

## **ADEQUAÇÃO CLIMÁTICA E LUMÍNICA DO EDIFÍCIO ESPAÇO DO CONHECIMENTO LOCALIZADO EM CUIABÁ-MT.**

**Márcia Baziqueto Peres (1); Luciane Cleonice Durante (2); José Afonso Botura Portocarrero (3)**

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil – e-mail: ma\_baziqueto@hotmail.com

(2) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil – e-mail: lucianedurante@uol.com.br

(3) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil – e-mail: boe9@cpd.ufmt.br

### **RESUMO**

O clima da cidade de Cuiabá possui duas estações bem definidas que exigem estratégias distintas de adequação da arquitetura ao clima. Nesse sentido, a concepção de projetos que atendam às recomendações bioclimáticas, torna-se um desafio para o arquiteto. Este trabalho surgiu da busca da verificação do atendimento de algumas questões de adequação do projeto ao clima, relativas ao edifício do Espaço do Conhecimento. O objetivo geral é analisar a adequação da edificação ao clima local e analisar a disponibilidade de luz natural no interior da mesma. O projeto foi eleito para o estudo pelo fato de agregar compromisso estético com preocupações de cunho ambiental e energético. A metodologia baseou-se em simulações computacionais e em análises quanti-qualitativas. Os resultados mostraram adequação do projeto em relação as condicionantes climáticas da cidade, e diante deles, algumas propostas de alterações para o melhoramento dos resultados foram sugeridas. As conclusões apontam para a viabilidade do uso das estratégias passivas de condicionamento e iluminação, fato muito importante para divulgação local, no qual a produção arquitetônica se apresenta cada vez mais desvinculada das questões ambientais locais, seguindo padrões estéticos ditados pelas demais regiões do nosso país.

Palavras-chave: eficiência energética; conforto térmico; adequação ambiental.

### **ABSTRACT**

Proposal: The climate of Cuiaba city has peculiar characteristics, with two well defined seasons that require distinct strategies of architecture adjustment to the climate. Therefore, the design of projects that meet the bioclimatic recommendations becomes a challenge for the architect. By searching for the verification of some climate adjustment of the project, related to the building Knowledge Space (Espaço do Conhecimento), this work was developed, which has as the general objective the investigation of the building suitability to the local climate and the natural light use efficiency. Research Method / approaches: The project was elected for the study because it aggregates aesthetic commitment to environmental and energetic concerns. The methodology was based on computer simulations and quantitative and qualitative analysis. Results: Results showed adequacy of the project in relation to the climatic conditions of the city, thus, some proposals for changes to improve the results have been suggested. Contributions / Originality: The conclusions point to the feasibility of the use of conditioning and illumination passive strategies, which is very important for local disclosure, in which architectural production has been increasingly unlinked to environmental issues, following aesthetic patterns imposed by the other regions of our country.

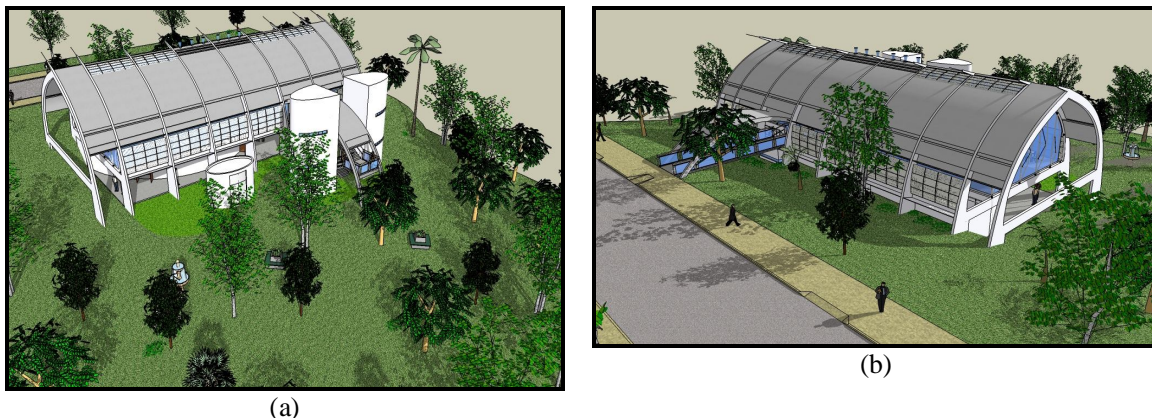
Keywords: energy efficiency, thermal comfort, environmental suitability

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 O projeto

O projeto do Espaço do Conhecimento é de autoria do Arquiteto e Urbanista Prof. Dr. José Afonso Botura Portocarrero. Constitui-se de um edifício de dois pavimentos, sendo que o pavimento térreo abriga um auditório e uma área aberta e o primeiro pavimento, um espaço destinado a múltiplo uso como atendimento ao público e biblioteca, dentre outros.

O projeto foi implantado tendo a fachada principal a Noroeste ( $292^{\circ}\text{NO}$ ), a fachada dos fundos a Sudeste ( $112^{\circ}\text{SE}$ ) e as fachadas laterais esquerda e direita a Nordeste ( $22^{\circ}\text{NE}$ ) e Sudoeste ( $202^{\circ}\text{SO}$ ) respectivamente (Figura 1).



