



INFLUÊNCIA DE CONDICIONANTES AMBIENTAIS NO PROJETO DE UM EDIFÍCIO DE ENSINO DE ARQUITETURA E URBANISMO LOCALIZADO EM CLIMA QUENTE E ÚMIDO

Carla Varela de A. Araújo (1); Aldomar Pedrini (2); Marcelo B. de Melo Tinôco (3)

Departamento de Arquitetura / CT / UFRN, Campus Lagoa Nova, 59072-970 – Natal/RN

(1) carlavarelaaraaujo@yahoo.com.br; (2) apedrini@ufrnet.br; (3) mtinoco@ufrnet.br

RESUMO

O artigo discute as principais decisões arquitetônicas influenciadas por análises de conforto ambiental e eficiência energética tomadas durante a projetação de um edifício de ensino em clima quente e úmido. Trata-se de um anteprojeto de conclusão de curso, que parte de um programa baseado nas necessidades de expansão do Curso de Arquitetura e Urbanismo, na modulação dos espaços para a possibilidade de construção em etapas, no emprego de sistemas pré-moldados como painéis pré-fabricados e estrutura metálica, e na preferência de um partido com linguagem contemporânea. Os estudos de conforto ambiental permeiam todas as etapas de desenvolvimento do projeto: da implantação ao detalhamento dos sistemas construtivos. As primeiras fases são caracterizadas principalmente pelo uso de ferramentas de análise de geometria solar, como Ecotect e SunTool, e de ventilação, como TAS e diagramas da ASHRAE. As simulações térmica e energética empregam o programa DesignBuilder com o objetivo de testar as decisões previamente analisadas e melhorar o desempenho dos fechamentos. Os resultados apontam para a importância de otimizar as análises em virtude das muitas alterações pelas quais passa o projeto, a importância da compreensão dos princípios básicos de conforto ambiental, a importância de um repertório de soluções regionais e o impacto das primeiras decisões sobre os resultados finais.

Palavras-chave: projetação; conforto ambiental; eficiência energética.

ABSTRACT

This article discuss some architectural decisions influenced by environmental comfort and energy efficiency performance analyses taken during the design process of an educational building located in tropical climate. This study was developed as a final course project based on a program for the Architecture and Urbanism Course expansion needs. The project adopts a contemporary language and combines modulation and pre-manufactured systems for the panels and metallic structure, to allow a construction in stages. The environmental comfort analyses permeate all architectural design stages: from the conception to the detailing phase. The earliest stage considers the use of computational software for solar geometry analysis, as Ecotect and SunTool, and ventilation prediction, as the TAS and ASHRAE diagrams. The thermal and energy assessment of façades and envelope were carried out with the DesignBuilder software. The results shows the importance of optimizing the analyses due to the many alterations that the project went through, as well the understanding of the environmental comfort fundamentals, a regional repertoire of solutions and the impact of the early decisions on the final results.

Keywords: architectural design; environmental comfort; energy efficiency.

1 INTRODUÇÃO

A aplicação de conceitos relacionados ao conforto ambiental e eficiência energética no projeto arquitetônico geralmente é feita com base em recomendações básicas e em referências com bom desempenho. O uso de programas de simulação computacional durante a evolução do projeto arquitetônico é uma forma de utilizar adequadamente as estratégias arquitetônicas, avaliando o seu impacto no resultado final e a validade de hipóteses definidas no início do processo.

O objetivo deste artigo é apresentar as principais decisões arquitetônicas influenciadas por análises de conforto ambiental e eficiência energética, tomadas durante a projetação de um edifício de ensino localizado em clima quente e úmido. O projeto é parte de um trabalho final de graduação - TFG, com o tema de Unidade Acadêmica Especializada de Arquitetura e Urbanismo para o Campus Central UFRN, com ênfase na otimização do seu desempenho térmico e energético. A escolha do tema é justificada pela expansão de atividades de ensino, pesquisa e extensão, que acarreta crescente demanda por área e espaço especializado. Questões da área de conforto ambiental e eficiência energética passaram a ser incorporadas no programa para valorizar ainda mais uma eventual proposta. As motivações surgiram das pesquisas e trabalhos desenvolvidos pelo Laboratório de Conforto Ambiental (LabCon) da UFRN. Desta forma, foram levantadas referências de projetos, exploradas alternativas de projeto para futuras reflexões, aplicados conceitos de bioclimatologia e de eficiência energética no desenvolvimento do projeto e foi avaliado o impacto de elementos arquitetônicos no desempenho ambiental da edificação através de ferramentas de predição do comportamento térmico e energético. Foi conduzido um processo de projeto permeado por inúmeras reflexões, críticas e sugestões.

2 FERRAMENTAS DE AUXÍLIO AO PROJETO

O uso de ferramentas computacionais para avaliação do desempenho de edificações é bastante discutido no meio acadêmico. Segundo Hien; Poh e Feriadi (2000) a crescente complexidade na avaliação do design e desempenho dos edifícios resultou na necessidade do uso dessas ferramentas durante o processo projetual. Entretanto, há muitos obstáculos para difundir no meio profissional, pois os projetistas desconsideram estes instrumentos, optando por seguir um método mais intuitivo. No caso da proposta apresentada nesse artigo, o uso das ferramentas computacionais foi viabilizado pelas várias experiências prévias, influenciando a escolha e a fase que cada uma foi empregada.

