



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

**VIIELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

## **Relação entre Iluminação Natural e Eficiência Energética em Edifício do Campus Universitário da UnB – elementos determinantes**

**Alessandro Marchis (1); Ana Teixeira (2); Átila Costa (3); Gustavo Sales (4); Cláudia Amorim (5)**

(1) Arquiteto, Doutorando da Universidade Politécnica de Torino, alessandromarchis@yahoo.it

(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-graduação em Arquitetura Universidade de Brasília.

(3) Arquiteto, atila@unb.br

(4) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-graduação em Arquitetura da Universidade de Brasília,  
g.lunasales@gmail.com

(5) Dr<sup>a</sup>, Professora do Departamento de Arquitetura e Urbanismo. clamorim@unb.br

Universidade de Brasília, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Controle Ambiental e  
Eficiência Energética, Caixa postal 04431 - CEP:70904-970 - Brasília – DF, Tel: (61) 3107-7453

### **RESUMO**

Cada vez mais edifícios construídos em *campi* universitários procuram alcançar níveis adequados de sustentabilidade e eficiência energética. Torna-se importante o estudo e divulgação dos exemplos que atingem este objetivo, como forma de disseminar os conceitos dentro do *campus* e para a sociedade. Sendo assim, este artigo visa identificar elementos projetuais determinantes para a qualidade da iluminação natural e eficiência energética da envoltória do edifício sede da ADUnB – Casa do Professor, da Universidade de Brasília. A metodologia utilizada compreendeu a aplicação do Diagrama Morfológico, medições *in loco*; aplicação da Etiquetagem do Nível de Eficiência Energética da envoltória; e simulações com o programa Daysim/Radiance. Os resultados identificaram quatro elementos projetuais determinantes para os níveis adequados de iluminância nos ambientes estudados e o nível mais alto de eficiência energética da envoltória do edifício. A área, o posicionamento e proteção das superfícies envidraçadas, e a profundidade dos ambientes, foram fundamentais para a obtenção de valores adequados de *Daylight Autonomy*, *Continuous Daylight Autonomy* e *Useful Daylight Autonomy*. Com relação à eficiência energética, tais elementos influenciaram diretamente o Percentual de Abertura da Fachada Total (PAFt), Ângulos de Sombreamento Vertical e Horizontal (AVS – AHS), entre outros.

Palavras-chave: iluminação natural, iluminância, eficiência energética.

### **ABSTRACT**

*This article aims to identify key design elements for the quality of daylight and energy efficiency in ADUnB Building – Teacher's Home at the University of Brasilia. Through the application of the Morphology Diagram, site measurements, method of Labeling the Energy Efficiency Level and simulations with the software Daysim/Radiance, four factors were identified as influencing the illuminance and energy efficiency levels in the studied building. The area, placement and protection of the glass surfaces and the depth of the indoor places were essential to obtain the values of Daylight Autonomy, Continuous Daylight Autonomy and Useful Daylight Autonomy. In the same time these values contribute significantly to the efficiency level of the skin of the building. The results can be used as references for new projects focused on energy efficiency and daylight.*

*Keywords: daylight, illuminance, energy efficiency.*

## 1. INTRODUÇÃO

Dentro do cenário de busca da qualidade do ambiente construído e alternativas para redução dos impactos gerados pelas edificações, os *campi* Universitários e as Instituições de Ensino Superior possuem importância histórica na geração, desenvolvimento e demonstração de iniciativas mais sustentáveis (TAUCHEN e BRANDLI, 2006). Além disso, a importância das IES também se estende à coordenação e divulgação destes novos paradigmas para a sociedade; tornando-se ponte de ligação entre a teoria e a prática (AMORIM, 2011).

Relacionando à sustentabilidade em edifícios, o aproveitamento da iluminação natural é um fator chave para proporcionar condições ótimas de conforto aos usuários e ocupantes. Possibilita reduções no consumo de energia elétrica diretamente sob o sistema de iluminação artificial (com a diminuição do período de utilização e/ou intensidade energética) e indiretamente sob o sistema de ar condicionado (com a redução de carga térmica provinda das lâmpadas). Por outro lado sabe-se que a luz do dia possui considerável influência sobre o desenvolvimento de tarefas e a eficiência do trabalho, considerando que estimula o organismo humano e controla as variações de diversas funções do corpo (HEGEER et al., 2008).

A luz natural se torna uma estratégia benéfica, dentro do processo de projeção, quando se observa que espaços naturalmente iluminados apresentam maior satisfação por parte dos usuários; são financeiramente mais valorizados; apresentam menores índices de ociosidade; possibilitam reduzir consideravelmente o consumo energético ao longo da vida útil do edifício, entre outros (O'CONNOR et al., 1998). Existe, por tanto, uma relação direta entre os benefícios providos pela utilização da luz natural, em termos de qualidade de iluminação e desempenho de tarefas, e a eficiência energética em edifícios públicos. Tal relação é apontada por Fontoynt (1999), que demonstra o “extraordinário” potencial das técnicas de iluminação natural para aumentar o conforto e o desempenho energético nos edifícios.