**Figura 1** – Fachada Sudeste–dos fundos– $112^{\circ}\text{SE}$  (a) e Fachada Noroeste–principal– $292^{\circ}\text{NO}$  (b)

A cobertura é uma casca dupla de forma oval com cumeeira central. Tem dimensões de 36,20m. de comprimento e 17,80m. de largura e caixão de 40cm. entre as lajes de concreto de 10cm. de espessura. O acabamento interno e externo é em concreto aparente.

Os fechamentos verticais são em placas de vidro laminado duplo de 4mm, com película low-e incolor na face externa.

Quanto aos elementos de proteção solar, tem-se nas fachadas  $292^{\circ}\text{NO}$  e  $112^{\circ}\text{SE}$ , brises em chapa de aço carbono perfurada, porcentagem de área aberta máxima de 35%, cor clara, com mobilidade para duas posições – aberto e fechado (Figuras 2a e 4b). Nas fachadas  $202^{\circ}\text{SO}$  e  $22^{\circ}\text{NE}$ , a proteção solar foi projetada em régua de madeira, fixadas nos pórticos das extremidades, desde a cobertura até a altura de 3,20m. do nível do piso primeiro pavimento (Figura 6a).

## 1.2 Caracterização do clima da cidade de Cuiabá

A cidade de Cuiabá se situa na latitude  $15^{\circ}60'S$  e longitude  $56^{\circ}10'NW$ , localizando-se, assim, no Centro Geodésico da América do Sul. Possui duas estações bem definidas, uma quente-seca, de abril a outubro e, outra, quente-úmida, de novembro a março. Na estação seca ocorre o fenômeno da “friagem”, queda brusca de temperatura, ocasionada pelas chegadas das frentes frias do sul do país, com duração de no máximo três dias.

A amplitude térmica diária é geralmente pequena, com dias e noites igualmente quentes, sendo a média anual de  $26,8^{\circ}\text{C}$ , com média das temperaturas máximas de  $42^{\circ}\text{C}$  e média das temperaturas mínimas de  $15^{\circ}\text{C}$ . Em Cuiabá ocorrem, em média dezessete dias por ano com temperatura média inferior a  $20^{\circ}\text{C}$  e apenas oito dias por ano com temperatura média inferior a  $18^{\circ}\text{C}$ , no período de maio a setembro (DUARTE, 2000 apud CAMPELLO JR et al, 1991).

Os ventos predominantes sopram de norte a noroeste na estação chuvosa e do sul, na estação seca. A insolação total média é de 2172 horas.

A umidade relativa do ar média é de 78%, mas no período da seca, acentuam-se os problemas de poluição do ar devido às queimadas rurais e urbanas (em menor proporção), chegando-se a níveis críticos de umidade de 10%.

## 2 OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo é analisar a adequação da edificação ao clima local e avaliar a disponibilidade de luz natural no interior dos espaços projetados. Como objetivos específicos destacam-se analisar a eficiência dos brises; analisar a adequação dos fechamentos e analisar os níveis de iluminação natural no interior da edificação projetada.

## 3 METODOLOGIA

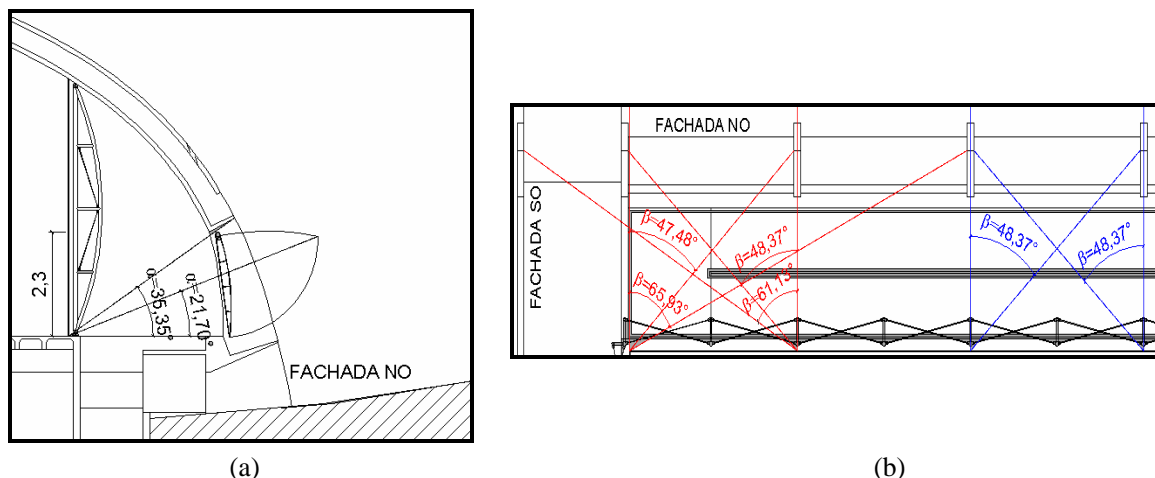
As avaliações propostas foram feitas através de simulações. Foram utilizados os softwares Daylight (Daylight version 4.1. Copyright by Anglia Polytechnic.) para a avaliação da iluminação natural e Solar 6.1. (LabEEE. (Software Solar 6.1.1.) para elaboração das cartas solares de cada fachada do edifício. Os resultados obtidos através das simulações foram relacionados com o projeto de arquitetura e com as recomendações normativas, para que se pudesse avaliá-lo quanti-quantitativamente.

