

INFLUÊNCIA DA LUZ NATURAL REFLETIDA PELO ENTORNO NA ILUMINAÇÃO DE EDIFÍCIOS EM CÂNIONS URBANOS NO TRÓPICO ÚMIDO

Iuri Ávila L. de Araújo (1); Ricardo C. Cabús (2)

(1) Universidade Federal de Alagoas - UFAL - Campus Arapiraca, Caixa Postal nº 61-CEP57300-970
Arapiraca – AL, Fone: 82-9308 5395, e-mail: iuriav@gmail.com

(2) Universidade Federal de Alagoas-CTEC/GRILU, Campus A C Simões-Cidade Universitária-
Maceió-AL CEP 57072-970, Fone: 82-3214 1311, e-mail: r.cabus@ctec.ufal.br

RESUMO

O entorno construído pode ampliar a disponibilidade da luz natural para as edificações. Por outro lado, seu desenho deve considerar as condições climáticas, que influenciam essa disponibilidade. No trópico úmido, as proteções solares utilizadas nas aberturas podem reduzir consideravelmente o fator de céu. Esse efeito pode ser compensado pela quantidade significativa de luz refletida. O presente trabalho teve por objetivo analisar a influência da luz refletida pelo entorno, particularmente da radiação solar, para a iluminação natural de edificações no trópico úmido. A metodologia adotada consistiu em um estudo comparativo da contribuição da componente direta e das componentes refletidas, incluindo a radiação solar, obtidas através de simulações computacionais com o programa TropLux. Foi adotada a localização da cidade de Maceió-AL e o céu parcialmente nublado. Os resultados mostraram uma grande contribuição da luz refletida para a iluminação das edificações, em particular, da radiação solar. Assim, concluiu-se que na definição de normas para o espaço urbano no trópico úmido, é relevante que se dê atenção especial às refletâncias do entorno e à orientação das aberturas e obstruções. Espera-se com isso contribuir para formar diretrizes de desenho urbano para o maior aproveitamento da luz natural no trópico úmido.

ABSTRACT

The development of urban space can improve the daylight availability. Urban design should be taken into count the climatic conditions, which influence the daylight availability considerably. In the humid tropic, the sky factor of windows may decrease due to the use of the solar protection. This loss can be compensated by the considerable availability of reflect light. The present work aims to analyse the influence of the reflected light on luminous performance of buildings in humid tropic. The methodology is a comparative study of the contribution of the direct component and of the reflect component, solar radiation in special, by computer simulation with TropLux. The simulations were done for Maceió-AL with partly cloudy sky. Results showed a great contribution of the reflect light for tropical daylighting, of the solar radiation in special. More appropriate approach for Daylighting Code in the humid tropic should pay more attention to reflected light on the ground and obstruction as well as to opening orientation. This word aims to contribute in some way to create urban design guidelines that help designers and planners to develop urban models that aloe a proper use of daylight in the humid tropic.

1. INTRODUÇÃO

A luz natural é um recurso importante para os edifícios. O desenho urbano é a ferramenta que pode conduzir o espaço da cidade a um maior aproveitamento da luz natural nas edificações. No entanto, ele também envolve questões de uso do solo, adensamento e valorização, cabendo ao poder público promover ações que regulem os padrões urbanos, a fim de garantir a disponibilidade de luz natural e também de ampliá-la, contribuindo assim, para a redução do consumo diurno de luz artificial e para a sustentabilidade das construções.

Os principais métodos utilizados para atingir esse objetivo, baseiam-se no Fator de Céu, como parâmetro de desempenho luminoso. Esse fator relaciona a obstrução da visão do céu às iluminâncias. Ele tem servido de referência para o controle da disponibilidade da luz natural no meio urbano em todo mundo

No trópico úmido, a necessidade de sombreamento combina-se às de iluminação, sob céus parcialmente nublados e intensa radiação, direta e difusa. As proteções solares podem reduzir consideravelmente o Fator de Céu das aberturas, o que representaria uma perda de desempenho luminoso que pode ser compensada pela quantidade significativa de radiação difusa e direta incidindo no entorno, tornando-o uma fonte de luz considerável.

A abordagem mais utilizada para embasar instrumentos normativos usados no controle da iluminação natural no meio urbano, baseia-se em Fator de Céu, não mencionando o uso de proteções solares nas aberturas, sua orientação, tipo de céu e refletâncias do entorno, limitando-se aos ângulos de obstrução e dando pouca atenção à luz refletida, particularmente à luz do Sol. Provavelmente, isto se deve ao fato de ter se baseado, sobretudo, em estudos para regiões temperadas, onde predomina os céus encobertos com baixa contribuição da luz refletida pelo entorno.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho teve por objetivo analisar a influência da luz refletida pelo entorno construído para a iluminação natural de edificações no trópico úmido.

Como objetivo específico, pretende avaliar comparativamente a contribuição da luz do Sol e do céu, refletidas pelo entorno, com a contribuição da componente direta, que é determinada pelo Fator de Céu, para a iluminação das edificações no meio urbano no trópico úmido.

Espera-se com isso contribuir para formar diretrizes de desenho urbano que orientem projetistas e planejadores no desenvolvimento de modelos urbanos que propiciem um maior aproveitamento da luz natural no trópico úmido.