As ferramentas de análise climática utilizadas foram o Analysis (Lamberts, Schuch *et al.*, 2003) e o WeatherTool (Marsh, 2001b). Ambos empregam o mesmo arquivo climático, do tipo TRY obtido por Goulart (1998). As principais diferenças entre os dois programas estão na definição da faixa de conforto térmico. O Analysis emprega o método de Givoni (1992) e o WeatherTool emprega o método CPZ de Szokolay (Szokolay e Docherty, 1999). Apesar das diferenças dos métodos, as recomendações são equivalentes: evitar os ganhos de radiação solar e ventilar.

Os programas de simulação mais simplificados empregados são aqueles que permitem explorar a geometria solar, essencial no desenvolvimento dos esboços. Destacam-se dois programas: o SunTool (Marsh, 2001a) e o Ecotect (Marsh, 2003). O primeiro é muito simplificado e empregado na análise de uma única abertura, sendo recomendado para resolver casos específicos que destacam um único elemento porque é rápido e flexível de uso.

O software TAS (Edsl, 2001) foi empregado como uma ferramenta simplificada de simulação computacional de fluidos, através do módulo Tas Ambiens. Ele simula o escoamento do ar, incluindo campos de temperatura, umidade, pressão e velocidade, numa seção (bidimensional).

O programa de simulação térmica e energética empregado foi o DesignBuilder (Designbuilder, 2005), que vem substituindo o programa VisualDOE (Architectural Energy Corporation, 2005) desde 2005, no LabCon/UFRN. Trata-se de uma interface gráfica para o EnergyPlus, que é baseado nos recursos do BLAST e DOE-2 (Crawley, Lawrie *et al.*, 2001). O *EnergyPlus* apresenta funções mais elaboradas para simulação de balanço térmico, maior precisão na predição de temperaturas do ar e radiante média, além de apresentar possibilidades mais apuradas de simulação para ambientes não-condicionados. Para simulações de fluxo de ar, o *DesignBuilder* adota, no modo de maior complexidade (*calculated*), o

algoritmo *AirNet*, também incorporado do *EnergyPlus*. Nesse modo, o fluxo de ar é calculado de acordo com as aberturas e diferenças de pressão do modelo. Os resultados analisados são os fluxos de calor do edifício ou das zonas separadamente, assim como de paredes, pisos, tetos, aberturas, partições internas, portas, infiltrações, ventilação, ocupação, além de temperatura do ar interno, externo, temperatura radiante média, consumo de energia, dentre outros.

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

A proposta foi desenvolvida em fases. A primeira abordou o programa, o terreno e sua localização, orientação e topografia, as condicionantes legais e climáticas, além da definição das necessidades, pré-dimensionamento e modulação. Na segunda, os primeiros esboços foram feitos nos estudos volumétricos com base em zoneamentos e plantas baixas. A terceira etapa consiste na evolução da proposta a partir do desenvolvimento de detalhes de sistema construtivo, esquadrias, protetores solares, coberta dentre outros.

3.1 Localização

A cidade de Natal-RN tem latitude $05^{\circ} 50' 10''$ S e longitude $35^{\circ} 12' 27''$ O, com fuso horário: GMT-3, clima quente e úmido. As estratégias bioclimáticas são adotadas pela NBR 15220-3 (Abnt, 2005) com base no Método de Givoni (Lamberts *et al.*, 2003), Figura 1, a partir dos dados climáticos da cidade de Natal (arquivo tipo TRY). As recomendações ratificam o conhecimento empírico: destaca-se a importância do sombreamento e a da ventilação natural como principais estratégias. Estratégias de aquecimento, tanto solar passivo quanto artificial, não se aplicam. Recomenda-se a integração entre espaços internos e externos a partir do uso de elementos vazados e sombreados, e o uso de paisagismo integrado.

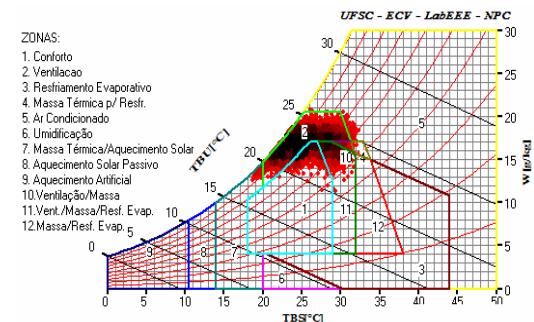


Figura 1 - Carta psicrométrica e zonas de conforto para a cidade de Natal-RN.

Fonte - Analysis Bio (Lamberts *et al.*, 2003).