## 4 ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1 Análise da eficiência dos brises

Os ângulos de sombra vertical frontal e horizontal da fachada principal (292°NO) constam da Figura 2, sendo o primeiro tomado a partir do brise de chapa de aço carbono na posição aberta.

Na carta solar (Figura 3) verifica-se que a fachada 292°NO está protegida da radiação solar direta durante todos os dias do ano até as 16:50 horas, após o que ocorre penetração do sol pelas aberturas no plano de trabalho de 0,80m. Ressalta-se que, para efeitos de simplificação do modelo, não considerou-se os pilares intermediários que modulam a estrutura, pois como são elementos esbeltos, seus impactos na proteção solar podem ser desprezados.



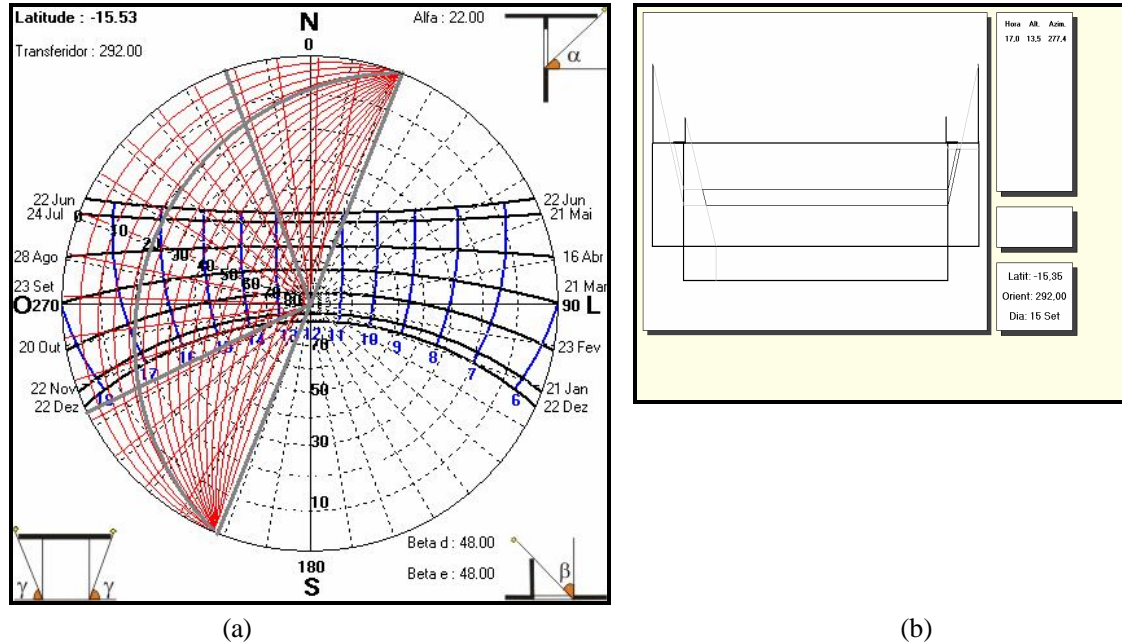
**Figura 2** - Ângulo vertical  $\alpha$  da fachada 292°NO (a) e ângulo horizontal  $\beta$  da fachada 292°NO (b).  
(Fonte: Projeto de Arquitetura)

Em particular na fachada NO, poderia se dispensar a película, pois a distância do fechamento em vidro do alinhamento da proteção horizontal é de 5,50m., que cria uma área sombreada lateral e diminui a radiação refletida pelo piso que chega no vidro.

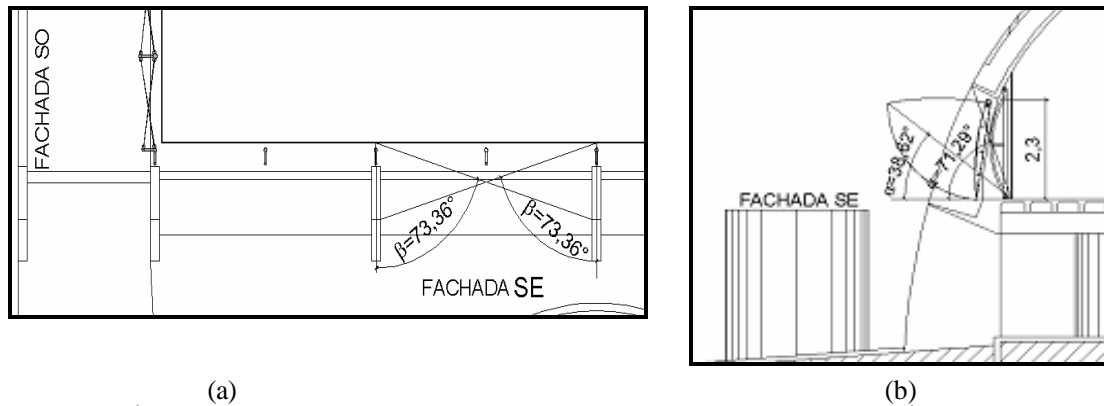
A Figura 4 mostra os ângulos de sombra vertical frontal e horizontal na fachada 112°SE, sendo o primeiro tomado a partir do brise de chapa de aço carbono na posição aberta. Na carta solar da fachada

112°SE (Figura 5) verifica-se que a fachada está protegida da incidência solar direta a partir das 8:30 horas durante todos os dias do ano.

