



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

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

Búzios - RJ - 2011

## **ENSAIO DO MÉTODO PARA ANÁLISE INTEGRADA DA CONVENIÊNCIA SOLAR E DA ILUMINAÇÃO NATURAL NO INÍCIO DE PROJETOS**

**Lucas Arango Díaz (1); Anderson Claro (2)**

(1) Arquiteto, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, lucas.arango.diaz@hotmail.com

(2) Dr, Professor do Departamento de Arquitetura, ander@arq.ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Laboratório de Conforto Ambiental, Caixa Postal 470, Florianópolis - SC, 88040-970, Tel.: (48) 3721-9550

### **RESUMO**

Em arquitetura, no desenho de aberturas deve ser considerado o conflito de interesses existente entre os requerimentos térmicos e os requerimentos visuais do projeto. A fim de gerar informação útil, que ajude o projetista a tomar decisões que melhorem o desempenho ambiental, a procura do equilíbrio entre estes requerimentos deve ser realizada nas fases iniciais do processo de elaboração do projeto arquitetônico. Este trabalho tem por objetivo propor e testar um ensaio do método para a análise integrada da conveniência da incidência solar e da iluminação natural nas fases iniciais dos projetos. Para isto, foram escolhidos e complementados os métodos para a estimativa das variáveis de estudo e foi proposto um diagrama para a visualização integrada dos resultados dessas estimativas. A fim de testar o ensaio metodológico, foi avaliado o desempenho de 12 opções de fachada, para um ambiente típico de escritórios orientado para oeste, na cidade de Florianópolis-SC. A informação para a realização das avaliações correspondeu aos desenhos arquitetônicos pouco detalhados, próprios das primeiras fases do processo projetual. As análises foram realizadas, primeiro separadamente, sob o ponto de vista da iluminação natural e da conveniência da incidência solar, e depois, através de forma integrada com uso do diagrama proposto. Os resultados mostraram diferenças na valoração das fachadas segundo a variável priorizada, e evidenciaram a necessidade de métodos e de ferramentas que auxiliem ao arquiteto no desenho da fachada desde as fases iniciais do processo projetual, quando mudanças substanciais ainda podem ser realizadas.

Palavras-chave: Conveniência Solar, Desejabilidade Solar, Iluminação Natural, Integração.

### **ABSTRACT**

In architecture, the openings design should be considered an interest conflict between thermal and visual requirements. In order to generate useful information, which can be helpful for Architect to take important decisions that enhance the environmental performance of the project, the balance between these requirements must be done from the early stages of the design process. This research is about an essay method that aims to enable early evaluations of the facade performance, simultaneously in Daylighting and Solar Convenience. The methodology of this study consisted in the complementation of estimation methods about the variables mentioned. It also involved the proposition of a graphic system of variables integration that allows a clear visualization of results. In addition, in order to test the essay methodology, the impact of 12 facades options on daylighting and on the convenience of solar incidence in a standard west-oriented office room placed in Florianópolis-SC was assessed. The inputs used for these assessments correspond to undetailed planimetric information, typical from early stages of the design process. The analysis was performed, first separating daylighting and solar incidence criteria, and then, using the proposed graphic system. The results showed large differences between the appreciation of the facade options according to prioritized criterion and highlighted the need for methods and tools that certainly help the architects to improve the design of facades form the early stages of the design process, when substantial changes can still be made.

Keywords: Solar Convenience, Solar Desirability, Daylight, Integration.

## 1. INTRODUÇÃO

Em arquitetura, a responsabilidade por permitir a interação do ambiente interior com o exterior recai principalmente sobre a envoltória. Desta, destacam-se as aberturas como elementos fundamentais do projeto, através dos quais é exercido, entre outros fatores, grande parte do intercâmbio de calor, o contato visual com o exterior e o controle da admissão e da distribuição da luz natural.

Se na elaboração do projeto arquitetônico não houver controle das aberturas, existe o risco de que sejam criados ambientes com ganho excessivo de calor, proveniente da radiação solar, quando não conveniente, ou ainda, ambientes insuficientemente sombreados quando conveniente. Simultaneamente podem ser gerados ambientes excessiva ou insuficientemente iluminados de acordo com o tipo de tarefa a ser realizada no interior. Como consequência, a falta de cuidados no desenho de aberturas pode aumentar a dependência de sistemas de condicionamento de ar e de iluminação artificial.

Porém, o planejamento das aberturas deve considerar o conflito existente entre requerimentos térmicos e lumínicos: os raios de sol que penetram no ambiente podem aumentar excessivamente o nível luminoso e modificar a sensação visual. Usualmente sob esta condição, os usuários das edificações procuram bloquear esses raios de sol por meio de cortinas, persianas internas ou outros elementos, impedindo o contato visual externo e o acesso à luz natural disponível e aumentando o consumo energético em sistemas de iluminação artificial (PEREIRA, 1992).

Devido ao consumo energético, nas localidades geográficas com clima tropical, esse conflito tem sido resolvido usualmente priorizando aspectos térmicos, o que compromete os benefícios da iluminação natural: para evitar ganhos solares excessivos, além da orientação, do tipo de vidro e das características geométricas da abertura, são utilizados dispositivos de sombreamento.

Na prática projetual, a eficiência dos dispositivos de sombreamento é medida segundo a capacidade de obstruir os raios solares quando não conveniente, e permitir sua passagem quando conveniente do ponto de vista do conforto térmico e da eficiência energética. Vários métodos têm sido desenvolvidos para auxiliar ao arquiteto na escolha e no dimensionamento de dispositivos de sombreamento eficientes (ARZTEGUI, 1980; DUBOIS, 2000; KAFTAN; MARSH, 2005; PEREIRA; DE ASSIS, 2010).

Contudo, os dispositivos de sombreamento, além de reduzirem os riscos de ofuscamento no interior, modificam a quantidade admitida e a distribuição da luz em função das características geométricas e da refletância dos materiais. Vários estudos, realizados em diferentes localidades geográficas, têm verificado, em maior ou menor medida, o impacto de dispositivos de sombreamento na iluminação natural. Podem ser citados exemplos na Escandinávia (DUBOIS, 2001), na Turquia (UNVER et al., 2004), em Singapura (WONG; STIADJI, 2004) e em Taiwan (MING-CHIN et al., 2008).