O terreno selecionado localiza-se próximo aos Laboratórios de Arquitetura e ao Centro de Tecnologia, com área aproximada de 2354,49 m². O estudo da ventilação, realizado a partir da sobreposição da rosa dos ventos (Envionmental, 1998 – 2004) na planta baixa do terreno (Figura 3), mostra a direção predominante dos ventos, Sudeste, com ângulos de incidência aproximadamente entre 120° e 150° . O terreno está circundado por espaços abertos, como os estacionamentos a Norte e a Sul e as vias de circulação, o que favorece a penetração dos ventos. Para a análise do sombreamento do entorno no terreno, utilizou-se o programa Ecotect (Marsh, 2003), considerando a vegetação existente e as edificações do entorno. A dimensão maior do terreno tem orientação Leste-Oeste, favorecendo a implantação retangular neste sentido. As construções do entorno pouco interferem no sombreamento do terreno, devido ao seu grande afastamento. Observa-se sombreamento apenas no início da manhã, e no final da tarde, Figura 2, nos meses de janeiro a março e outubro a dezembro.

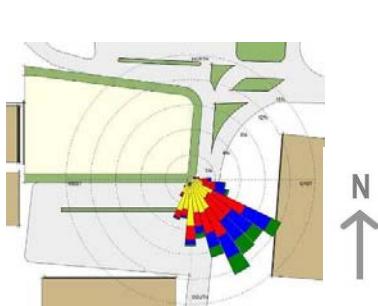


Figura 3 - Ventos dominantes no terreno.

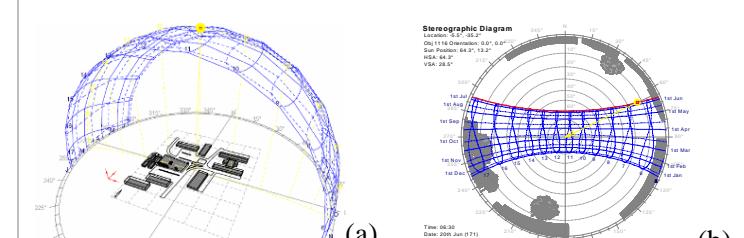


Figura 2 - Análise do sombreamento do entorno no terreno: (a) modelo tridimensional e (b) diagrama de máscara de sombra.

3.2 A proposta

Desde os primeiros estudos volumétricos, buscou-se aplicar as condicionantes de conforto térmico, como as maiores fachadas e aberturas voltadas para Norte-Sul, fachadas Leste e Oeste opacas, alta permeabilidade da edificação aos ventos, layout pouco fragmentado, menor profundidade das salas e átrio com iluminação natural e ventilação. Com base nisto, na evolução da proposta foram definidas a modulação e planta baixa, com teste de alternativas para o partido estético e envoltória, sendo desenvolvidas 13 versões. De maneira geral, a intenção foi aproveitar os níveis do terreno, com a proposta de um bloco modulado e uniforme com balanço dos 1º e 2º pavimentos no módulo da fachada leste e considerou-se a possibilidade de construção em etapas.

3.2.1 Versões da proposta escolhida

Na primeira versão, optou-se pela estrutura metálica aparente, com perfis metálicos tipo I e pela coberta em alumínio com isolamento térmico, valorizando os beirais para proteção solar (Figura 4). O lançamento estrutural foi convencional, seguindo um módulo básico de 12 m x 9,6 m para racionalizar a construção. Outra possibilidade para sistema construtivo foi o uso do concreto armado, utilizado em maior escala nos projetos locais. Na versão 2, propõe-se a circulação central ventilada, com brises nas laterais. Neste caso, a fachada sul fica muito exposta à radiação pela ausência de beirais (Figura 5). Visando maior sombreamento, o uso do balanço estrutural foi complementado com lajes projetadas da estrutura formando uma “caixa”, com uso de brises horizontais na fachada sul (Figura 6). A coberta do átrio central tem o objetivo de promover a ventilação natural no interior da edificação, criando uma abertura zenital de saída dos ventos e para contribuir para a iluminação natural indireta e ainda evitar a entrada de chuva pela fachada de incidência dos ventos (Figura 7).



Figura 4 – Primeira versão.

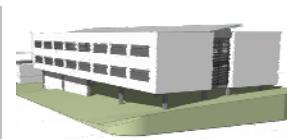


Figura 5 - Estrutura em concreto armado.



Figura 6 - Versão 3.

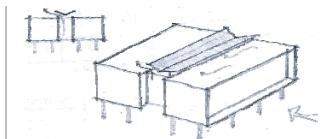


Figura 7 - Esboço de coberta para o átrio.

Na 3ª versão, foram realizadas as primeiras simulações de ventilação natural e análise do sombreamento da fachada sul para testar algumas hipóteses dos estudos volumétricos. Os resultados ilustram a eficácia da porosidade obtida com o átrio vazado e a formação de uma corrente de ar ascendente, que sai pelo lanternim e ventila as salas posteriores, conforme intenção inicial (Figura 8).

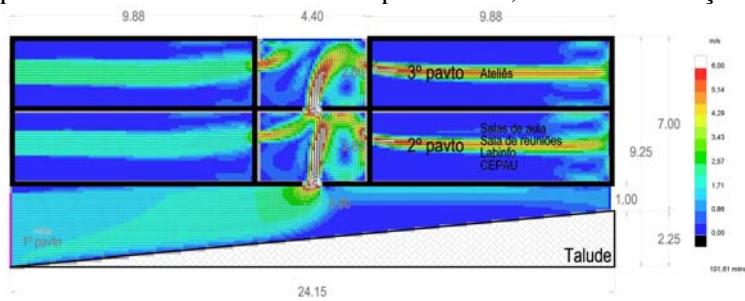


Figura 8 - Simulação no software TAS da ventilação natural no átrio.