As incidências que ocorrem no final da tarde na fachada 292°NO e no começo da manhã na fachada 112°SE podem ser resolvidas fechando-se os brises de chapa de aço carbono.



**Figura 3** - Carta Solar da Fachada 292°NO (Fonte: Sol-ar 6.1.1) (a) e Penetração solar pelas aberturas da fachada 292°NO (Fonte: Roriz, 1995) (b).



**Figura 4** - Ângulo horizontal  $\beta$  da fachada 112°SE (Fonte: Projeto de Arquitetura) (a) e Ângulo vertical  $\alpha$  da fachada 112°SE (Fonte: Projeto de Arquitetura) (b).

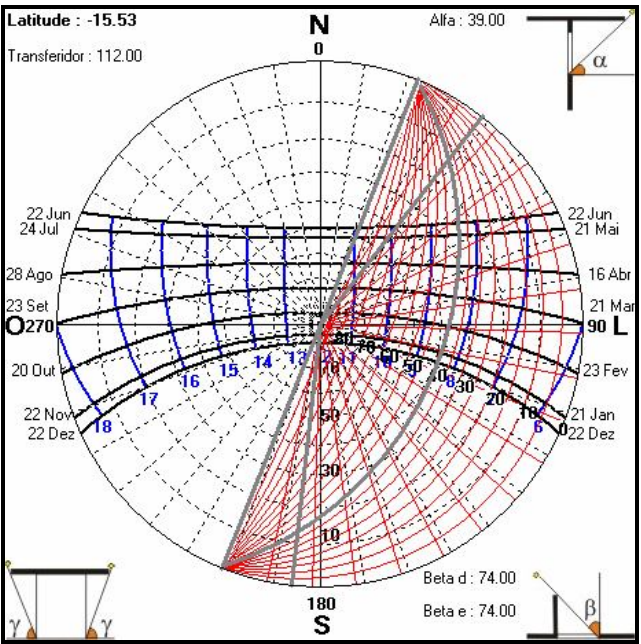
As fachadas 22°NE e 202°SO tem o mesmo elemento de proteção solar em régua de madeira e os ângulos de sombra vertical frontal e horizontal constam da Figura 6.

Na fachada 22°NE, ocorre insolação direta de abril a agosto no início da manhã, sendo que a mancha de sol atingirá o plano de trabalho e a parede (Figura 7). Na fachada 202°SO, a carta solar mostra a proteção total da fachada pelo brise (Figura 8).

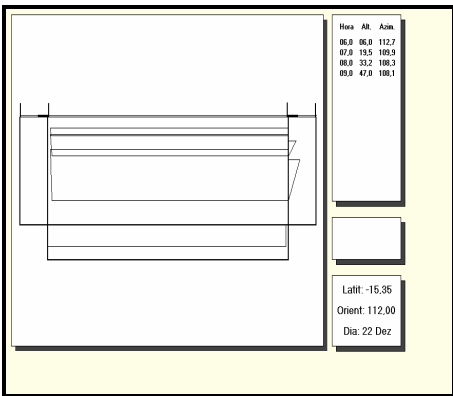
Nas fachadas SE e SO, embora tenham proteção da incidência da radiação solar direta, há que se controlar a parcela da radiação refletida no piso e no entorno que incidirá no fechamento de vidro comum, que por suas características de transparência, a transmite na integralidade. Uma das alternativas para este controle é a colocação de película, mas pode-se usar outras soluções, das quais cita-se como a mais eficiente, o uso intenso de vegetação no entorno, que muito contribui para a

diminuição das temperaturas das superfícies externas e, conseqüentemente, para a diminuição do calor refletido. A vegetação no entorno poderia melhorar, também, a temperatura do ar que cruza a edificação, que se resfria ao passar pela área mais úmida de vegetação, antes de entrar na edificação.

Conclui-se, então, acerca dos brises projetados que os mesmos são muito eficientes, pois ocorre mínima incidência solar direta no interior da edificação.