A definição da qualidade da iluminação em um ambiente envolve diversas variáveis físicas, ambientais, visuais e psicológicas; tornando árdua a tarefa de escolher um parâmetro e/ou “fórmula mágica” para determinar tal qualidade (BOYCE, 1996). No entanto, para o foco da análise entre eficiência energética e iluminação, em geral, considera-se como “qualidade” a adequação dos níveis de iluminância do ambiente à atividade desenvolvida. Estudos recentes apontam que a análise de performance dinâmica dos ambientes (tendo como parâmetro a iluminância) é uma alternativa viável para demonstrar tal qualidade da iluminação natural (REINHART *et al.*, 2006). Os indicadores principais desta análise são: *Daylight Autonomy* (autonomia da luz do dia), *Continuous Daylight Autonomy* (autonomia contínua da luz do dia) e *Useful Daylight Autonomy* (autonomia aproveitável da luz do dia).

Em termos de eficiência energética, no cenário mundial, é notória a crescente importância dos conceitos de redução do consumo nas edificações, visando romper a crônica dependência da arquitetura em utilizar mecanismos artificiais para a obtenção de condições de conforto. No Brasil, a recente criação do Plano Nacional de Eficiência Energética – PNEf 2030, e de Regulamentos Técnicos da Qualidade do Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, Públicos e Residenciais; demonstram a ascensão de novos paradigmas para o setor. Tais regulamentos foram desenvolvidos pela parceria entre o Ministério de Minas e Energia, Eletrobrás/PROCEL EDIFICA e o Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE/UFSC; e tornaram-se importantes ferramentas no processo de efficientização do setor edificado nacional. O Regulamento Técnico da Qualidade para a Eficiência Energética de Edifícios já possui duas versões; a primeira voltada para edificações comerciais, de serviços e públicas; e a segunda para o setor residencial. Para edificações públicas, é possível determinar o nível de eficiência energética avaliando os sistemas de iluminação, condicionamento de ar e envoltória (CARLO e LAMBERTES, 2010). Por tanto, é possível identificar, também, quais elementos utilizados no projeto possuem maior influência sob os padrões de consumo energético ditados nestes regulamentos.

Torna-se importante analisar os aspectos que influenciam a relação entre a qualidade da iluminação natural e o baixo consumo energético, visando a valorização dos projetos de arquitetura que conseguem otimizar suas funções por meio de elementos que possibilitam a eficiência energética e qualidade da iluminação natural dos ambientes. Neste artigo apresenta-se um estudo tendo como foco o edifício sede da ADUnB - Casa do Professor, localizado no Campus da Universidade de Brasília (Figuras 1).



Figura 1 – Edifício da Casa do Professor na Universidade de Brasília. No sentido horário, começando da esquerda superior: fachada Oeste, fachada Leste, Restaurante e Sala de Reuniões.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é analisar as relações entre a iluminação natural e a eficiência energética da envoltória no edifício sede da ADUnB - Casa do Professor, identificando os elementos projetuais que determinam a qualidade da iluminação natural dos ambientes e o desempenho energético da envoltória.

## 3. MÉTODO

Foram utilizados três métodos combinados para esta pesquisa, desenvolvida no âmbito da disciplina Iluminação Natural e Qualidade Ambiental no Espaço Construído, do PPG-FAU. Cada método fornece com resultado dados que, quando combinados, podem demonstrar a relação entre a qualidade do espaço construído em termos de iluminação natural e os potenciais de aproveitamento desta iluminação e eficiência energética. O primeiro método utilizado foi a análise do projeto arquitetônico através do Diagrama Morfológico (AMORIM, 2007), complementado por medições de iluminâncias *in loco* em três ambientes representativos das condições gerais de iluminação natural no edifício. O segundo método foi a avaliação do nível de eficiência energética da envoltória, tendo como base o RTQ-C (2009). Por fim, foram realizadas simulações dos 3 ambientes representativos com o programa Daysim/Radiance para a determinação das condições de iluminação natural através dos parâmetros de *Daylight Autonomy*; *Continuous Daylight Autonomy* e *Useful Daylight Autonomy* (REINHART, 2010). Em suma, os três métodos se relacionam e se complementam no sentido de gerar um diagnóstico mais completo, abrangendo os pontos principais da análise que é objeto deste trabalho.

### 3.1. Avaliação do edifício no âmbito do Diagrama Morfológico e medição de iluminâncias *in loco*

Os aspectos relativos ao uso da iluminação natural no projeto foram avaliados segundo o Diagrama Morfológico. Este método, adaptado de Baker *et al.* (1993), “segue o sistema construcional cognitivo apresentando-se como instrumento que sintetiza parâmetros essenciais para a qualidade projetual” (AMORIM, 2007). A aplicação deste instrumento permitiu a identificação de especificidades do objeto em estudo nos três níveis abordados pelo diagrama: Espaço Urbano, Edifício e Ambiente. Nestes três níveis são abordadas características importantes para o bom aproveitamento da iluminação natural, além de parâmetros intimamente relacionados com o nível de eficiência energética da envoltória, como o percentual de superfícies envidraçadas, por exemplo. Desta forma, a conjugação dos três níveis demonstra tanto a relação entre o contexto climático, aproveitamento da luz natural, interação com a luz artificial e controles, ventilação natural, entre outros; como pode contribuir para uma análise relacionada com quesitos presentes no RTQ-C e fundamentais para o nível da etiqueta final do edifício. Um resumo dos níveis, parâmetros e variáveis que compõe o diagrama morfológico é apresentado na Tabela 1.

Os ambientes internos analisados foram escolhidos com base na importância das atividades realizadas, frequência de ocupação, e a orientação solar, representando as condições típicas de uso do edifício (Figura 2). As análises obtidas por meio do Diagrama Morfológico foram averiguadas *in loco*, sendo cada parâmetro discutido quanto sua relevância para a qualidade da iluminação natural e integração com o sistema artificial.