O desenho ideal de dispositivos de sombreamento deve integrar controle solar efetivo e níveis luminosos adequados. No entanto, a combinação perfeita capaz de reduzir os consumos energéticos não é fácil de ser atingida (DAVID et al., 2011).

Diante deste panorama fica evidente a necessidade de procurar um equilíbrio entre os requerimentos lumínicos e térmicos visando atingir soluções de fachada ideais. No intuito de avaliar o potencial impacto de várias opções de composição da fachada de forma integrada, na iluminação natural e na conveniência da incidência solar, têm sido desenvolvidas ferramentas computacionais. Dentre estas opções, um módulo do *Ecotect* (ROBERTS; MARSH, 2001; MARSH, 2003), *Lightsolve* (ANDERSEN, et al. 2008), *Soluzna* (SALAZAR, 2009), *NewFacades* (OCHOA, CAPELUTO, 2009), bem como algumas metodologias (RUANO; ARANGO, 2007; DAVID et al., 2011). Contudo, a procura desse equilíbrio deve ser realizada desde as primeiras fases do processo projetual, quando a informação arquitetônica encontra-se incompleta e pouco detalhada, e não apenas nas fases finais, através de simulações computacionais sofisticadas que acabam por apenas validar as soluções arquitetônicas adotadas (HAGHPARAST; MARSH, 2004).

Este artigo apresenta alguns testes realizados sobre um ensaio do método de avaliação do desempenho de sistemas de fachada, na integração entre iluminação natural e conveniência da incidência solar, que visa se desenvolver nas fases iniciais do processo de elaboração do projeto arquitetônico.

## 2. OBJETIVO

Este estudo tem como objetivo propor e testar um ensaio do método para a análise integrada da conveniência da incidência solar e da luz natural nas fases iniciais do processo de elaboração do projeto arquitetônico.

### 3. MÉTODO

A fim de se conseguir aplicar um ensaio do método para a avaliação do desempenho de fachadas, simultaneamente na iluminação natural e na conveniência da incidência solar, neste trabalho foi utilizado um método experimental e comparativo. Inicialmente, foram escolhidos os métodos de estimativa das variáveis e propostas as modificações pertinentes com o intuito de complementá-los. Posteriormente, com o objetivo de realizar a busca do equilíbrio das variáveis nas fases iniciais do processo projetual foi proposto um diagrama integrador. Ao fim, cálculos com as alterações propostas sobre os métodos existentes foram realizados sobre uma sala hipotética com 12 opções de fachada. A quantidade de opções de fachada testadas corresponde à combinação de 3 tamanhos de abertura e 4 dispositivos de sombreamento. Os resultados das avaliações de luz natural e de Conveniência Solar foram analisados primeiro separadamente e, depois, utilizando o gráfico integrador proposto.

#### 3.1. Escolha do método da estimativa da Conveniência Solar

Para avaliar a conveniência/inconveniência da incidência solar, optou-se por utilizar um método com base no desenvolvido por Aroztegui (1980), o qual avalia a eficiência de para-sóis externos em espaços envolvidos em cinco faces, sendo uma a cobertura externa. Embora este método esteja associado a assuntos térmicos, ele responde ao desejo -ou não desejo- psico-fisiológico de se admitir sol no espaço, não sendo útil para determinar o comportamento térmico das aberturas. Nele, os dispositivos de sombreamento são valorados segundo sua eficácia em termos de geração de sombra ou de permissão à penetração solar quando conveniente, ao longo do ano.

No novo método, são calculados valores de Radiação Solar Direta Ponderada, hora a hora, para o dia representativo do mês, tal como indicado na Equação 1.

$$RSP = FP * RSD * (AJE/ATF) \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

RSP é o valor da Radiação Solar Direta Ponderada [adimensional];

FP é a diferença entre a Temperatura Ambiente e a Temperatura Neutra [°C];

RSD é a Radiação Solar Direta<sup>1</sup> recebida no plano da fachada [Wh/m<sup>2</sup>];

AJE é a área ensolarada da janela [m<sup>2</sup>];

ATF é a área total da fachada [m<sup>2</sup>].

Devido ao fato do cálculo consistir na multiplicação do desejo real de sol ou sombra (FP) pela disponibilidade de sol para satisfazer esse desejo (RSD) e pela porção de vidro ensolarado em relação ao total da fachada (AJE/ATF), a magnitude do resultado não indica o grau de desejabilidade de sol ou sombra, mas sim a conveniência da penetração solar quando RSP é positivo (+RSP) e conveniência de sombra, quando RSP negativo (-RSP). No final, é realizado um somatório total dos valores convenientes e inconvenientes, cujo resultado (RSP<sub>final</sub>) indica a qualidade do dispositivo em relação às radiações solares diretas.

#### 3.2. Escolha da métrica da estimativa da luz natural

A métrica escolhida para realizar a estimativa de admissão da luz natural foi UDI (Useful Daylight Illuminances), que considera três faixas de nível luminoso, muito escura (<100 lux), útil (entre 100 e 2000 lux)<sup>2</sup> e excessiva (>2000 lux), e indica a percentagem de horas-ano, na qual o nível luminoso se encontra em cada uma das faixas pré-estabelecidas (NABIL; MARDALJEVIC, 2005).

Para o cálculo da distribuição luminosa, optou-se por utilizar a média e o desvio padrão das percentagens do tempo em que o nível luminoso calculado permanece na faixa útil, visando conhecer o grau de dispersão dos dados.

<sup>1</sup> Para o cálculo da radiação solar direta, o método assume céu limpo permanente.

<sup>2</sup> Nabil e Mardaljevic (2005) indicam que a delimitação da faixa UDI-útil é baseada em estudos da preferência e do comportamento dos usuários em prédios de escritórios com dispositivos de sombreamento móveis. Portanto, na delimitação dessa faixa foram excluídos níveis luminosos considerados insuficientes como única fonte de luz ou como complemento da luz artificial. Também foram excluídos níveis luminosos que podem produzir sensação ofuscamento nos usuários. Apesar de muito ampla (o que poderia mascarar resultados), nos programas consultados, não é possível modificar esta faixa.