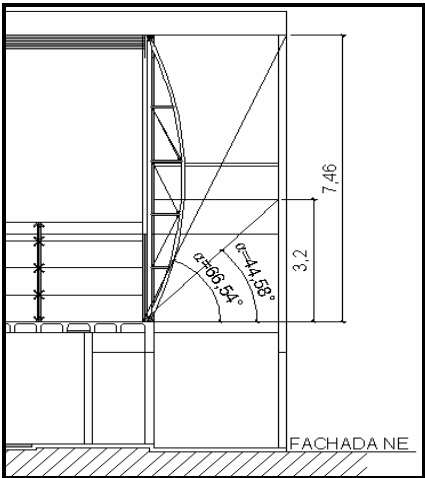


(a)

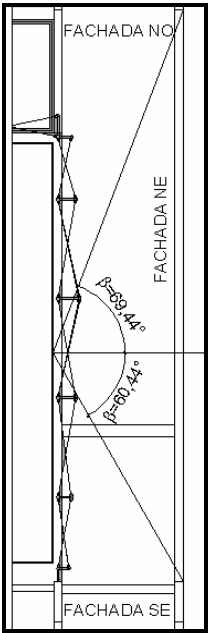


(b)

**Figura 5** - Carta Solar da Fachada 112°SE (Fonte: Sol-ar 6.1.1 (a) e Penetração solar pelas aberturas da fachada 112°SE (Fonte: Roriz, 1995) (b).



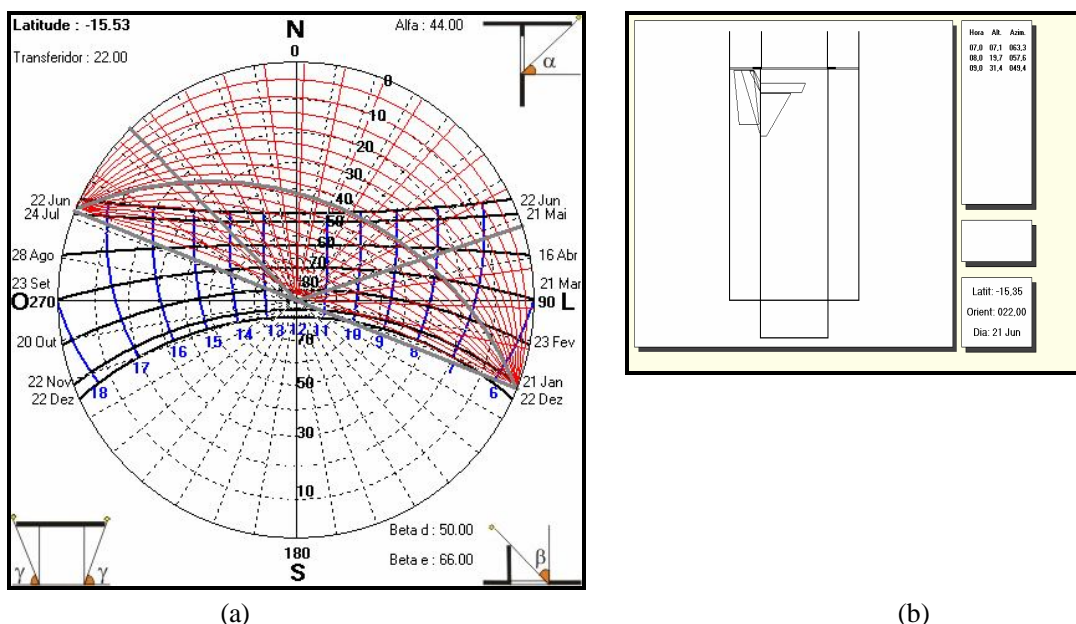
(a)



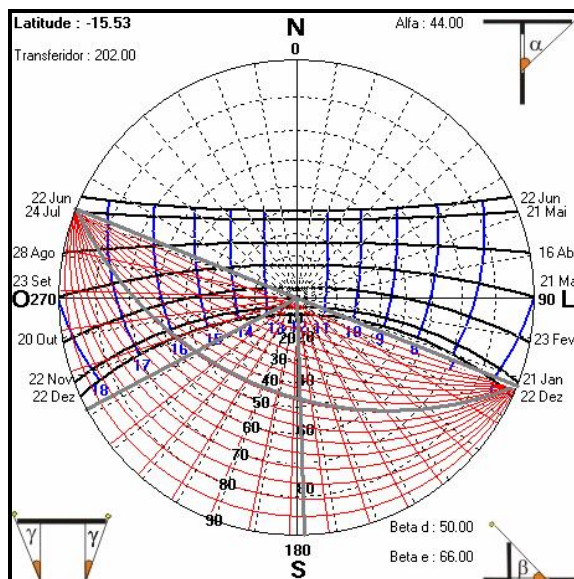
(b)

**Figura 6** - Ângulo vertical  $\alpha$  das fachadas 22°NE e 202°SO (a). Ângulo horizontal  $\beta$  das fachadas 22°NE e 202°SO (b). (Fonte: Projeto de Arquitetura).





**Figura 7 - Carta Solar das Fachadas 22°NE com brise** Fonte: Sol-ar 6.1.1 (a). Penetração solar pelas aberturas da fachada 22°NE (b). Fonte: Roriz (1995).



**Figura 8 - Carta Solar da Fachada 202°SO.** Fonte: Sol-ar 6.1.1.

## 4.2 Estudo da implantação com relação aos ventos

A implantação das fachadas maiores a Noroeste e Sudeste favorece a possibilidade de ventilação cruzada, o que vem de encontro à recomendações da arquitetura bioclimática fornecidas pelos estudos de DUARTE (1995) e pelos indicadores de projeto de ABNT-a (1998).