Além disso, foram consideradas as especificidades locais do clima de Brasília e as limitações de implantação da edificação no campus da UnB.

Tabela 1 – Níveis, parâmetros e variáveis do Diagrama Morfológico (AMORIM, 2007).

NÍVEL	PARÂMETROS	VARIÁVEIS
<b>I Espaço urbano</b>	A Desenho Urbano B Refletância fachadas C Especularidade fachadas D Ângulo máximo do sol na base do edifício	A1, A2, A3, A4, A5, A6, A7, A8, A9 B1, B2, B3, B4 C1, C2, C3, C4 D1, D2, D3, D4
<b>II Edifício</b>	E Forma e Planta Baixa F Taxa de aberturas G Distribuição de aberturas H Proteções solares nas fachadas I Aberturas Zenitais J Mecanismos de ventilação natural	E1, E2, E3, E4, E5, E6 F1, F2, F3, F4 G1, G2, G3, G4 H1, H2, H3, H4, H5, H6 I1, I2, I3, I4, I5, I6 J1, J2, J3, J4
<b>III Ambiente</b>	K Planta Baixa L Posição do coletor de luz M Área do coletor de luz N Forma do coletor de luz O Controle da entrada de luz P Controle da ventilação natural Q Controle e integração da iluminação artificial	K1, K2, K3, K4 L1, L2, L3, L4, L5, L6 M1, M2, M3, M4, M5, M6 N1, N2, N3, N4, N5, N6 O1, O2, O3, O4, O5, O6 P1, P2, P3, P4, P5, P6 Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6

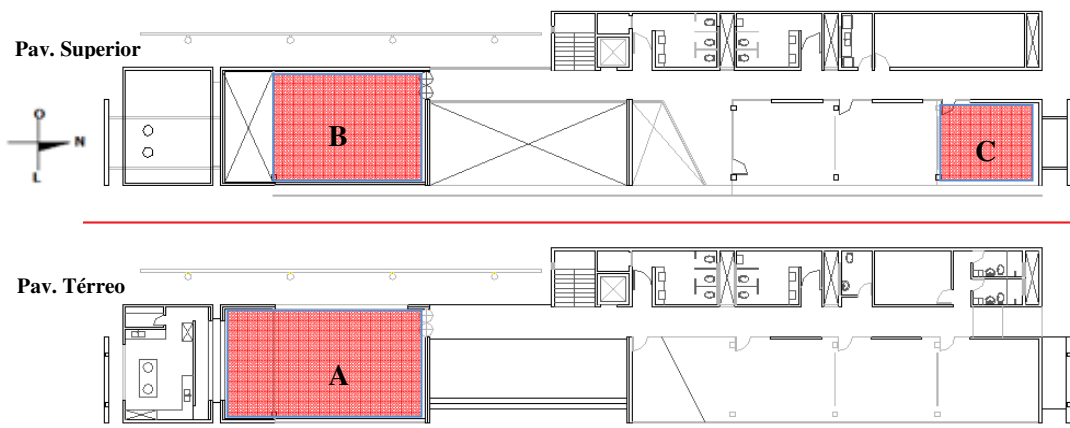


Figura 2 – Plantas baixas do Edifício da Casa do Professor. Destacadas em vermelho os ambientes estudados por meio dos modelos tridimensionais: A – Restaurante; B – Sala de Reunião; C - Diretoria.

Para as medições de iluminação natural, em cada ambiente foi estabelecido um número mínimo de pontos, para a verificação do nível de iluminação natural, determinados pelo Índice do Local (K) expresso pela Equação 1 e comparado com a Tabela 2, conforme a NBR 15215-2. As iluminâncias foram medidas nos ambientes escolhidos, na malha de pontos determinada, com luxímetro modelo T-10 *Receptor Head* da KONICA MINOLTA, devidamente calibrado. As medições foram realizadas nos dias 09 e 16 de novembro de 2010, horários de 09:00h - 12:00h - 15:00h, sob duas condições de céu típicas de Brasília, ou seja, céu claro sem nuvens e céu encoberto. Ressalta-se que tais medições não visavam uma avaliação representativa dos valores de iluminâncias nos ambientes ao longo certo período, valores obtidos por meio das simulações, mas sim, a avaliação quantitativa instantânea da iluminação natural dos ambientes, observando e anotando as sensações percebidas de satisfação ou insatisfação dos usuários. Isso porque, como afirma Fontoynt (1999), alguns aspectos da iluminação natural podem ser melhor percebidos *in loco*, por meio de medições. A análise com o Diagrama Morfológico foi comparada com as medições realizadas e subdividida em três pontos básicos de discussão: o entorno, o edifício e os ambientes; correspondendo aos três níveis de abordagem do próprio diagrama. Com base na comparação dos resultados com as características locais e os conceitos de qualidade de iluminação, foram identificados elementos positivos e negativos para o projeto da Casa do Professor.

$$K = \frac{C.L}{H_m.(C+L)}$$

Equação 1

Onde:

C é o comprimento do ambiente, em metros [m];

L é a largura do ambiente, em metros [m];

H<sub>m</sub> é a distância vertical entre a superfície de trabalho e o topo da janela, em metros [m].

