturas operativas encontraram-se dentro da faixa de conforto estabelecida por Auliciems e de Dear (2002), sendo apenas o horário das 13h, no ponto central da quadra, o que apresentou temperatura acima da zona de conforto.

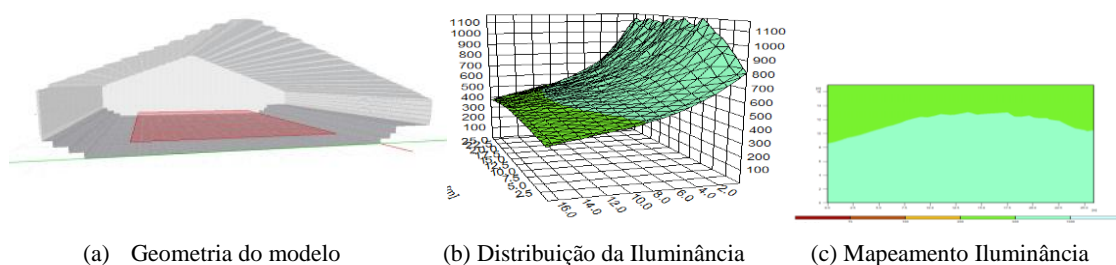
3.2 Desempenho da iluminação natural

- Simulações de iluminação

A iluminação natural foi aplicada na concepção inicial do projeto por meio de recomendações bioclimáticas. As simulações computacionais objetivaram verificar o impacto lumínico nas decisões durante a concepção projetual e detalhamento do projeto executivo, como a distância entre as telhas da cobertura, sua inclinação no ambiente da quadra poliesportiva e as dimensões de abertura zenital das salas multiuso.

Para a quadra, as simulações demonstraram que as alternativas A-01 e A-02 apresentam desempenhos semelhantes, com níveis de iluminância acima de 200 lux, mas há também ocorrência que não atende satisfatoriamente ao parâmetro mínimo de 200 lux (ver resultado na Figura 6). O ambiente apresenta ótimas curvas de distribuição de iluminância, consequência do princípio de utilização de aberturas zenitais ao longo da cobertura e do uso de elementos vazados nas paredes, que garantem uniformidade da iluminação do ambiente.