Para a escolha do tipo de proteção solar a ser utilizada na fachada sul, foram feitas análises de sombreamento nos softwares SunTool e Ecotect. A seleção de brises horizontais foi o ponto de partida para a análise. A primeira simulação considerou a projeção da laje e os brises, observando-se que as aberturas recebem insolação apenas no início da manhã, até aproximadamente 7:30 e no final da tarde, a partir de aproximadamente 17:00 (Figura 9). Para identificar quantas proteções seriam necessárias para se obter 100% de sombreamento, aumentou-se gradativamente o número de brises até identificar 15 protetores verticais (1m) e 4 horizontais (60 cm) (Figura 10).

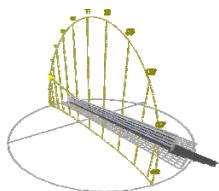


Figura 9 - Sombreamento para a fachada sul com 4 protetores horizontais (60cm) e 2 verticais (1m).

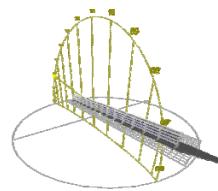
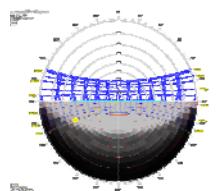
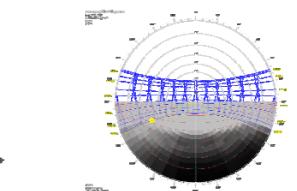


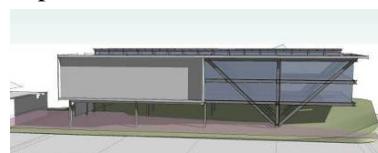
Figura 10 - Sombreamento para a fachada sul com 4 protetores horizontais (60cm) e 15 verticais (1m).



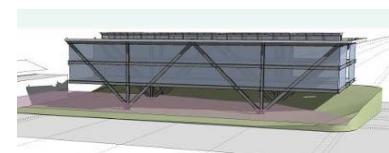
Percebeu-se que não há melhoria na eficiência do protetor com seu acréscimo na frente da abertura. Foram realizadas diversas análises nos softwares para identificar o brise mais eficaz. O protetor escolhido foi o AB 200, da REFAX, de chapas de alumínio com formato ogival de dimensões de 7,5 cm por 20cm de altura e comprimento variável. Analisou-se a fachada sul com 15 protetores e espaçamento de 40 cm. O sombreamento foi satisfatório nos horários críticos da insolação, entre 10hs e 14hs, com exposição ao sol apenas no início do dia e final da tarde. Após a escolha dos brises, o sistema construtivo foi revisto, com a aplicação da estrutura metálica, seguida de novo pré-dimensionamento estrutural (Figura 11). Com o aumento de áreas envidraçadas para valorizar a estrutura metálica, novas análises de sombreamento foram feitas, optando-se pela alternativa com apenas o último módulo em balanço e pilar metálico inclinado.



(a)



(b)



(c)

Figura 11 - Edifícios em estrutura metálica: (a) 1 módulo, (b) 2 módulos e (c) 4 módulos.

Novamente, para definir o tamanho adequado dos brises, foram simuladas aberturas com proteções de diversos tamanhos. A retirada dos brises reduziu os horários de sombreamento. Em proteções de dimensões a partir de 1m, observa-se pouca alteração no sombreamento da abertura no início da manhã e final da tarde. Utilizando beiral de 80cm, atinge-se 72% de sombreamento na abertura a partir das 7hs (Figura 12).

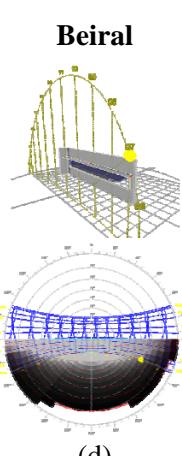
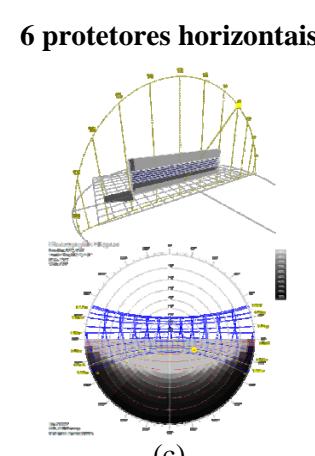
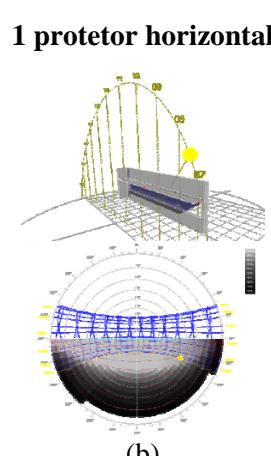
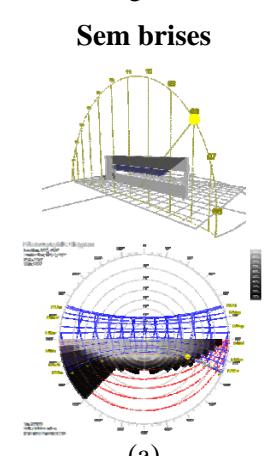


Figura 12 - Análise do sombreamento para o último módulo da fachada sul: (a) sem proteção, (b) com 1 protetor, (c) com 6 protetores e (d) beiral com 80cm.