Tabela 2 – Quantidade mínima de pontos a serem medidos (NBR 15.215-2, 2005)

K	Nº de Pontos
K < 1	9
1 ≤ K < 2	16
2 ≤ K < 3	25
K ≥ 3	36

### 3.2. Avaliação do nível de eficiência energética da envoltória

Para conhecer o nível de eficiência energética da envoltória do edifício foi utilizado o método prescritivo do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Comerciais, de Serviços e Públicos – RTQ-C, do PROCEL/INMETRO. Tal método consiste em uma série de parâmetros pré-definidos, ou a serem calculados, com a finalidade de indicar a eficiência do sistema (CARLO e LAMBERTS, 2010). As características dos materiais, percentual de áreas de aberturas (envidraçadas), fatores de forma e altura, proteções solares verticais e horizontais são algumas das variáveis para o enquadramento do sistema de envoltória entre os níveis A, B, C, D e E; ou seja, do nível mais elevado ao menor nível de eficiência. Para a Zona Bioclimática 4 da cidade de Brasília e edificações com área superior a 500 m<sup>2</sup>, o RTQ-C estipula a Equação 2 para o cálculo do indicador de consumo da envoltória (IC<sub>env</sub>), possibilitando a determinação dos Indicadores de Consumo Mínimo e Máximo (IC<sub>min</sub> – IC<sub>max</sub>).

$$IC_{env} = 511,12.FA + 0,92.FF - 99,79.FS - 0,52.AVS - 0,29.AHS - 380,83FA.FF + \frac{4,27}{FF} + 729,20.PAF_T.FS + 77,15$$

Equação 2

Onde:

IC<sub>env</sub> é o indicador de consumo da envoltória (adimensional);

AVS é o ângulo vertical de sobreamento;

AHS é o ângulo horizontal de sombreamento;

FF é o fator de forma;

FA é o fator de altura;

FS é o fator solar;

PAF<sub>T</sub> é o percentual de abertura na fachada total (adimensional, para uso na equação);

Após a extração dos dados referentes ao procedimento da etiquetagem, e conhecendo a equação acima mencionada e suas variáveis, foi utilizado a ferramenta de avaliação de eficiência energética *WebPrescritivo*, desenvolvida pelo Laboratório de Eficiência Energética em Edificações – LabEEE/UFSC. Tal ferramenta utiliza como base para o cálculo do nível de eficiência da envoltória a equação para o cálculo do IC<sub>env</sub>. No entanto, por utilizar recursos computacionais, torna-se mais ágil e eficiente para a análise dos resultados, o que justificou sua utilização neste trabalho. Desta forma, os dados foram inseridos nesta plataforma obtendo-se a etiqueta final do nível de eficiência da envoltória da edificação. Por fim, ressalta-se que apesar do RTQ-C apresentar um método de etiquetagem específico para o sistema de iluminação, este aborda principalmente os sistemas artificiais. O presente artigo avalia os aspectos do projeto arquitetônico, referentes à envoltória, que determinam a qualidade da iluminação natural e sua influência no nível de eficiência. Por tanto, foi utilizada a etiqueta da envoltória ao invés da etiqueta referente ao sistema de iluminação.



### 3.3. Avaliação da qualidade da iluminação natural através da simulação computacional

Para a avaliação da iluminação natural com simulações computacionais, primeiramente foram estabelecidos os níveis de iluminâncias mínimos, médios e máximos para cada tarefa desenvolvida nos ambientes estudados, segundo a norma NBR 5413. Com base nestas iluminâncias foi utilizado o programa Daysim/Radiance (REINHART, 2010) para a determinação dos valores de:

- *Daylight Autonomy* – DA, que representa a porcentagem de horas no ano em que um ponto determinado consegue manter os níveis aceitáveis de iluminância somente com iluminação natural;
- *Continuous Daylight Autonomy* – DA<sub>con</sub>, onde um “crédito” parcial é atribuído aos valores abaixo do nível de iluminância determinado. Por exemplo, quando é estipulado 500 lux para dado ponto de análise no ambiente e, em certa hora do dia, é atingido 400 lux naquele ponto é atribuído um valor ao DA<sub>con</sub>. Tal consideração de valor é justificada por Reinhart (2010) por meio de estudos que apontam a variação de preferência nos níveis de iluminação dos usuários.
- *Usefull Daylight Autonomy* – UDI, que identifica na malha de pontos do ambiente onde os níveis de iluminância são muito escuros (<100 lux); utilizáveis (100-2000 lux) e muito claros (>2000 lux).

Como no presente caso as atividades que se desenvolvem nos ambientes estudados são as de restaurante, sala de reunião e sala da diretoria, foi estabelecido o valor de 500 lux como nível satisfatório de iluminâncias nestes ambientes. Tal valor atende a NBR 5413 para o desenvolvimento destas atividades e como referência para a obtenção dos valores de DA, DA<sub>con</sub> e UDI.

Foram gerados três modelos tendo como base as características de volumetria, superfícies envidraçadas, propriedades dos materiais e dispositivos de proteção solar dos três ambientes escolhidos. A malha de pontos, a mesma utilizada nas medições *in loco*, foi posicionada a uma distância de 0,75 m de altura do piso, com afastamento de 0,50 m das superfícies verticais. Em complementação ao programa Daysim/Radiance foram utilizados os programas Sketchup 8 pro para a modelagem dos ambientes; TextPad para a inserção de alguns dados de entrada; e WinSurf para a geração dos gráficos com as curvas de isolux. Nas simulações com o Daysim/Radiance utilizou-se o arquivo climático TRY da cidade de Brasília.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Análise da iluminação natural no âmbito do Diagrama Morfológico e medições *in loco*

Com relação ao Entorno, foi identificado no parâmetro “Desenho Urbano” um elemento negativo, já que as fachadas principais da edificação estão orientadas no sentido Leste-Oeste. Tal implantação, caso não seja bem resolvida no projeto, pode ser desfavorável tanto para o aproveitamento da iluminação natural quanto para o consumo energético da edificação. Os demais elementos deste nível de análise foram considerados positivos para a qualidade da iluminação natural, principalmente a “Refletância das Fachadas”, assim como, para o nível de eficiência da envoltória (Figura 3).