### 3.3. Integração das variáveis

Com intuito de integrar as variáveis para realizar uma clara visualização simultânea das análises de admissão de luz natural e conveniência da incidência solar, foi proposto um diagrama (ver Figura 1). No diagrama, o eixo “y” contém os valores médios das percentagens de tempo que o nível luminoso encontra-se na faixa útil, e o eixo “x”, contém os valores dos índices resultantes (RSPfinal) do método de Conveniência Solar proposto.

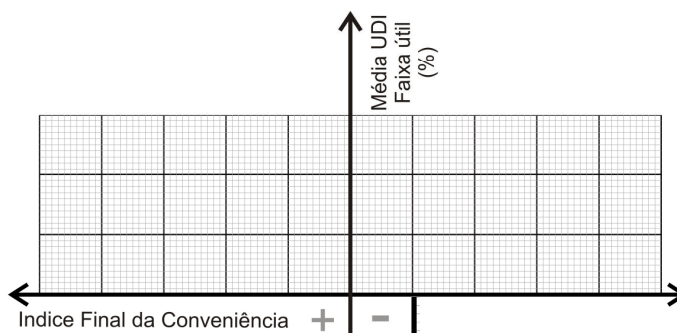


Figura 1 – Diagrama de Integração das Variáveis. Quanto mais próximo o resultado da área superior esquerda do diagrama, melhor valorado o sistema de fachada.

### 3.4. Modelo de estudo

Para a realização dos testes do ensaio metodológico proposto, foi definido, para a cidade de Florianópolis – SC, um ambiente hipotético de escritórios sem mobiliário, representado por uma sala retangular com 8m de largura, 10m de profundidade e 2,7m de pé-direito. O plano da abertura foi localizado no lado menor do retângulo hipotético (8m) e foi orientado ao Oeste. O plano de trabalho foi definido a uma altura de 0,75m do chão. A malha de cálculo do plano de trabalho consistiu na disposição ordenada de pontos em filas paralelas e colunas perpendiculares ao plano da janela. Tanto as filas quanto as colunas foram distanciadas 0,2m entre si. Além disso, o plano de trabalho inteiro foi separado 0,1m das paredes internas do ambiente. No total, foram dispostos 40 pontos no sentido transversal e 50 no longitudinal.

Quanto às características físicas dos materiais internos, teto, piso e paredes foram definidos como difusores opacos, com 70%, 20% e 50% de refletância respectivamente.

#### 3.4.1 Aberturas

Para a análise simultânea de admissão/distribuição luminosa e conveniência da incidência solar foram estabelecidos três tipos de janelas, com PAFs (Percentual de Área de Abertura na Fachada) diferenciados tal como descrito na Tabela 1. Adicionalmente, para fins de comparação, foi incluído um caso com PAF 100%. Quanto às propriedades do vidro optou-se por trabalhar com um vidro claro de 2,5mm e 87% de transmitância.

Tabela 1 - Tipos de janela

Código	J25	J50	J75
Representação			
PAF	27,7% (4,0m x 1,5m)	55,5% (8,0 m x 1,5m)	74,0% (8,0m x 2,0m)

#### 3.4.2 Dispositivos de sombreamento

Para as análises relacionadas aos dispositivos de sombreamento foram estabelecidas quatro opções: uma, diagnóstico (Sdg), sem elementos de obstrução solar, e três providas de dispositivos de sombreamento. Duas dessas três opções foram compostas por placas de 0,5m x 0,05m x dimensão da janela, intercaladas a cada 0,5m, uma delas no sentido vertical (Sv50) e outra no sentido horizontal (Sh50). A última opção consiste em uma placa de 1,0m de largura e 8,0m de comprimento, colocada na parte superior da janela. O material dos dispositivos de sombreamento foi definido como difusor opaco com 50% de refletância.

O resumo dos sistemas de controle solar usados é mostrado na Tabela 2.

Tabela 2 – Dispositivos de sombreamento. Ilustrações com a janela código J50

Código	Sdg	Sv50	Sh50	Svv
Repres.				
Sombra	-	Ângulo Horizontal de sombreamento (ângulo formado entre 2 planos verticais) = 50%	Ângulo Vertical de sombreamento (ângulo formado entre 2 planos horizontais) = 50%	Variável

### 3.5. Cálculo das variáveis.

#### 3.5.1 Conveniência da incidência solar

O valor do Fator de Ponderação foi calculado, hora a hora para cada dia representativo de mês, tal como descrito na Equação 2. O Fator de Ponderação indica a conveniência de Sol ou de sombra: no método, toda vez que a Temperatura Ambiente for maior que a Temperatura Neutra a sensação obtida será de calor, portanto a sombra será considerada conveniente. Quando a Temperatura Ambiente for menor que a Temperatura Neutra a sensação será de frio, e em consequência, a penetração solar será considerada conveniente.

$$FP = ((T_{am} - T_n)/2)^n \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

FP é o valor do Fator de Ponderação [°C];

T<sub>am</sub> é a Temperatura Ambiente [°C];

T<sub>n</sub> é a Temperatura Neutra [°C];

n = Coeficiente dependente da sensação (Calor =1,5; Frio =1,0)<sup>3</sup>.

A Temperatura Ambiente do dia representativo do mês foi calculada como descrito na Equação 3.

$$T_{am} = (T_{ar} + T_{rm})/2 \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

T<sub>am</sub> é a Temperatura Ambiente [°C];

T<sub>ar</sub> é a Temperatura do Ar Externo [°C];

T<sub>rm</sub> é a Temperatura Radiante Média do interior [°C].

Com o objetivo de considerar a influência da carga térmica interna típica de ambientes de escritórios, no cálculo da Temperatura Interna, foi adicionado um valor diferente para cada hora de cada dia do mês, na Temperatura Ambiente calculada com a Equação 3. Esses valores adicionados foram o resultado de diferenças da Temperatura Interna, resultantes de duas simulações realizadas sobre o modelo de estudo com janela cód. J50 e desprovido de dispositivos de sombreamento (cód. Sdg)<sup>4</sup>. As simulações foram realizadas no programa *EnergyPlus*, uma delas sem carga interna e a outra assumindo uma carga equivalente a 10 pessoas (117W por pessoa), 10 computadores (100W cada computador) e 200W constantes em iluminação artificial, das 7h às 17h. Nas simulações não foram considerados os ganhos provenientes da radiação solar direta<sup>5</sup>, mas foi considerado o efeito da exposição à ventilação natural na fachada. Nas aberturas foi utilizado vidro claro de 2,5mm de 0,87 de transmissividade. As características do material da parede da fachada são descritas na Tabela 3. As outras superfícies foram consideradas adiabáticas.