Elementos de composição de fachada, como fechamentos, brises e tirantes, foram incorporados ao partido arquitetônico sempre com base em simulações nos softwares. Houve mudanças na planta baixa, buscando sempre utilizar fechamentos permeáveis à ventilação e iluminação indireta. Os protetores horizontais aparecem em menor número e mais espaçados na parte envidraçada.

Houve redução total da área envidraçada para leste, em função dos ganhos de carga térmica desta fachada, aumentando-se a área envidraçada na fachada sul, onde o sombreamento já apresenta maior eficiência. As venezianas de madeira no hall e na parte posterior da escada favorecem a ventilação e iluminação natural. Como as lajes projetadas e os brises da fachada envidraçada foram retirados, utilizou-se brises inclinados para movimentar a volumetria, colocados nos três primeiros módulos (Figura 14), que foram analisados no Ecotect (Figura 13) e posteriormente compatibilizados na composição estética da fachada, com diminuição do espaçamento proporcionalmente à necessidade de proteção em função da proximidade com o beiral (Figura 15). Conforme simulações (Figura 13), houve pouca influência dos brises inclinados da versão 10 no sombreamento das aberturas voltadas para sul, mesmo assim, houve adaptações em sua localização e dimensões para melhorar seu desempenho e compor esteticamente a fachada.

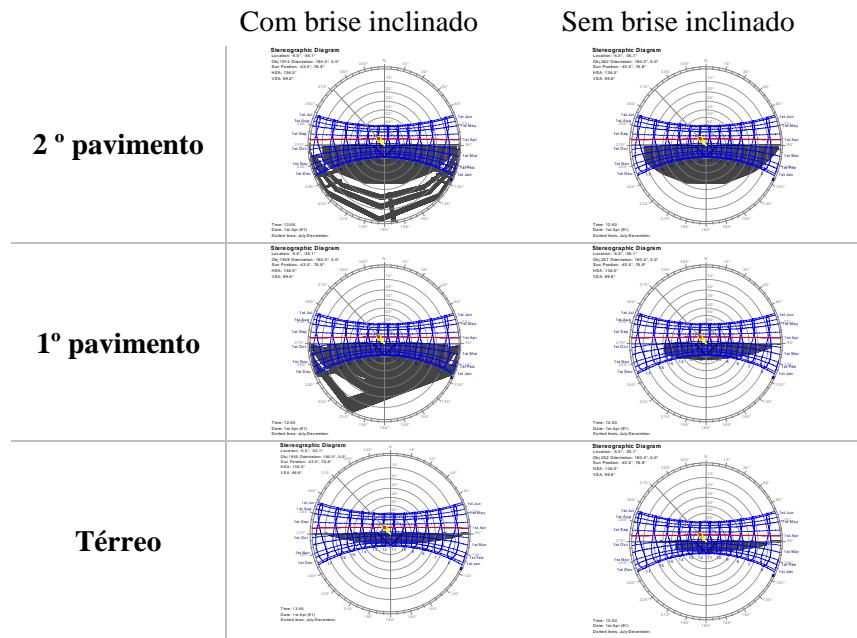


Figura 13 - Sombreamento das aberturas da versão 10.

Os traços ortogonais da coberta sofreram alteração com a escolha de utilizar a telha termo-acústica em alumínio aparente com ático ventilado, elevada aproximadamente 1m da viga, criando um espaço para colocar os condensadores do ar condicionado (Figura 16). Os tirantes laterais foram retirados e a cobertura do átrio também foi modificada, com ênfase na solução estrutural aparente, formando um “x” de estrutura metálica e mais coerente com a cobertura dos blocos.

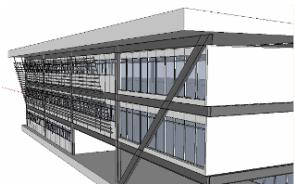


Figura 14 - Versão 10.

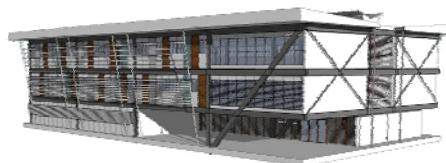


Figura 15 - Versão 11.

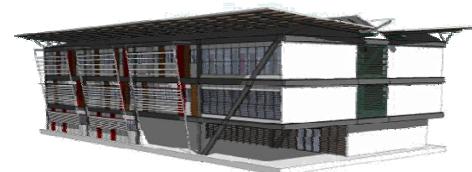


Figura 16 - Versão 12.