NÍVEL	PARAMETROS	VARIÁVEIS
I Espaço Urbano	A desenho urbano	A5_ Fachadas principais orientadas para Leste/Oeste
	B refletância das fachadas	B2_ Média
	C especularidade das fachadas	C3_ Baixa
	D ângulo máximo de incidência do sol na base do edifício	D4_ Ângulo de 90°

Figura 3 – Aplicação do Diagrama Morfológico para o nível do Espaço Urbano

No nível relativo ao Edifício, quatro elementos foram identificados como positivos possuindo grande influência para a qualidade da iluminação natural e eficiência energética. O primeiro deles é a taxa de abertura para o exterior, que corresponde ao Percentual de Abertura da Fachada – PAFT do RTQ-C, que fica em torno de 25% a 50%. Tais valores se traduzem em uma permeabilidade média para a entrada de luz natural concentrada nas áreas com maior fluxo de pessoas. Outros dois elementos com grande influência na

análise da edificação foram a distribuição das aberturas e as proteções solares das fachadas. Foi identificado o tratamento não uniforme das fachadas que, devido a orientação desfavorável, receberam proteções e materiais construtivos distintos. Também foi identificada a utilização de elementos de proteção arquitetônicos (*brise-soleil*) e paisagísticos (vegetação de médio porte). Por fim, a forma linear da planta baixa com ambientes pouco profundos, com relação a penetração da iluminação natural através das superfícies envidraçadas, também foi considerado como um fator de grande importância. Com isso, observou-se que a atuação em conjunto destes parâmetros contribui positivamente para o aproveitamento da luz natural nos ambientes (Figura 4).

Em relação ao nível do Ambiente, a princípio, foram considerados três elementos significativos tanto para a qualidade da iluminação natural quanto para a determinação do nível de eficiência da envoltória: a posição, a área e a forma do coletor de luz. Para o cálculo da Etiqueta de Eficiência Energética estes parâmetros estão diretamente relacionados com o Percentual de Abertura na Fachada Total – PAF<sub>T</sub>, Percentual de Abertura na Fachada Oeste - PAF<sub>O</sub>, Ângulo Vertical de Sombreamento – AVS, Ângulo Horizontal de Sombreamento – AHS e o Percentual de Abertura Zenital – PAZ. A qualidade da iluminação natural e a integração com o sistema de iluminação artificial também estão diretamente relacionadas com a posição, tamanho e forma das áreas envidraçadas, chamados de coletores de luz no Diagrama Morfológico. Foi identificado que estes três parâmetros ocorrem positivamente tanto para a eficiência da envoltória quanto para a qualidade da iluminação natural dos ambientes. Especificamente para a qualidade de iluminação natural nos ambientes, as variáveis da planta baixa “unilateral” e “bilateral”, também possuem significativa importância. Esta variável está ligada com a profundidade dos ambientes, como mencionado no nível do edifício, já que determina a distribuição das aberturas. No caso do ambiente A – restaurante, as aberturas estão distribuídas bilateralmente; e unilateralmente nos demais ambientes analisados. Esta variável foi considerada positiva para a análise, já que no ambiente mais profundo as aberturas são bilaterais; e nos ambientes menos profundos as aberturas são unilaterais e atendem as necessidades dos usuários (Figura 4).

II Edifício			III Ambiente	
			PARAMETROS	VARIÁVEIS
E planta baixa		E7_ Outros Edifício linear, fachadas principais orientadas para Leste/Oeste	L planta Baixa	L1_Unilateral/ Bilateral
F taxa de aberturas para o exterior		F2_ Entre 25% e 50% de aberturas	M posição do coletor de luz	M5_ Parede Aberta
G distribuição das aberturas		G2_ Fachadas não uniformes com relação à orientação solar	N área do coletor e difusor de luz	N3_ Abertura lateral de acima de 30%
H proteções solares nas fachadas		H2_ Brise-soleil H6_ Vegetação	O forma do coletor de luz	O4_ Cortina de vidro
I aberturas zenitais		I6_ Não há	P controladores de entrada de luz	P4_ Brises
J mecanismos de ventilação		J1_ Cruzada J2_ Cruzada adjacente	Q controle da ventilação natural	Q2_ Janela máximo ar ou basculante
			R controle e integração da iluminação artificial	R1_ On/off manual

Figura 4 – Aplicação do Diagrama Morfológico para os níveis do Edifício e do Ambiente.

Como destacado anteriormente, o controle da entrada de luz proporcionado pelos *brises* atuam de forma decisiva para o bom desempenho de tarefas nos ambientes analisados. Ressalta-se, no entanto, que o controle da iluminação artificial, elencado na variável do Diagrama Morfológico “Controle e Integração da Iluminação Artificial”, ocorre manualmente. Ou seja, em comparação com os sistemas de integração e controle mais desenvolvidos, disponíveis no mercado, o acionamento manual do sistema é considerado um ponto negativo em termos de consumo de energia.