Tabela 3 – Características do material da parede da fachada

	Rugosidade	Espessura (cm)	Condutividade (W/m.k)	Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	Calor específico (J/kg.k)	Refletância Parede ex. (%)	Absortância Parede ex. (%)
Tijolo	Média	15	0,7	1250	860	30	70

Na Tabela 4 são mostrados os valores das diferenças entre a Temperatura Interna das duas simulações.

Tabela 4 – Valores de temperatura [°C] adicionados à Temperatura Ambiente calculada na Eq. 3

	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17		07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17
jan	0,2	1,2	1,5	1,3	1,7	1,8	0,9	1,5	1,8	1,5	1,8	jul	0,3	1,4	1,9	1,5	2,0	2,2	1,1	1,8	2,2	1,9	2,3
fev	0,2	1,2	1,6	1,3	1,7	1,8	1,0	1,6	1,8	1,6	1,9	ago	0,3	1,4	1,9	1,5	2,0	2,2	1,1	1,8	2,2	1,9	2,4
mar	0,2	1,2	1,5	1,3	1,7	1,8	1,0	1,5	1,8	1,5	1,9	set	0,3	1,4	1,8	1,4	2,0	2,1	1,1	1,8	2,1	1,8	2,3
abr	0,3	1,3	1,7	1,4	1,9	2,0	1,0	1,6	2,0	1,7	2,1	out	0,3	1,4	1,8	1,4	1,9	2,1	1,1	1,7	2,1	1,8	2,2
mai	0,3	1,4	1,8	1,4	2,0	2,1	1,1	1,7	2,1	1,8	2,3	nov	0,3	1,3	1,7	1,4	1,9	2,0	1,0	1,7	2,0	1,7	2,1
jun	0,3	1,4	1,9	1,5	2,1	2,2	1,1	1,8	2,2	1,9	2,4	dez	0,3	1,3	1,6	1,3	1,8	1,9	1,0	1,6	1,9	1,6	2,0

<sup>3</sup> No método original, Aroztegui (1980) parte do pressuposto de que os níveis de excitação sensíveis são apreciados por intervalos de incrementos da temperatura ambiente equivalentes a 2°C. Contudo, o autor enfatiza que a escala de sensações é diferente para o frio e para o calor. Como consequência, propõe coeficientes de apreciação sensível diferentes para quando a diferença entre a Temperatura Ambiente e a Temperatura Neutra for em um ou outro sentido.

<sup>4</sup> No cálculo da carga interna foi assumida uma simplificação. Os resultados do cálculo dos acréscimos na Temperatura Interna devidos à carga térmica interna, no caso com janela cód. J50 e dispositivo de sombreamento cód. Sdg, foram utilizados nos onze casos restantes. Esta situação obedece à necessidade de deduzir informação relevante nas primeiras fases do processo projetual, quando se tem pouca informação arquitetônica. Contudo, essa parte do método pode ser substituída por informação mais precisa, sem alterar a base do ensaio metodológico.

<sup>5</sup> O objetivo das simulações no *EnergyPlus* era conhecer a contribuição da **carga térmica interna** no aumento da Temperatura Interna. O efeito da radiação solar direta é o objeto de estudo do método de Conveniência Solar proposto.

A Temperatura do Ar Externo do dia representativo do mês foi calculada utilizando o critério do Dia Mensal Típico descrito em ASHRAE (2009). Os valores utilizados de Temperatura Média das Máximas e de Temperatura Média das Mínimas foram os calculados por Goulart (1993), a partir de dados registrados entre 1961 e 1970. Já a Temperatura Radiante Média foi calculada como mostrado na Equação 4.

$$T_{rm} = (T_{ar} + T_{mm})/2 \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$T_{rm}$  é a Temperatura Radiante Média do interior [°C];

$T_{ar}$  é a Temperatura do Ar Externo [°C];

$T_{mm}$  é a Temperatura Média Mensal [°C].

Para o cálculo da Temperatura Neutra, foi utilizado o modelo desenvolvido por Xavier (1999)<sup>6</sup>, descrito na Equação 5, a partir de observações realizadas em uma escola de segundo grau de Florianópolis.

$$T_n = 0,351 \times T_{mm} + 16,051 \text{ °C} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$T_n$  é a Temperatura Neutra [°C];

$T_{mm}$  é a Temperatura Média Mensal [°C].

A área da janela ensolarada (AJE) foi calculada no programa *Apolux*, o qual forneceu uma planilha com a área do plano de vidro da abertura exposta à radiação solar direta no dia representativo de cada mês<sup>7</sup> em intervalos de 60min. No módulo Fractal do programa, as superfícies foram fracionadas em áreas máximas de 0,1m<sup>2</sup>. Porém, sobre o vidro, foi aplicado um fator de divisão correspondente a 20 vezes o aplicado ao resto de superfícies. No módulo Foton do programa, foi definida a divisão da abóbada celeste em 120 faixas, cada uma subdividida em 93.598 parcelas.

### 3.5.2 Luz Natural

O cálculo da admissão da luz natural foi realizado através de simulação computacional no programa *Daysim*, o qual forneceu o resultado da avaliação da luz natural baseado na frequência que cada ponto da malha de cálculo encontrou-se na faixa útil, insuficiente ou excessiva de iluminação.

As simulações foram realizadas para todos os dias úteis do ano, das 7h às 17h, fazendo uso do arquivo de dados climáticos do tipo *TRY*, que contém dados anuais dispostos dia a dia em intervalos de 60min. Nas simulações os usuários dos ambientes foram considerados passivos.