O projeto prevê, inicialmente, fechamentos em vidros fixos. Sugere-se, então uma alteração, permitindo que os vidros sejam abertos. Tendo em vista que os mesmos são protegidos da radiação solar direta, tem-se a possibilidade de aproveitamento da ventilação natural, principalmente, no

período das chuvas, uma vez que no período da seca, a ventilação natural é recomendada apenas no período noturno.

Outro aspecto positivo do projeto é que os amplos beirais apresentam a vantagem de proteger da chuva e permitir a abertura da janela neste período.

Conclui-se sobre a ventilação natural, que a mesma é viável, pois as janelas estão protegidas da insolação excessiva, os obstáculos oferecem pouca oposição à passagem do vento, e pode-se garantir a privacidade interna sem obstruir a visão para o exterior

Pode-se, ainda, concluir, a respeito da implantação do edifício com relação à ventilação, que a mesma está sendo feita de forma adequada, justificada pela citação de DUARTE(1995): “...Para essas fachadas N/S deve-se promover ampla ventilação cruzada, tirando-se máximo proveito dos ventos dominantes a Norte e Noroeste.”

Como os equipamentos de informática e eletrônicos são sensíveis ao calor, para que o funcionamento dos mesmos não seja comprometido, sugere-se um estudo de lay-out que possibilite a inclusão desses equipamentos em ambientes internos fechados com vidro e condicionados artificialmente durante todo o período de uso.

Por essas características, caso se adote a possibilidade de ventilação natural seletiva no projeto, os ambientes de trânsito e público tem condições de serem operacionalizados, em épocas do dia e ano, sem o condicionamento térmico artificial e oferecendo condições adequadas de conforto aos seus usuários. Essa possibilidade, no entanto, não livra esses espaços do condicionamento térmico artificial, que deve ser previsto e acionado nos períodos críticos do ano, principalmente na estação seca, na época das queimadas e nos períodos quentes em que a temperatura externa seja superior à interna.

#### **4.3 Estudo da adequação dos fechamentos**

Com base referencial teórico da ABNT-b (1998), avaliou-se o desempenho térmico da cobertura, que se constitui na principal envoltória do projeto.

Encontrou-se os valores de resistência térmica de  $0,5343\text{W/m}^2\text{K}$ , transmitância térmica de  $1,8717\text{m}^2\text{K/W}$ , atraso térmico de 7,1 horas e fator de calor solar de 4,9%.

Muito embora, o desempenho térmico da edificação não dependa somente das propriedades térmicas acima, as mesmas são muito importantes, pois se cerca de 70% dos ganhos de calor provém da cobertura, é ela o principal elemento responsável pela condições térmicas no interior dos ambientes.

A avaliação da cobertura mostrou que a tipologia se enquadra nos critérios de qualificação para desempenho térmico da zona bioclimática 7 em que Cuiabá se insere. Constitui-se no principal elemento do projeto e oferece boa resistência à passagem de calor, ou seja, não permite que a temperatura da face mais externa seja transmitida facilmente para o interior do ambiente. No cálculo da resistência térmica considerou-se a câmara de ar entre as cascas, responsável por um fluxo contínuo de ar, com características de isolante térmico.

A cobertura oferece atraso térmico de 7,1 horas, o que significa dizer que o pico de calor interno no interior da edificação só irá ocorrer após sete horas da ocorrência do pico da temperatura no exterior. Este pico externo varia ao longo dos períodos do ano, a partir de meio dia. Quando este pico ocorrer, já se está no período noturno e fora do horário comercial, ou seja, a edificação já estará desocupada ou ocupada eventualmente.

#### **4.4 Avaliação da adequação térmica do projeto**

Analisando-se a incidência de radiação solar nas diversas fachadas, pode-se avaliar a implantação do edifício, alongada, com as maiores dimensões dispostas para noroeste e sudeste, minimizando a exposição a leste e oeste, como adequada, indo de encontro, inclusive, com recomendações bibliográficas de diversos autores citados.

A partir do método do CSTB, tem-se que o ganho máximo de calor acontece para o horário de 12h00min pela cobertura e os ganhos de calor pelos fechamentos verticais são minimizados, já que os

fechamentos tem proteção total da insolação e há a possibilidade de ventilação entre eles e a casca da cobertura.

A avaliação do desempenho térmico da edificação foi feita de forma estimada considerando regime permanente e, sabe-se que o regime de fluxo de calor nas edificações é variável, mas permite tirar conclusões e fornecer subsídios para a tomada de decisões no projeto. Nas condições descritas, a temperatura interna atingiria uma máxima de 30,67°C, no mês de setembro, período mais quente do ano. Considerando-se que se faça uso da ventilação natural e das estratégias bioclimáticas adequadas ao clima, a sensação térmica dos ocupantes seria de cerca de 26°C, ou seja, de conforto.