#### 4.2. Análise do nível de Eficiência Energética da envoltória (RTQ-C)

Para a zona bioclimática 4, onde a edificação está situada, os limites de Transmitância Térmica da Cobertura -  $U_{cob}$ , e Transmitância Térmica das Paredes Externas  $U_{par}$ , ficam dentro do aceitável para o nível de etiqueta “A”. Também foram atendidos para o nível “A” os itens relativos à utilização de materiais de revestimento externo de paredes com absorvância solar baixa ( $\alpha < 0,50$  do espectro solar), e utilização de cor com absorvância baixa na cobertura ( $\alpha < 0,50$  do espectro solar). Como não existem ambientes com iluminação zenital foi desconsiderada a avaliação deste pré-requisito.

Destaca-se que o PAF<sub>O</sub> é consideravelmente menor que o PAF<sub>T</sub>. Demonstrando a preocupação por parte do projetista em reduzir os ganhos de carga térmica nesta fachada. Apesar dos vidros apresentarem um

fator solar relativamente alto, de 0.77, os ângulos verticais de sombreamento contribuem na atenuação da carga térmica. Desta forma, após a extração dos dados, foi utilizada a plataforma *Web Prescritivo* (LabEEE, 2011) para a determinação da etiqueta final; correspondendo ao nível “A” de eficiência energética, como mostra a Figura 5.

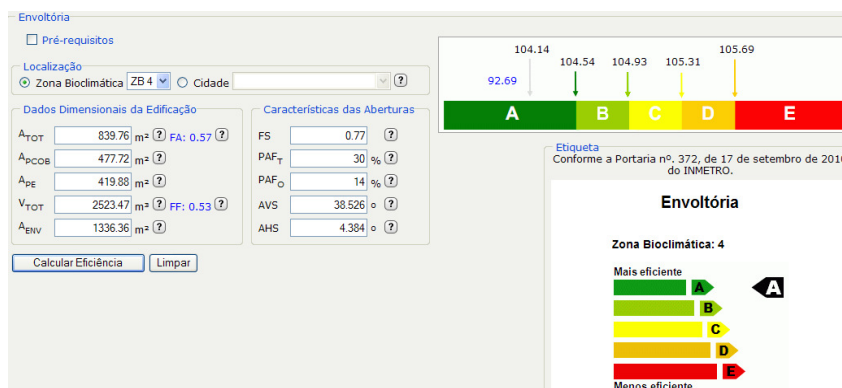


Figura 5 – Etiqueta do nível de Eficiência Energética da envoltória obtida na plataforma *Web Prescritivo*

### 4.3. Análise da iluminação natural com simulação computacional

Os resultados das simulações realizadas no programa Daysim/Radiance foram analisadas separadamente por ambiente. Começando pelo ambiente A – Restaurante, o valores mínimos de *Daylight Autonomy* - DA, foram encontrados nos pontos mais afastados das superfícies envidraçadas, ficando de 4% a 12% das horas do ano com o nível de 500 lux. Considerando o *Continuous Daylight Autonomy* - DA<sub>con</sub>, para estes pontos, o percentual chegou a 53% das horas do ano em que tal área possui níveis próximos de 500 lux fornecidos pela iluminação natural. Para os pontos mais próximos das superfícies envidraçadas, o valor máximo de DA foi 90% e do DA<sub>con</sub> de 96%. De forma geral, em 47,6% dos pontos determinados para o ambiente o nível de iluminância de 500 lux ocorre durante mais de 80% das horas do ano. Além disso, em todos os pontos analisados o DA<sub>con</sub> foi superior a 50% das horas do ano com autonomia de luz natural (Figura 6).

Analisando os valores do *Useful Daylight Autonomy/Illuminances* – UDI, observa-se que todos os pontos da malha ficaram acima de 92% das horas do com níveis maiores que 100 lux e menores que 2000 lux. A Figura 7 apresenta os resultados obtidos pelo Daysim/Radiance e apresenta um modelo gerado no programa WinSurf, representando a distribuição das iluminâncias no ambiente. Foi identificado que os maiores níveis de DA; DA<sub>con</sub> e UDI<sub>100-2000</sub>, encontram-se na área onde ficam as mesas, e onde se requer as maiores iluminâncias.

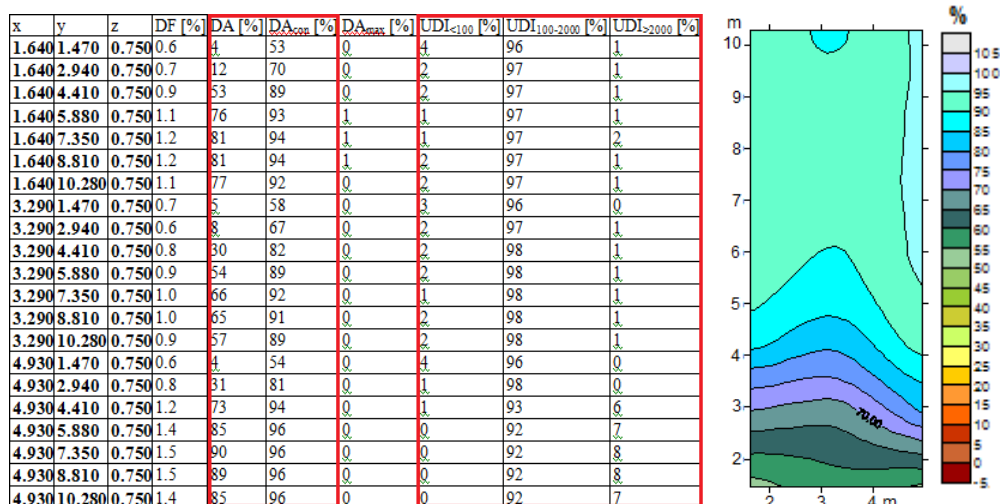


Figura 6 – Valores de DA<sub>con</sub> e UDI<sub>100-2000</sub> e modelo com as curvas de iluminâncias no ambiente A