### 3.6. Processamento e análise dos dados

As simulações realizadas no *Apolux* geraram resultados em formato *.csv*, compatível com *Excel*, onde foram construídos diagramas anuais de Conveniência Solar que permitiram comparar o desempenho das opções de fachada propostas. Nas simulações de iluminação natural, o programa *Daysim* forneceu um relatório dos resultados em formato *.htm*. Posteriormente, os resultados foram tratados em planilhas de *Excel* e no programa *Windsurf*, a fim de gerar gráficos em planta. A análise dos resultados foi efetuada em duas etapas. Na primeira, foram analisados separadamente os resultados da luz natural e da conveniência da incidência solar. Na segunda etapa, através de uma estratégia gráfica que incluiu a incorporação do Diagrama de Integração das Variáveis (ver Figura 1), foram analisadas luz natural e Conveniência Solar, de forma simultânea.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir são apresentadas as comparações dos resultados das avaliações de luz natural e de conveniência da incidência solar realizadas em um ambiente hipotético com diferentes tipos de fachada.

<sup>6</sup> Foram explorados outros modelos de Temperatura Neutra desenvolvidos para uso residencial de outras localidades geográficas diferentes a Florianópolis-SC. Para o trabalho, optou-se por utilizar o modelo desenvolvido por Xavier (1999). Contudo, o modelo pode ser substituído, segundo as necessidades, sem alterar a base do ensaio metodológico.

<sup>7</sup> No *Apolux* os dias representativos são aqueles que fornecem variação aproximadamente igual das declinações para cada mês, conforme estabelecido por SZOKOLAY (1980).

## 4.2. Conveniência da incidência solar

A eficiência dos dispositivos de sombreamento é medida segundo sua capacidade de impedir o ingresso de raios solares quando inconveniente e de possibilitá-lo quando conveniente. Neste item, procura-se mostrar as diferenças na eficiência dos dispositivos de fachada, a partir dos resultados da aplicação do método da conveniência/inconveniência da incidência solar ao longo do ano. Para isso, inicialmente são apresentados os diagramas de conveniência solar (ver Tabela 5), os quais incluem os valores de Radiação Solar Direta Ponderada (RSP), calculados hora a hora para cada dia representativo do mês. Os valores RSP finais também são mostrados nos diagramas e na tabela resumo (ver Tabela 6).

Para a apresentação dos diagramas de conveniência, foram escolhidos quatro casos representativos, dos quais três correspondem a ambientes com PAF 55,5% (Cód. J50) e diferentes dispositivos de sombreamento (Cód. Sv, Sv50 e Sh50). Já o quarto diagrama corresponde a um modelo base, no qual é assumido PAF 100% e ausência de dispositivos de sombreamento. O objetivo da inclusão deste último é permitir a comparação do desempenho das opções de fachada propostas com um caso extremo. Nos diagramas, as células verdes ressaltam os valores  $+RSP$ , ou seja, os momentos em que a incidência solar foi considerada conveniente. Já as células em amarelo destacam os momentos em que foi considerada inconveniente,  $-RSP$ . Na Tabela 5, destacam-se as opções com dispositivos de sombreamento cód. Sv50 e cód. Sh50: apesar de terem semelhante desempenho global na permissão de raios solares quando convenientes, nota-se grande diferença no impedimento do seu ingresso quando não convenientes. A opção Sh50 quase elimina por completo as radiações não convenientes das 13h às 15h durante o ano inteiro. Além disso, a opção cód. Sv50 apresenta um valor, resultante da somatória das  $-RSP$ , maior do que o resultante da cód. Sv, cuja interferência nas  $+RSP$  é a menor das 3 opções simuladas.

Tabela 5 – Diagramas de Conveniência Solar.

mês/hora	Diagnóstico						J50_Sv50					
	12	13	14	15	16	17	12	13	14	15	16	17
jan	-55	-360	-1299	-2147	-2137	-2153	0	-120	-517	-985	-977	-853
fev	-26	-367	-1390	-2323	-2343	-2356	0	-75	-383	-831	-1004	-1143
mar	-85	-331	-1174	-1926	-1828	-1739	0	-48	-199	-508	-654	-737
abr	-82	-158	-626	-1080	-862	-717	0	-15	-59	-183	-230	-248
mai	-30	-33	-270	-523	-304	-191	0	-2	-17	-38	-51	-48
jun	3	53	-15	-98	-60	1	0	3	-1	-4	0	0
jul	9	76	23	-27	116	92	0	5	1	-2	19	23
ago	6	69	-5	-75	46	35	0	7	0	-13	12	12
set		61	-35	-145	-9	-16	0	9	-6	-38	-3	-7
out	-58	-41	-320	-606	-375	-367	0	-8	-88	-217	-161	-178
nov	-145	-195	-705	-1158	-938	-911	0	-65	-281	-531	-429	-361
dez	-151	-321	-1048	-1693	-1544	-1542	0	-129	-480	-756	-623	-548
				(+)	(-)	total				(+)	(-)	total
				591	-41455	-40865				92	-14857	-14765

mês/hora	J50_Sv						J50_Sh50					
	12	13	14	15	16	17	12	13	14	15	16	17
jan	0	0	0	-285	-585	-858	0	0	0	0	-217	-572
fev	0	-4	-13	-386	-751	-1031	0	0	0	0	-384	-784
mar	0	-7	-23	-415	-644	-801	0	0	0	0	-385	-652
abr	0	-5	-34	-271	-332	-353	0	0	-1	-42	-216	-291
mai	0	-2	-29	-157	-127	-100	0	0	-1	-63	-95	-87
jun	0	3	-2	-32	0	1	0	1	0	-16	0	0
jul	0	4	3	-8	48	48	0	0	0	-3	36	42
ago	0	2	0	-19	18	17	0	0	0	-3	11	14
set	0	1	-1	-31	-3	-7	0	0	0	0	-2	-6
out	0	0	-3	-101	-120	-161	0	0	0	0	-61	-122
nov	0	0	0	-154	-257	-363	0	0	0	0	-95	-242
dez	0	0	0	-172	-398	-568	0	0	0	0	-109	-361
				(+)	(-)	total				(+)	(-)	total
				145	-9613	-9468				105	-4811	-4705

Na Tabela 6 foram colocados os resultados das somatórias dos valores  $+RSP$  (verde), dos  $-RSP$  (amarelo) e o  $RSP_{final}$  (cinza) de todos os casos estudados. Observa-se que, para cada tamanho de janela, a opção de dispositivo cód. Sh50 diminui consideravelmente o ingresso de radiações inconvenientes, enquanto a opção cód. Sv50 reduz pouco as inconvenientes, e muito as convenientes. Já, dos PAFs, constatou-se que para cada opção de dispositivo, o aumento de  $+RSP$ ,  $-RSP$  e  $RSP_{final}$ , é proporcional a área da janela envidraçada, sendo que os valores encontrados nas opções cód. J50 foram quase o dobro dos valores da opção cód. J25.