A solução final já apresenta mais características do partido arquitetônico associadas com o conforto ambiental e eficiência energética, que foram inseridas na evolução da proposta a cada análise feita. As cores foram definidas, o bloco em balanço tornou-se mais leve e transparente com a retirada da parede opaca do térreo voltada para leste, utilizando venezianas de madeira e vidro para evitar a entrada de chuva. Na fachada posterior, o módulo da escada ficou transparente com venezianas em madeira que favorecem a ventilação cruzada. Destaca-se a estrutura modulada, que potencializa a racionalização e padronização da construção, com o uso de sistemas pré-fabricados; a elevação da cobertura com estrutura aparente, favorecendo a remoção do calor proveniente da radiação incidente sobre as telhas; e

o átrio com iluminação zenital, para reduzir os efeitos desagradáveis da grande profundidade dos blocos, bem como o aumento da permeabilidade dos ventos e da iluminação natural (Figura 17).



Figura 17 – Solução final: (a) vista geral, (b) hall de entrada, (c) detalhe da escada e (d) fachada oeste.

3.3 Simulação térmica e energética

A simulação térmica e energética foi empregada na fase do detalhamento para teste da solução devido à sua complexidade, já que demanda a proficiência no uso de um programa, a modelagem de centenas de variáveis do projeto, microcomputador com capacidade de processamento e tempo para as análises dos resultados e ajustes do modelo. Consiste numa avaliação das hipóteses criadas no processo, muitas delas assistidas por outras ferramentas de desempenho térmico, por princípios e por intuição. O principal objetivo das simulações é avaliar o potencial de recursos passivos para condicionamento do edifício. São considerados os impactos da redução da carga térmica incidente na envoltória e a permeabilidade ao vento da edificação. Trata-se de uma estratégia bioclimática consolidada para o clima de Natal, assim como de uma estratégia de eficiência energética denominada ventilação híbrida. As janelas, tabicões e portas são abertas quando a temperatura do exterior é maior do que 22°C e são fechadas quando a temperatura interna ultrapassa 26°C. O acionamento pode ser realizado de diversas formas, como por atuadores eletro-mecânicos ou pelos usuários. A partir da elevação da temperatura do ar interno acima de 26°C, entra o ar condicionado. Essa alternativa tem potencial de uso nas primeiras horas do dia e da noite, quando o clima é mais ameno, e quando há uma redução das cargas térmicas incidentes pela envoltória e geradas internamente. O projeto foi modelado e simulado no programa DesignBuilder 1.20.0.070. (Figura 18). Foram empregados sistemas construtivos convencionais e a ênfase foi na reprodução da geometria, devido aos cuidados tomados com as proteções solares desde as primeiras fases de concepção e implantação.

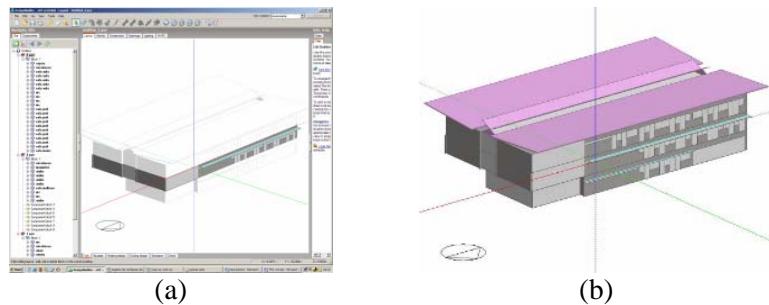


Figura 18 - Programa DesignBuilder: (a) interface gráfica e (b) modelo 3D.

A complexidade do caso implicou em diversas simplificações quanto à forma de ocupação. Adotou-se um tipo de rotina comum para todo o modelo, com início das atividades às 7 hs e término às 22 hs. Foram considerados ambientes sem controle de temperatura para as áreas sem ar condicionado, como banheiros e áreas de circulação, e ambientes com ar condicionado regulado em 26°C, com possibilidade de ventilação natural quando possível (Tabela 1).

O impacto do uso combinado da ventilação natural com o ar condicionado varia de acordo com as áreas climatizadas artificialmente e ao longo dos meses. Conforme Figura 19, o potencial de redução do consumo de energia do ar condicionado é maior para o segundo pavimento porque está mais protegido da radiação solar e por ter maior incidência de vento. Em junho, é possível reduzir 1/3 do

consumo de energia. Os meses mais quentes apresentam menor potencial de redução, conforme o esperado. Entretanto, destaca-se que foram consideradas condições internas climáticas mais conservadoras, como temperatura do ar em 26°C, mesmo sendo possível obter condições de conforto térmico com ventilação natural em temperaturas superiores a 30°C.

Tabela 1 - Ambientes simulados.