Figura 6: Resultado da simulação lumínica da quadra poliesportiva



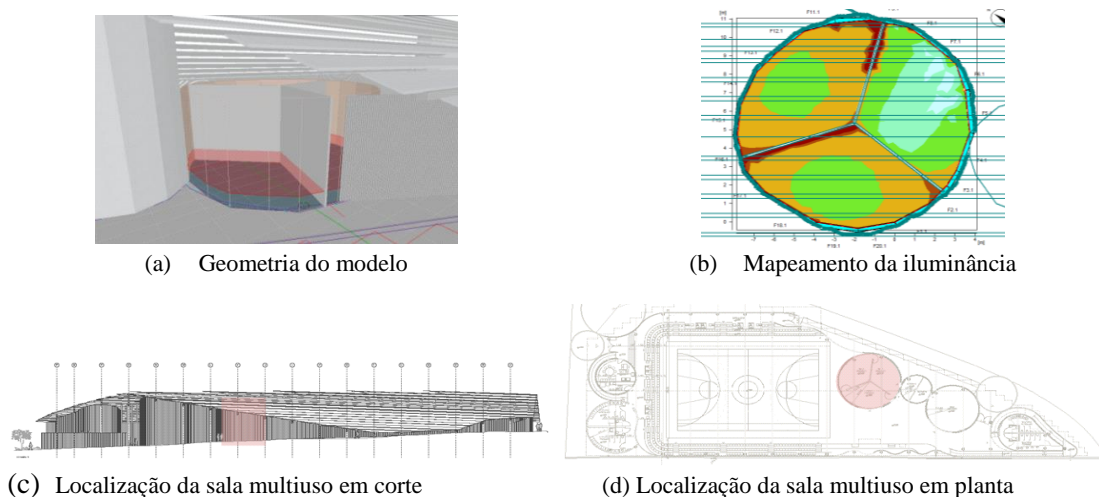
Fonte: elaborado pelos autores

A distribuição da iluminação é bastante uniforme na proporção de 1:2 entre as iluminâncias mínimas e máximas. As iluminâncias apresentam valores crescentes na ordem das 9h, 12h e 16h, com presença de picos de iluminância no período da tarde. A alternativa A-03 apresenta disponibilidade de iluminação natural superior às alternativas A-01 e A-02, devido ao fato da disposição do telhado permitir maior abertura zenital (maior espaçamento entre as telhas). Assim é dada como recomendação de projeto utilizar o maior espaçamento entre as telhas para otimização da luz natural, visto que este é o aspecto de maior relevância em relação à inclinação das mesmas.

As simulações das salas multiuso apontaram que a alternativa B-01 apresenta maior potencial luminoso dos ambientes, com iluminação natural advinda da cobertura e dos elementos vazados da vedação vertical, atendendo satisfatoriamente aos níveis de iluminância mínimos (300 lux) em todos os períodos simulados, com valores médios de 500 lux. O contraste luminoso se mostrou controlado, não acarretando desconforto por ofuscamento (Figura 7). A Alternativa B-02 apresenta maior restrição à luz solar, com iluminância insuficiente em todos os casos simulados. A alternativa B-03 com aberturas

zenitais circulares na laje das salas 01, 02 e 03 visam melhorar o desempenho luminoso da alternativa B-02. Aberturas com 1,10m de raio se mostraram insuficientes para atender as exigências mínimas de demanda luminosa. As aberturas com 1,70m de raio (25% área do piso) apontam demanda de iluminação natural adequada para execução das atividades. Em praticamente todas as situações esta configuração de abertura propicia 80 a 100% de iluminância adequada (acima de 300 lux) nos ambientes em questão.

Figura 7. Simulação lumínica das salas multiuso



Fonte: elaborado pelos autores

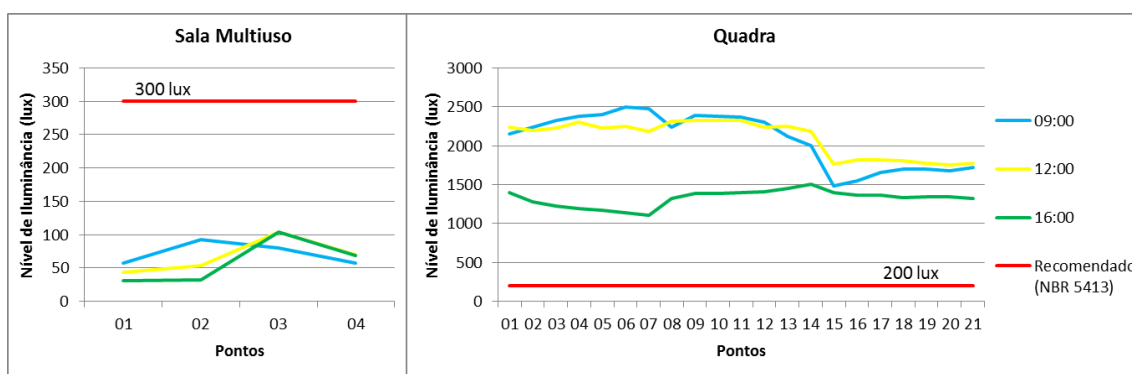
Com base nas simulações foi recomendação de projeto adotar a solução de ambiente com laje translúcida ou com aberturas circulares com raio acima de 1,70m para adequada captação de luz solar, já que o elemento vazado projetado não propicia fácil penetração da iluminação natural, devido a sua geometria e disposição. Com isso a iluminação natural supriria às necessidades dos ambientes nas horas simuladas, dispensando o uso da iluminação artificial.