Tabela 6 – Radiações solares diretas Ponderadas Finais.

	J25		J50		J75	
Sdg	149	-10878	304	-21838	410	-29474
		-10728		-21534		-29064
Sv50	44	-7432	92	-14857	115	-18695
		-7388		-14765		-18580
Sh50	51	-2424	105	-4811	130	-6529
		-2373		-4705		-6399
Svv	67	-4678	145	-9613	211	-16184
		-4611		-9468		-15973

#### 4.1. Admissão e distribuição da luz natural

Esta análise procurou mostrar as diferenças na admissão e na distribuição luminosa anual quando modificado o sistema de fachada. A Tabela 7 mostra a média das percentagens de tempo em que o nível luminoso, calculado à altura do plano de trabalho, permanece nas faixas insuficiente, útil e excessiva. Com o intuito de utilizar o grau de dispersão dos dados para se ter uma idéia global da distribuição luminosa, foi calculado o desvio padrão<sup>8</sup> com as percentagens de tempo em que o nível luminoso permanece na faixa útil.

A Tabela 7 mostra que dentre os 4 casos de janela menor, o desprovido de dispositivos de sombreamento (Sdg) apresenta a maior média UDI-útil, 11,8 pontos percentuais mais alta do que a seguinte em ordem decrescente de magnitude (Svv). Além disso, este caso apresenta a menor média UDI-insuficiente, a qual é 12,71 pontos percentuais mais baixa do que a do caso cód. Svv, seguinte em ordem crescente de magnitude. Contudo, no grupo de casos com tamanho de janela menor, verificam-se apenas pequenas diferenças entre as médias dos casos com dispositivos cód. Sv50 e cód. Svv. Já o caso cód. Sh50, apesar de possuir a menor média UDI-excessiva apresenta também a menor média UDI-útil e a maior média UDI-insuficiente.

Porém, na medida em que aumenta o tamanho da janela, as diferenças entre os casos com dispositivo de sombreamento cód. Sdg e Svv e entre os casos com cód. Sv50 e Sh50 tendem a diminuir. Nos casos com janela maior, as diferenças entre o caso cód. Sdg e o cód. Svv é de 3 pontos percentuais na média UDI-útil e de 5,66 na média UDI-insuficiente. Entre os casos cód. Sh50 e cód. Sv50 as diferenças são de 1,68 pontos percentuais na média útil e 3 na média insuficiente. Por outro lado, as diferenças entre os casos com dispositivos cód. Svv e Sv50 tendem a aumentar conforme aumenta o PAF: entre as médias UDI-útil dos casos cód. J25\_Svv e cód. J25\_Sv50 existe uma diferença de apenas 1,14 pontos percentuais, mas entre o caso cód. J50\_Svv e o cód. J50\_Sv50 e entre o caso cód. J75\_Svv e o J75\_Sv50 essa diferença aumenta a 4,94 e 10,76 respectivamente.

Além do mais, a Tabela 7 mostra que o caso cód. J50\_Sh50 apresenta o maior desvio padrão, ou seja, distribuição de valores UDI-útil menos uniforme. Nos casos restantes, o aumento do tamanho das aberturas possibilita o acréscimo dos valores UDI-útil na zona do fundo do ambiente.

Tabela 7 – Média e Desvio padrão das percentagens de tempo em que os níveis luminosos permanecem nas faixas UDI

		J25 – PAF 27,7%			J50 - PAF 55,5%			J75 - PAF 74,0%		
		Insuf.	Útil	Exces.	Insuf.	Útil	Exces.	Insuf.	Útil	Exces.
Sdg	Média	58,93	40,01	1,07	37,64	59,84	2,53	26,34	69,96	3,70
	DP		23,89			19,9			11,02	
Sv50	Média	72,52	27,06	0,43	50,19	48,71	1,11	42,24	56,18	1,60
	DP		24,27			23,75			20,09	
Sh50	Média	79,16	20,83	0,02	56,22	43,67	0,10	45,18	54,50	0,33
	DP		23,61			28,20			24,11	
Svv	Média	71,64	28,20	0,17	45,82	53,65	0,51	31,99	66,94	1,09
	DP		27,24			25,30			15,23	

Esses resultados podem ser verificados na Figura 2, que ilustra os gráficos com curvas isoUDI-útil dos doze casos. Se comparados os casos cód. J50\_Sdg e J75\_Sdg com os casos J50\_Svv e J75\_Svv respectivamente, nota-se que a zona próxima à janela apresenta uma redução dos valores UDI-útil. Esse decréscimo se deve à penetração solar que aumenta a iluminância nos pontos atingidos, e, conseqüentemente, eleva os valores UDI-excessivo.

<sup>8</sup> O uso do desvio padrão obedece à impossibilidade de calcular a Uniformidade luminosa no *Daysim*. Embora o uso da medida de dispersão estatística não substitua a utilidade do cálculo da uniformidade, fornece uma idéia global da distribuição.