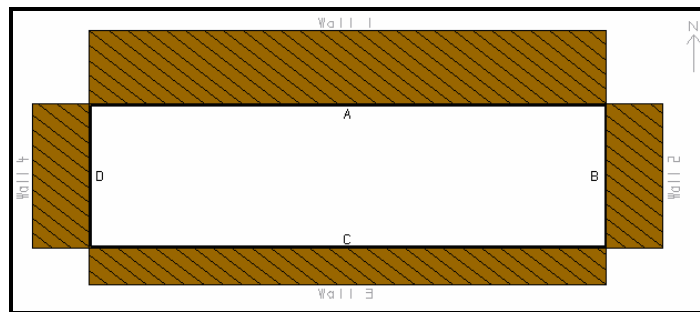
Como o mês de setembro, apesar de ser o mais quente, é também, mês em que a qualidade do ar devido às queimadas é uma das piores, não se recomenda fazer uso de ventilação natural neste período. Estes resultados não liberam a edificação do condicionamento térmico artificial, mas mostram que seria possível utilizá-la sem a obrigatoriedade do condicionamento térmico ativo.

#### 4.5 Análise da luz natural no interior da edificação

Para a simulação adaptou-se a forma do edifício para um paralelepípedo de 10,55m. de largura, 29,67m. de comprimento e pé direito de 7,46m (Figura 9), e as fachadas NO, NE, SE e SO foram denominadas respectivamente de A, B, C e D.

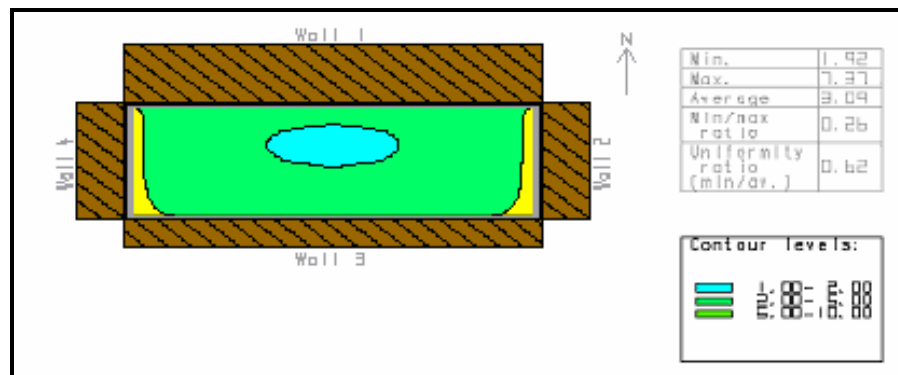
A distância do quebra-sol ao alinhamento da janela é de 5,50m. na fachada A (Figura 2); 2,77m. na fachada B (Figura 6); 3,25m. na fachada C (Figura 4) e 3,25m. na fachada D (Figura 9).

Em todas as fachadas, a altura considerada para a janela foi de 2,30m., desprezando-se a contribuição para a iluminação interna da parte do vidro que ultrapassa esta altura.



**Figura 9** – Identificação das fachadas pelo software Daylight.

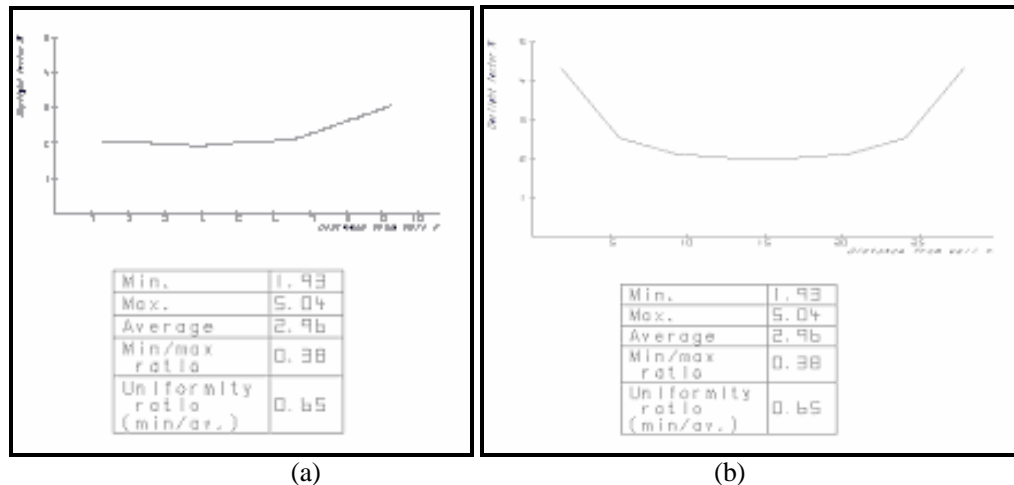
Como iluminância média não é um critério correto para análise de iluminação natural, a mesma deve ser feita levando em conta a iluminação na malha definida. Significa dizer que próximo às fachadas NE e SO, a iluminância será de aproximadamente 255lux, nos entremeios 225lux e no centro 180lux, somente devido à contribuição lateral. A Figura 10 traz as curvas isolux, que ilustra esta conclusão.



**Figura 10** – Curvas isolux - software Daylight.



Cortes transversais e longitudinais passando pelos eixos do ambiente constam das Figura 11, nos quais pode-se observar que a distribuição da luz natural, cuja variação maior se dá ao longo da largura do ambiente, numa proporção de 2:1, que de acordo com a ABILUX (1992) a luminância entre o campo visual central e a tarefa visual propriamente dita ideal é até 3:1.