- Avaliação da iluminação natural *in loco*

O projeto foi desenvolvido levando em consideração as recomendações lumínicas indicadas e demais aspectos projetuais como estrutura, tectônica e funcionalidade. O projeto foi executado adotando dimensão de 16cm entre as aletas da cobertura do ginásio e inclinação de 21% compatibilizando as premissas de conforto luminoso e orientação do engenheiro para adequado escoamento de águas e estrutura da cobertura.

Os resultados das medições (Tabela 3) confirmam a distribuição homogênea da iluminação na quadra poliesportiva. Os valores encontrados foram consideravelmente acima dos limites de iluminância exigidos pela norma NBR 5413, justificando-se pela característica do céu da cidade de Natal, com altos índices de luminosidade, em comparação ao padrão de céu claro utilizado no software de simulação. As medições comprovam a eficácia da estratégia aplicada embasada pelas simulações nas etapas projetuais, onde se adotou cobertura com aberturas zenitais longitudinais ao longo de todo o ambiente. Deste modo, a quadra apresentou bons resultados de iluminância e distribuição da iluminação, sendo dispensando o uso da iluminação artificial durante as horas levantadas.

Tabela 3. Tabulação das medições de iluminância



Fonte: elaborado pelos autores

Quanto às salas multiuso, não foi possível atender as recomendações projetuais previamente indicadas através da simulação por causa de questões estruturais e aspectos de tectônica. Foram executadas aberturas zenitais circulares com 50cm de diâmetro, o que não foi suficiente para suprir a total demanda de iluminação no período diurno (Figura 7), sendo necessária complementação com iluminação artificial.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo demonstra que o edifício projetado por um escritório suíço com consultoria local apresenta desempenhos térmico e lumínico satisfatórios, porque faz uso de recomendações implementadas na fase de concepção do projeto.

Os estudos preliminares das recomendações bioclimáticas influenciaram a concepção da envoltória, amparados pelas simulações. Foram escolhidos fechamentos com características de alta reflexão à radiação solar, baixa transmitância térmica, permeáveis ao vento e à luz difusa. As paredes foram projetadas com blocos vazados, sobretudo as voltadas para Sul e Leste, que correspondem a releituras de cobogós, com melhorias no desempenho e na estética. A cobertura também inova na forma, com aberturas zenitais com espaçamento entre peças e inclinação determinada por simulação.

O principal ambiente de permanência prolongada – a quadra poliesportiva – atendeu às recomendações provenientes das simulações e apresentou bom desempenho. Contudo, em algumas situações, às recomendações podem não ser atendidas em detrimento de outras condicionantes projetuais, visto que o projeto arquitetônico atende a uma demanda multidisciplinar. Este foi o caso da sala multiuso, que deu enfoque às questões estruturais e estéticas.

As medições *in loco*, por meio de visitas de curta duração à quadra, comprovam o desempenho previsto. A adoção de uma envoltória permeável e clara na proposta arquitetônica resultou um impacto positivo à construção em relação ao seu contexto bioclimático, confirmando a importância das diretrizes bioclimáticas na concepção projetual e a rotina de diagnóstico, análise, concepção e aferição, a qual pode ser adotada para qualquer edificação.

5 AGRADECIMENTOS

À Fundação Ameropa, da Suíça, e ao Centro Sócio-Pastoral Nossa Senhora da Conceição, em Mãe Luíza, pelo apoio logístico e ao CNPq e à Eletrobrás, pelo apoio financeiro.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5413**. Iluminância de Interiores. Rio de Janeiro, 1992.

ABNT. **Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social** - NBR 15220-3. Rio de Janeiro, 2005.

DE DEAR, R.; BRAGER, G. **Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55**. Energy and Buildings, v. 34, n. 6, p. 549-561, 2002.

HERZOG, J.; DE MEURON, P.; *et al.* **Ginásio de Mãe Luiza**. Projeto de arquitetura. Basel - Suíça, 2012.

INMETRO. Regulamento Técnico da Qualidade para Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos. *Portaria nº 53*: Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2009.