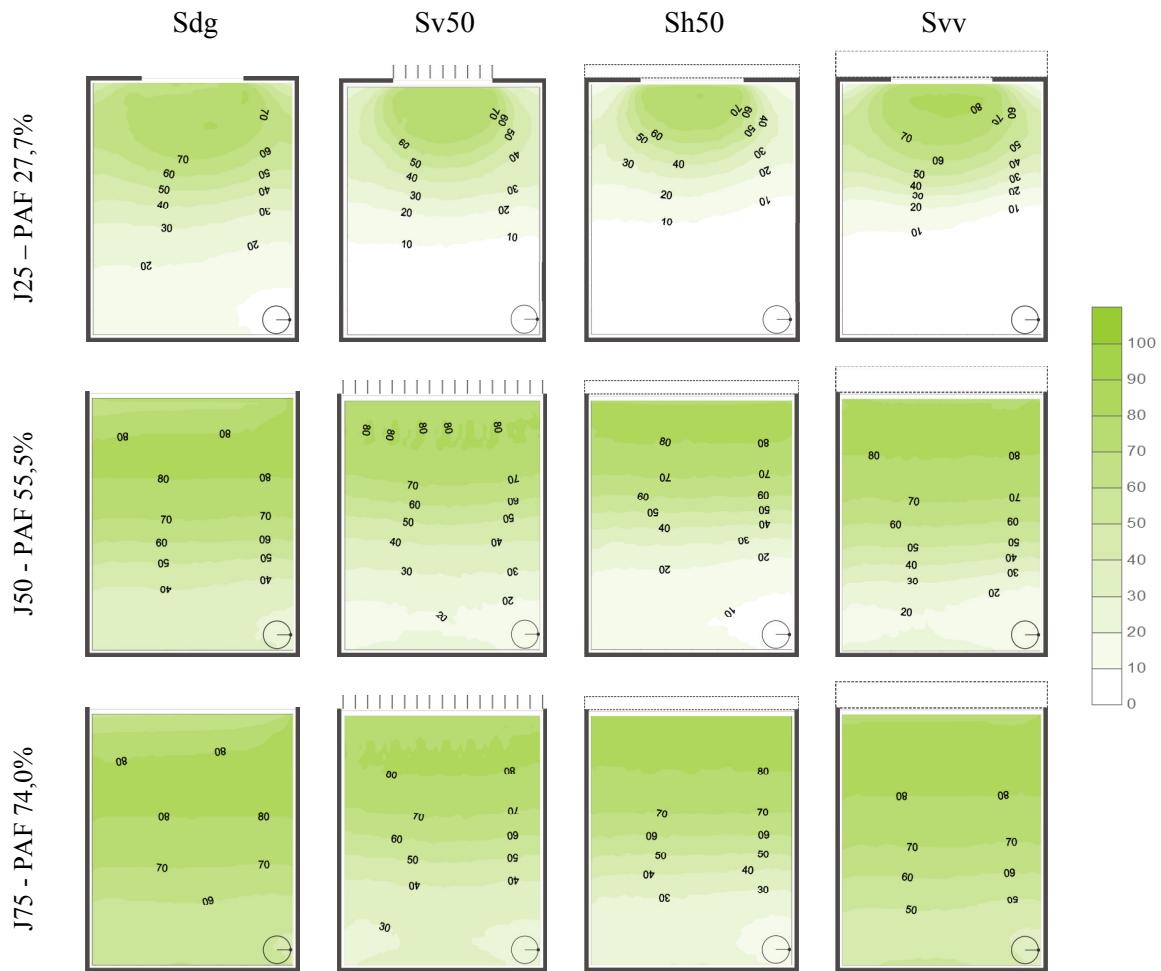


Figura 2 – Distribuição dos valores UDI-útil na área do plano de trabalho

### 4.3. Integração das variáveis

Neste item foram integrados os resultados das análises de iluminação natural e conveniência da incidência solar. Para a localização dos resultados na Figura 3, as opções de fachada foram numeradas de 01 a 12, e diferenciadas em cores segundo o PAF: janelas cód. J25 em azul; cód. J50 em laranja; cód. J75 em roxo. Dos casos avaliados para cada tamanho de janela, aqueles que possuíam dispositivo de sombreamento cód. Sh50 apresentaram o balanço das Radiações Solares Diretas Ponderadas menos inconvenientes (03, 07, 11). Contudo, estes casos também exibiram as menores médias UDI-útil. Já nos casos desprovidos de dispositivos de sombreamento foram verificados as maiores médias UDI-útil e os menores valores RSPfinal (01, 05, 09). Em termos gerais, dentre os casos avaliados, o 07 apresentou as condições integradas menos desfavoráveis. Porém, para conseguir melhores desempenhos nesta orientação, do ponto de vista integrado, faz-se necessário o estudo de mais opções de fachadas.

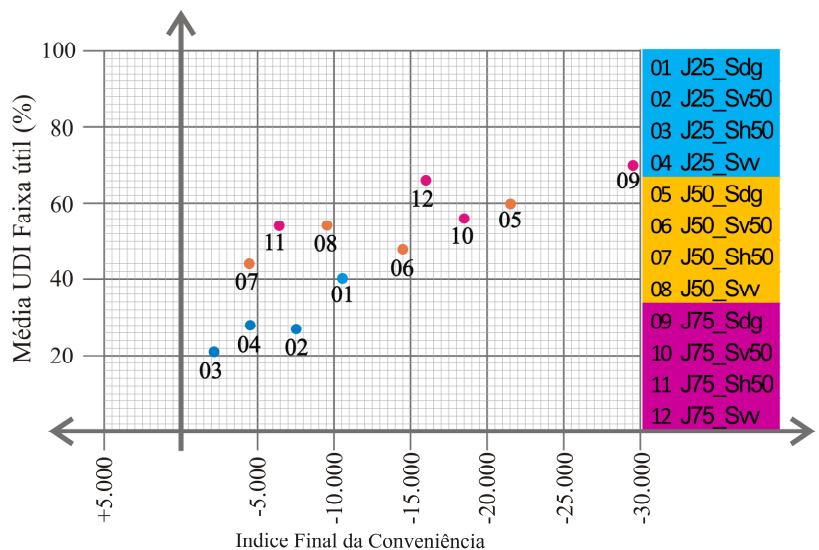


Figura 3 – Diagramas de integração das variáveis

Já nos casos desprovidos de dispositivos de sombreamento foram verificados as maiores médias UDI-útil e os menores valores RSPfinal (01, 05, 09). Em termos gerais, dentre os casos avaliados, o 07 apresentou as condições integradas menos desfavoráveis. Porém, para conseguir melhores desempenhos nesta orientação, do ponto de vista integrado, faz-se necessário o estudo de mais opções de fachadas.