Pav.	Ambiente	ar cond.+ vent. natural (setpoint de 26°C)	Ventilação natural
Térreo	chefia, APAU, CA, coordenação, LabInfo e auditório	✓	
	dml, copa, almoxarifado, circulação e banheiros		✓
1º	Cepau, salas de aula, salas de professor e sala de meios	✓	
	circulação e banheiros		✓
2º	maquetes, ateliês e sala multiuso	✓	
	circulação e banheiros		✓

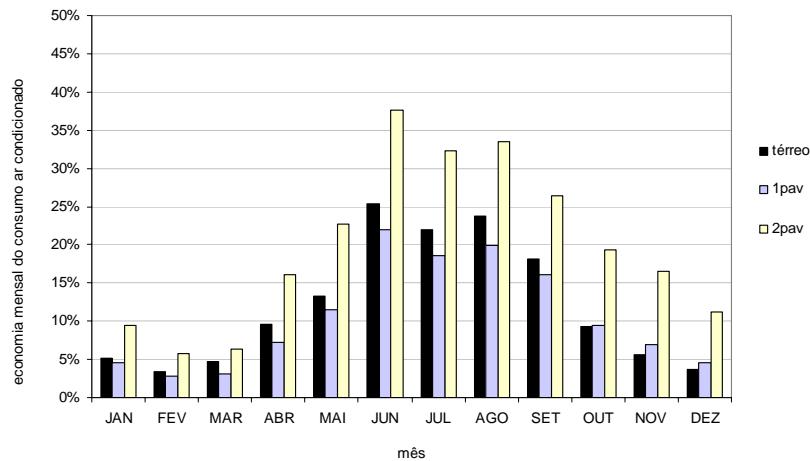


Figura 19 - Redução do consumo de energia elétrica do sistema de ar condicionado.

As simulações no DesignBuilder mostram que as cargas térmicas variam conforme o pavimento. O térreo é mais suscetível às cargas de aquecimento, que se mostram muito próximas às cargas térmicas de geração interna (Figura 20). Essa similaridade indica o desempenho satisfatório da envoltória quanto às proteções.

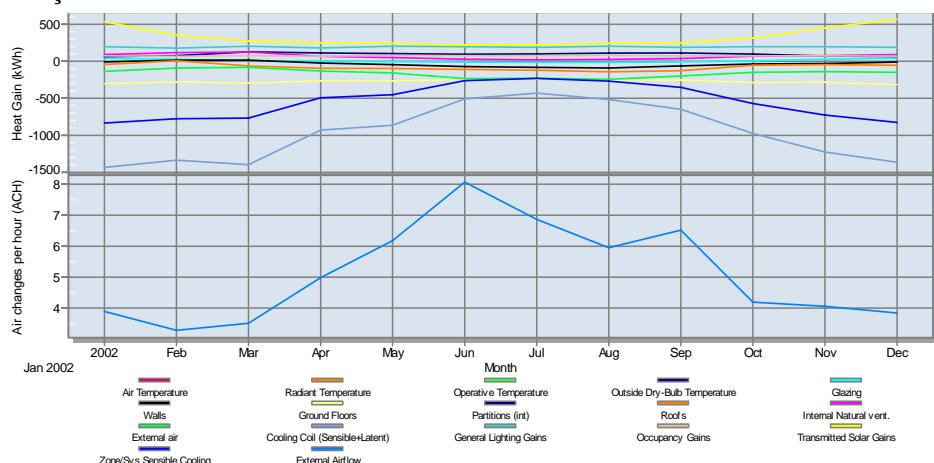


Figura 20 - Ganhos térmicos e ventilação média mensal para a APAU no térreo.

As taxas de ventilação natural são baixas devido à localização da sala e áreas de entrada e saída de ar. Em comparação, a área de circulação do primeiro pavimento tem a radiação solar como a principal fonte de carga térmica, sendo que as taxas de ventilação chegam a atingir quase 400 trocas de volume por hora (Figura 21) e por isso a temperatura do ar circulante se aproxima do ar externo. Os resultados confirmam o sucesso das intenções.

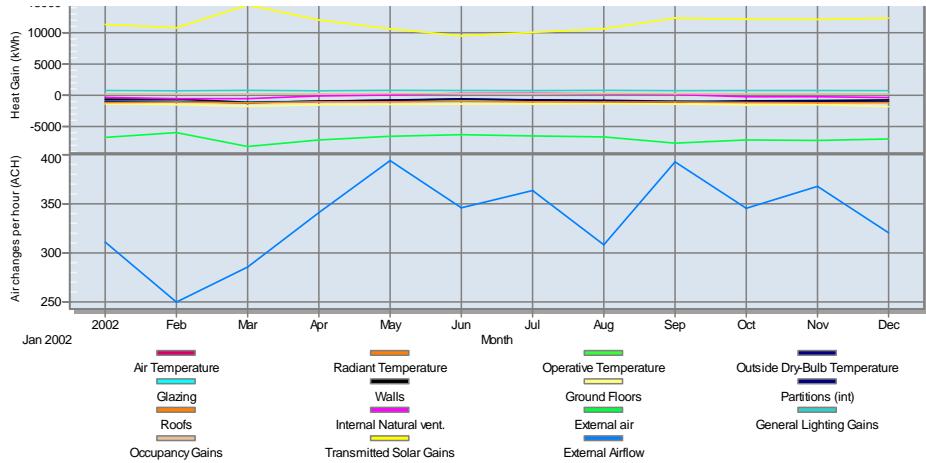


Figura 21 - Ganhos térmicos e ventilação média mensal para a área de circulação no térreo.

As cargas térmicas do primeiro pavimento indicam que não há predominância de uma determinada fonte. As cargas incidentes pela envoltória são de magnitude similar às de calor geradas internamente, sendo que as decorrentes da radiação solar são baixas. A ventilação ainda é baixa se comparada com a da circulação, porém as taxas são suficientes para remover parte do calor.