O mesmo procedimento foi realizado para os demais ambientes, como mostram as Figuras 7 e 8. No ambiente B – Reunião, observando o DA<sub>con</sub>, em 67% dos pontos determinados o nível de iluminância de 500 lux ocorre em mais de 60% das horas do ano; além disso, em todos os pontos da malha o UDI<sub>100-2000</sub> se



mantém acima de 90% das horas do ano. No entanto, neste ambiente, os níveis de DA para 500 lux são muito baixos nas áreas mais afastadas da janela (Figura 7).

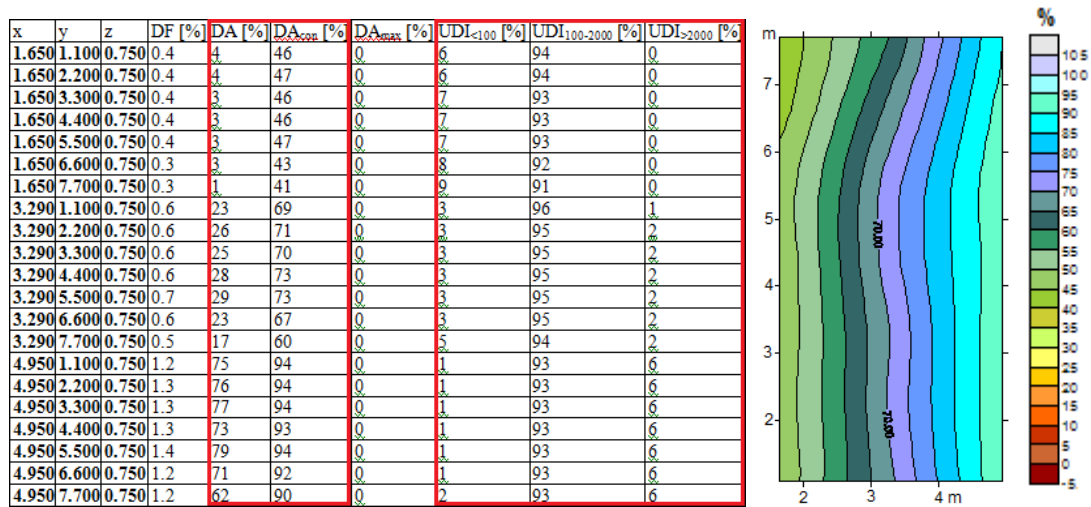


Figura 7 – Valores de DA<sub>con</sub> e UDI<sub>100-2000</sub> e modelo com as curvas de iluminâncias no ambiente B

Para o ambiente C – Diretoria, em 100% dos pontos determinados o nível de iluminância de 500 lux ocorre em mais de 50% das horas do ano e o UDI<sub>100-2000</sub> se mantém acima de 89% nesse período (Figura 8).

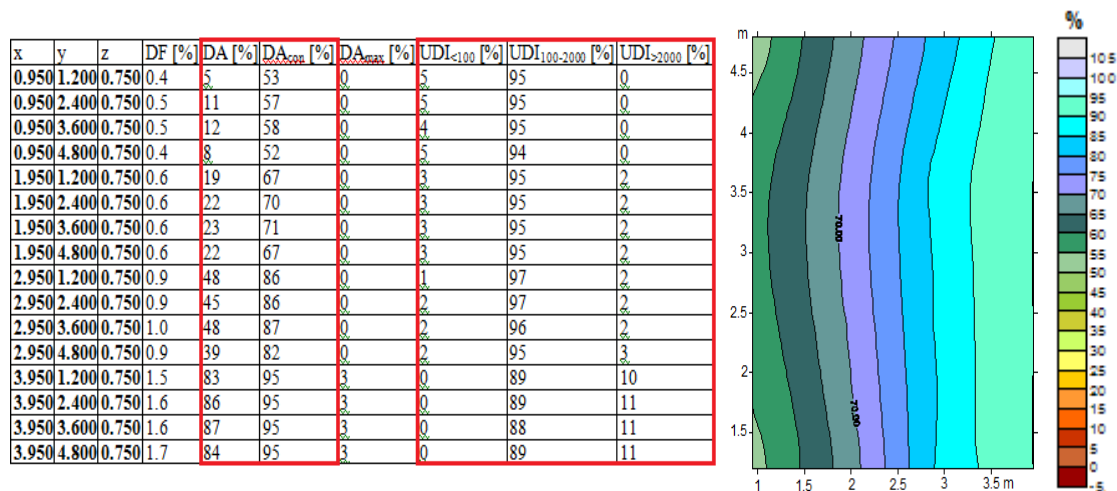


Figura 8 – Valores de DA<sub>con</sub> e UDI<sub>100-2000</sub> e modelo com as curvas de iluminâncias no ambiente C