## 5. CONCLUSÕES

Um ensaio metodológico foi implementado para a análise integrada da conveniência da incidência solar e da iluminação natural nas fases iniciais do processo de elaboração do projeto arquitetônico. O ensaio incluiu a proposição de um diagrama para visualizar de forma integrada o desempenho do sistema de fachada nas duas variáveis estudadas. Para testar o método, foram realizadas comparações do desempenho de diferentes opções de fachada.

O diagrama proposto mostrou ser uma ferramenta simples e útil. Com o uso dele, foram identificadas grandes variações entre os resultados obtidos nos testes: enquanto as avaliações de iluminação natural indicaram melhores resultados para fachadas com maior PAF e menor grau de obstrução, os resultados da conveniência da incidência solar ressaltaram o desempenho de dispositivos de sombreamento horizontais. Essa variação possibilitou a identificação preliminar das características mais convenientes da fachada para atender de forma equilibrada aos requerimentos térmicos e visuais. Essa identificação constitui informação valiosa, que permite ao projetista realizar substanciais modificações na fachada nas primeiras fases do projeto. Por outro lado, o diagrama proposto não forneceu uma idéia geral da distribuição luminosa nem dos valores UDI-insuficiente e UDI-excessivo. Nos testes, principalmente nos casos que apresentaram médias UDI-útil parecidas e valores RSPfinal próximos, foi necessário consultar a informação obtida das análises de luz natural a fim de escolher a opção com melhor desempenho combinado.

Este estudo serve como referência para futuros trabalhos e para o desenvolvimento de ferramentas que busquem o equilíbrio entre iluminação natural e conveniência solar nas fases iniciais projeto.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDERSEN, Marilyne et al. An intuitive daylighting analysis and optimization approach. **Building, research and information**, n.36 (6), p 593-607, 2008.
- AROZTEGUI, Jose Miguel. Método para projeto e avaliação de pára-sois externos, visando à otimização do seu desempenho térmico para um clima dado. Porto Alegre: **Caderno Técnico (CT 17/80), Curso de Pós Graduação em Engenharia Civil - UFRGS**, 1980. 63 p
- ASHRAE. **Climatic Design Information**. In: ASHRAE Handbook Fundamentals, Cap. 14, Atlanta, 2009
- DAVID, M.; DONN M.; GARDE F.; LENOIR A. Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades. **Building and Environment** (Artigo aceito para publicação), 2011.
- DUBOIS, Marie-Claudie. Third ISES Europe Solar Congress. In: Eurosun 2000. Copenhagen, Dinamarca, A method to define shading devices considering the ideal total solar energy transmittance. Copenhagen: **Proc. Eurosun 2000**.
- DUBOIS, Marie-Claude. **Impact of Shading Devices on Daylight Quality in Offices. Simulations with Radiance**. Lund, Suecia: Department of Construction and Architecture, Division of Energy and Building Design, Lund University, 2001.
- GOULART, Solange. **Dados Climáticos para Avaliação de Desempenho Térmico de Edificações em Florianópolis**. 1993. 111f. Dissertação do Mestrado (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 1993.
- HAGHPARAST, F.; MARSH, A. Internacional Conference on passive and low energy architecture. In: PLEA 2004, Eindhoven, Holanda. The application of computer-optimised solutions to tightly defined design problems. Holanda, **PLEA 2004**.
- KAFTAN, E.; MARSH, A. Inter. Conf. Passive and Low energy Cooling for the Built environment. In: Proc. PALENC, Santorini, Grecia. Integrating the Cellular Method for Shading Design with a Thermal Simulation. Grecia, **Proc. PALENC 2005**.
- MARSH, Andrew. ECOTECH and ENERGY PLUS. **Building Energy Simulation User News**, v24, n6, 2003.
- MING-CHIN, Ho et al. Optimal sun-shading design for enhanced daylight illumination of subtropical classroom. **Energy And Buildings**, n. 40, p.1844-1855, 2008.
- NABIL, A.; MARDALJEVIC, J. Useful daylight illuminance: a new paradigm for assessing daylight in buildings. **Lighting Research and Technology**, n37,1, p 41-59, 2005.
- OCHOA, C.E.; CAPELUTO, I.G. Advice tool for early design stages of intelligent facades based on energy and visual comfort approach. **Energy and Buildings**, n41, p 480-488, 2009
- PEREIRA, F.O.R. **Luminous and thermal performance of window shading and sunlighting reflecting devices**. 1992. 301 f. Tese (PhD) – School of architectural studies. University of Sheffield, Inglaterra, 1992.
- PEREIRA, Iraci; DE ASSIS, Eleonora. Avaliação de modelos de índices adaptativos para o uso no projeto arquitetônico bioclimático. **Ambiente construído**, n1, v10, p31-51, 2010.
- ROBERTS, A.; MARSH, A.J. ECAADE In: Proc. of 19th Education for Computer Aided Architectural Design in Europe, Helsinki, 2001. ECOTECH: Environmental Prediction in Architectural Evaluation. **19th ECAADE**, Helsinki, Finlândia, 2001.
- RUANO, A; ARANGO, L. V ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO. In: ENCAC, 9., 2007. Ouro Preto. Construcción del índice ambiental sol-luz. **Anais: ENCAC, 2007**. CD-ROM
- SALAZAR, Jorge. VI ENCONTRO LATINOAMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUIDO. In: ENCAC, 10., 2009, Natal. Índice Sol-Luz: Método para valorar la calidad del aprovechamiento de la luz natural. **Anais: ENCAC, 2009**. p. 1728 - 1734. CD-ROM
- SZOKOLAY, S.V. **Environmental Science Handbook for Architects and Builders**. The Construction Press, Lancaster, UK, 1980.
- UNVER, R. et al. Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices. **Energy and buildings**, n35, p 737-746, 2005.
- WONG, Nyuk; ISTIADJI, Agustinus. Effect of external shading devices on daylighting penetration in residential buildings. **Lighting Research and technology**, n36,4, p 317-333, 2004.
- XAVIER, Antonio Augusto de Paula. **Condições de conforto térmico para estudantes de segundo grau na região de Florianópolis**. 1999. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – UFSC, Florianópolis, 1999.