Os ateliês de projeto apresentaram as maiores taxas de renovação de ar e menores ganhos de carga térmica decorrentes da radiação solar (Figura 22). Devido à cobertura e à permeabilidade aos ventos, o desempenho do segundo pavimento foi o melhor dentre os demais.

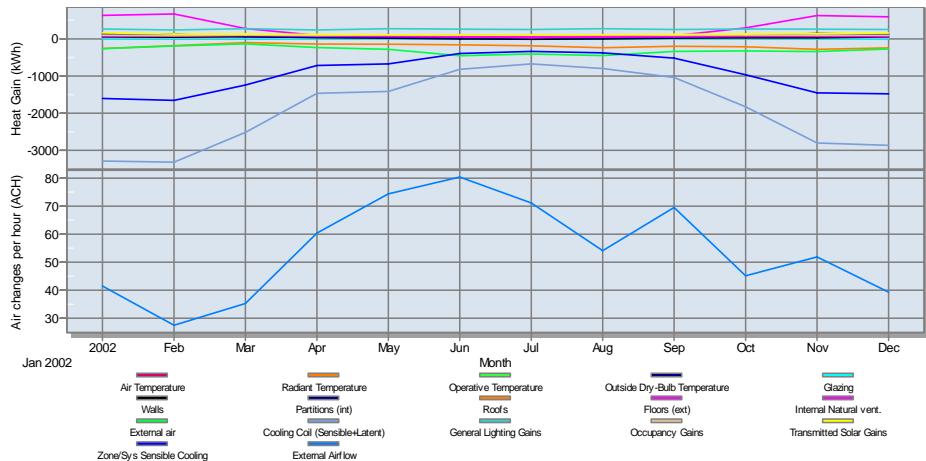


Figura 22 - Ganhos térmicos e ventilação média mensal para o ateliê, 2º pav.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A implantação e volumetria foram determinadas desde o início do processo projetual, ainda que fosse adotada uma compacidade maior do que a desejada. As principais mudanças decorrentes das simulações ocorreram na envoltória, como na geometria de aberturas, proteções solares e no layout. Por isso, o partido estético foi se delineando ao longo das análises funcionais da proposta. A aparente liberdade decorrente da falta de definição da linguagem permitiu diversos estudos de alternativas, entretanto aumentou o tempo de estudo e a determinação da solução final. Percebeu-se a importância

da definição do partido estético desde a fase de pré-projeto e sua valorização para que a essência tivesse sido respeitada ao longo do processo. Por exemplo, o estudo das fachadas implicou na reprodução geométrica detalhada de brises, inclusive com a escolha em catálogos. Soluções como sombreamentos foram introduzidos e descartados conforme sua compatibilidade com o partido estético.

O sucesso da integração das estratégias de eficiência energética foram comprovada ao término do processo, através das simulações no DesignBuilder. As decisões de implantação, volume e envoltória foram acertadas porque foram baseadas em experiências prévias, desenvolvidas nas disciplinas de conforto ambiental e outros projetos arquitetônicos.

5 REFERÊNCIAS

- Architectural Energy Corporation. VisualDOE 4. San Francisco, CA USA 2005.
- Crawley, D. B., L. K. Lawrie, et al. EnergyPlus: Creating a New-Generation Building Energy Simulation Program. **Energy & Buildings Journal**, v.33, n.4, April 2001, p.319-331. 2001.
- Designbuilder. Design Builder Software Ltd.; 2005.
- Edsl. Developers of Tas: EDSL. 2001 2001.
- Envionmental, L. WR PLOT View 1998 – 2004.
- Givoni, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v.18, n.1, p.11-23. 1992.
- Goulart, S. V. G., R. Lamberts, et al. **Dados Climáticos para Projeto e Avaliação Energética de Edificações para 14 Cidades Brasileiras**. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC. 1998.
- Hien, W. N., L. K. Poh, et al. The use of performance-based simulation tools for building design and evaluation - a Singapore perspective. **Building and Environment**, v.35, p.709-736. 2000.
- Jonson, B. Design ideation: the conceptual sketch in the digital age. **Design Studies**, v.26, n.6, Nov, p.613-624. 2005.
- Lamberts, R., M. Schuch, et al. Analysis Bio. Florianópolis, SC 2003.
- Marsh, A. SUNTOOL v1.10 - Window Shading and Overshadowing. Perth (Australia) 2001a.
- _____. WEATOOL, The Weather Tool: Climatic Visualisation and Design Analysis. Perth, Australia 2001b.
- _____. Ecotect. Perth: Square One Research PTY LTD 2003.
- Szokolay, S. V. **Energetics in Design**. PLEA'84 - The Third International PLEA Conference. Mexico: Pergamon Press. August, 1984. 1000-1006 p.
- Szokolay, S. V. e M. Docherty, Eds. **Climate Analysis**. Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniques. Brisbane: PLEA in association with Department of Architecture, The University of Queensland, p.56, Passive and Low Energy Architecture International Design Tools and Techniquesed. 1999.

6 AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e à Eletrobrás pela infra-estrutura do Laboratório de Conforto Ambiental da UFRN.