**Figura 11** - Corte transversal (a) e Corte longitudinal (b).

Entende-se que a iluminação zenital é necessária para fazer a iluminação do trecho que vai da altura de 3,00m. até o teto, pois a iluminação lateral não dará conta desta área, que sem a iluminação zenital ficará escura, devido a sua própria altura e ao concreto aparente. Avaliou-se, assim, que para que se tenha o nível de 100lux no plano de 3,00m. de altura serão necessários quatro elementos zenitais de alta eficiência distribuídos ao longo do comprimento da sala.

## 5 CONCLUSÃO

Os brises projetados oferecem rotação total para as fachadas NO, SE e SO durante o ano todo. Para a fachada NE, tem-se insolação direta durante a manhã, ao longo dos meses de abril a agosto, embora em curto período de tempo. Sugere-se, para esta fachada diminuir a altura do brise (do chão até o início do mesmo) para 1,20m. Esta medida diminui a interação do ambiente interno com o exterior, mas se for considerado que as pessoas desenvolvem suas atividades sentadas, a visão do meio externo ainda é permitida com a altura proposta. Nessa fachada, caso se mantenham as condições de insolação atuais, a película low-e deve ser obrigatoriamente colocada. Outros tipos de vidro poderiam ser especificados, hipóteses já descartadas pela equipe de projeto, por questões de custo.

Em particular na fachada NO, poderia se dispensar a película, pois a distância do fechamento em vidro do alinhamento da proteção horizontal é de 5,50m., que cria uma área sombreada lateral e diminui a radiação refletida pelo piso que chega no vidro.

Todas as análises conduzem ao fato de que o projeto estabelece boa relação com o clima local, desde que se permita a ventilação natural cruzada pelas fachadas NO-SE, pois os brises móveis de chapa de aço carbono perfurada protegem as superfícies envidraçadas e não impedem a ventilação predominante nas direções N-S.

Como sugere-se aqui que o projeto permita o uso da ventilação natural, é interessante que, se a mesma for contemplada, seja otimizada em termos de ventilação cruzada e ventilação por convecção (ou efeito chaminé). Para a ocorrência de ventilação cruzada, é preciso que seja prevista a abertura das janelas, principalmente nas fachadas NO e SE. Para a ventilação por efeito chaminé, seria preciso

estudar a possibilidade de se ter aberturas na cobertura para saída do ar quente. Estas aberturas para saída de ar quente garantem o fluxo de ar por convecção, que ocorre independentemente da velocidade do vento externo.

Como critério de qualificação dos critérios de desempenho luminotécnico tem-se que os valores de CLD encontrados no plano de trabalho de 80cm. estão acima dos valores mínimos, o que qualifica a edificação com conceito "bom".

A distribuição da luz natural também pode se considerada adequada, pois os contrastes estão em limites aceitáveis.

A iluminação zenital tem papel fundamental, não podendo ser dispensada. Ela garantirá a iluminação mínima de 100lux, acima do plano de 3,00m., contribuindo com a diminuição dos contrastes entre os planos de trabalhos próximos às aberturas e o forro.

A iluminação artificial complementar se faz necessária apenas para que se atinja os níveis requeridos para atividades de maior precisão visual, nos postos de trabalho e locais de leitura.

Este estudo apresenta resultados simplificados da avaliação de desempenho do prédio, pois os métodos até agora utilizados fornecem apenas resultados indicativos sobre os aspectos estudados.

Para um estudo mais aprofundado do desempenho do edifício Espaço do Conhecimento é necessário que se desenvolvam estudos mais criteriosos, nos quais os resultados se apresentarão com maior precisão. Como sugestão, pode ser feita simulação de desempenho térmico e lumínico utilizando-se softwares que permite a modelagem do edifício em três dimensões e a representação da forma exata do prédio, sem a necessidade de fazer as aproximações da forma real à retangular, recurso este utilizado nesta fase do estudo.

## 6 REFERÊNCIAS

ABILUX (Mascaró, J, Mascaró, L.). Iluminação- **Uso Racional de Energia Elétrica em Edificações**. 1992.

ABNT-a. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desempenho térmico de edificações – Parte 3: **Zoneamento Bioclimático Brasileiro e Diretrizes Construtivas para Habitações Unifamiliares de Interesse Social**. Dezembro, 1998, 28 páginas.

ABNT-b. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desempenho térmico de edificações – Parte 2: **Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar dos elementos e componentes de edificações**. Dezembro, 1998. 27 páginas.

**Daylight version 4.1**. Copyright by Anglia Polytechnic.

DUARTE, D. H. **O clima como parâmetro de projeto para a região de Cuiabá**. Dissertação de mestrado. UFSCar. 1985.

DUARTE, D. H. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. Tese de Doutorado. USP. 2000.

FROTA, A. B., Schiffer, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. São Paulo: Studio Nobel, 1995.

LabEEE. **Software Sol-ar 6.1.1**.

VIANNA, N. S. , GONÇALVES, J. C. - **Iluminação e Arquitetura**. São Paulo, Virtus, 2001.