Desta forma o ambiente “A” apresenta seus maiores níveis de DA, DA<sub>con</sub> e UDI<sub>100-2000</sub> próximo as superfícies envidraçadas e na área onde estão localizadas as mesas do restaurante, demonstrando grande potencial de aproveitamento da iluminação natural para o desempenho da principal tarefa do ambiente, sem a necessidade de complementação de outros sistemas de iluminação artificial durante o dia. Os ambientes B e C também apresentaram excelentes níveis de iluminação natural próximos as superfícies envidraçadas, e que alcançam até a metade dos recintos. Nestas zonas o DA<sub>con</sub> se matem acima dos 70%, sendo necessário a complementação dos níveis de iluminância somente nas áreas mais afastadas da janela. Mesmo assim, uma separação no sistema de acionamento das fileiras de luminárias seria suficiente para o desempenho das tarefas nestes pontos; nos demais a iluminação natural atenderia as necessidades dos usuários.

Outro dado importante observado por meio dos resultados é o desempenho do sistema de proteção solar projetado para o edifício. Mesmo com a orientação das fachadas principais no sentido Leste-Oeste, o controle do excesso de iluminação nos ambientes estudados é satisfatório. Foi observado os valores de UDI<sub>>2000</sub>, os quais não ultrapassaram 11% das horas do ano no pior caso; ficando sempre abaixo deste valor

na média dos ambientes. Desta forma, problemas de ofuscamento, comuns em ambientes naturalmente iluminados, são reduzidos significativamente.

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pelos métodos aplicados no edifício da Casa do Professor apontam que, na relação entre os parâmetros estudados, os principais elementos projetuais são: área de superfície envidraçada; posicionamento das superfícies envidraçadas; proteção das superfícies envidraçadas; e profundidade dos ambientes.

Tanto a área e o posicionamento das superfícies envidraçadas quanto a profundidade dos ambientes foram determinantes para o aproveitamento da iluminação natural; como foi comprovado pelos níveis de *Daylight Autonomy* (DA) e da *Continuous Daylight Autonomy* (DA<sub>con</sub>), além dos níveis de *Useful Daylight Autonomy* (UDI<sub>100-2000</sub>) que mantiveram-se acima de 88%. Os dois primeiros elementos também possuem grande influência no nível da etiqueta de eficiência energética, já que representam os valores de PAF<sub>T</sub>. Com relação às proteções da área de superfície envidraçada, elas são um importante mecanismo de controle da entrada excessiva de luz do dia, como foi comprovado pelos níveis de UDI<sub>>2000</sub> dos ambientes; que em nenhum momento ficaram acima de 11%. Da mesma forma, quando ao nível de eficiência da envoltória, estas proteções representaram ângulos de proteção horizontal (AHS) de 4° e ângulos de proteção vertical (AVS) de 38°.

Desta forma, os quatro elementos acima citados são fundamentais para proporcionar a qualidade da iluminação natural e o nível “A” de eficiência energética da envoltória do edifício estudado. Como comprovando ao longo das análises realizadas, tais elementos proporcionam excelentes condições para a otimização do edifício em termos de desempenho das atividades de usuários e funcionários; além de possibilitarem a redução do consumo energético no sistema de iluminação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **NBR 15215-2**: Iluminação Natural – Parte 1. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, Rio de Janeiro. **NBR 5413**: Iluminação de Interiores. Rio de Janeiro, 1992.
- AMORIM, Cláudia N. D.. **Eficiência Energética em Edificações: ações e perspectivas para a Universidade de Brasília**. Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, versão preliminar do texto cedido pela autora, 2011.
- AMORIM, Cláudia N. D.. **Diagrama Morfológico parte 1: instrumento de análise e projeto ambiental com uso da luz natural**. PARANOÁ – Cadernos em Arquitetura e Urbanismo, PPG/FAU, Universidade de Brasília, 2007.
- BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K.. **Daylight in Architecture**. A European Reference Book. Londres: James and James Editors, 1993.
- BOYCE, P. R.. **Illuminance selection based on visual performance - and other fairy stories**. Journal of the Illuminating Engineering Society, 25(2), 41-49, 1996.
- CARLO, Joyce; LAMBERTS, Roberto. **Parâmetros e métodos adotados no regulamento da etiquetagem de eficiência energética de edifício – parte 1: método prescritivo**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 10, n. 2, p. 7-26, abr./jun. 2010
- FONTOYNONT, Marc. **Daylight Performance in Buildings**. London: James and James, 1999.
- HEGEER, Manfred; FUCHS, Matthias; STRAK, Thomas; ZEUMER, Martin. **Energy Manual: Sustainable Architecture**. Ed. Birkhäuser Architecture, 2008.
- O’CONNOR, Jennifer; LEE, Eleanor; RUBINSTEIN, Francis; SELKOWITZ, Stephen. **Tips of Daylight – the integrated approach**. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, 1998. Disponível em: <<http://windows.lbl.gov/daylighting/designguide/dlg.pdf>>. Acesso em: dez. 2010.
- REINHART, Christoph F.. **Tutorial on the use of Daysim Simulations for Sustainable Design**. Harvard University Graduate School of Design, 2010
- REINHART, Christoph F.; MARDALJEVIC, Jonh; ROGERS, Zack. **Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design**. National Research Council Canada, 2006.
- TAUCHEN, Joel; BRANDLI, Luciana L.. **A Gestão Ambiental em Instituições de Ensino Superior: modelo para implantação em campus universitário**. Gestão&Produção, v.13, n.3, p.503-515, set.-dez, 2006.