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada consistiu em um estudo comparativo das contribuições da luz do Sol e do céu, refletidas, com a da componente direta, obtidas através de simulações computacionais e utilizando como parâmetro as iluminâncias médias em um plano de trabalho horizontal, no interior de uma sala de referência.

3.1 O programa de computador

Para realizar simulações foi utilizado o programa TropLux V 2.13 (cabus, 2006), este programa foi criado por Cabús como ferramenta para sua tese de doutorado (CABUS, 2002). O programa utiliza a técnica do Raio Traçado, com Método Monte Carlo e coeficientes de luz natural, permite que a contribuição do sol e do céu para a iluminação total seja dimensionada separadamente, assim como, permite dimensionar a Componente de Céu direta em separado das componentes refletidas.

Foi adotada uma margem de erro de 5%, com nível de confiança de 95%, como recomendado por Cabús (2005). Os valores de iluminância difusa horizontal foram baseados nas equações da IES (IES,1984).

3.2 A sala de referência

Foi definida uma sala de referência para as simulações. Ela tinha dimensões 3,00 m x 4,00 m e 2,50 m de pé-direito, totalizando uma área de 12m², as paredes tinham 0,15m de espessura. A sala possuía uma única janela, em uma das paredes menores, medindo 1,00m x 2,50m, tendo um peitoril de 1,00 m, totalizando uma área de 2,5m², equivalente a 1/3 da área total da parede. Essa sala atende a padrões mínimos comumente exigidos para um espaço de dormitório ou estar, em edificação residencial, assim como para uma sala ou consultório de edificação comercial. Ver figura 1.

A área da janela foi completamente fechada por um vidro incolor. As superfícies internas da sala foram configuradas com os seguintes coeficientes de reflexão: teto 0,7; paredes 0,6 e piso 0,3. Esses coeficientes se basearam em um estudo prévio de iluminação natural em Maceió, feito por Cabús (2004), são valores comuns em ambientes com paredes, piso e teto claros. Com exceção do vidro da janela, que era especular, todas as superfícies foram configuradas com reflexão perfeitamente difusa.

A iluminação da sala foi simulada em um plano de trabalho a 0,75 m de altura do piso. A fim de simplificar a análise dos resultados, utilizou-se como parâmetro as iluminâncias médias do plano de trabalho. Ver figura 1.

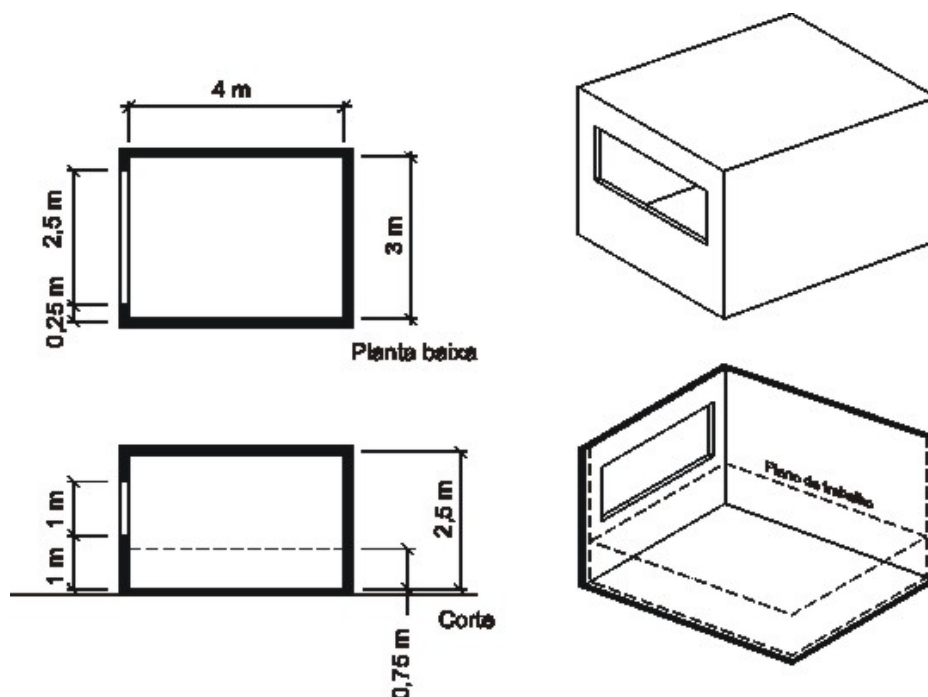


Figura 1 - Sala de referência mostrada em planta baixa, corte longitudinal e perspectiva isométrica externa e interna, mostrando ainda o plano de trabalho do presente estudo.

3.3 Modelos de entorno

Para realizar as simulações também foi necessário modelar o entorno da sala de referência. Optou-se por um conjunto de quatro modelos com fatores de céu diferentes.

Os arranjos lineares de blocos de edificação são os mais comuns nas cidades. As janelas de uma edificação nessas condições têm seu Fator de Céu influenciado pela altura dos blocos e pelo afastamento frontal entre eles, que determina o ângulo vertical de obstrução (AVO), influenciando diretamente o Fator de Céu da janela. Esses arranjos lineares formam os cânions urbanos, que

apresentando proporcionalmente os menores fatores de céu da malha urbana, dependem mais das reflexões do entorno. Buscando maior aproveitamento do solo urbano, esses cânions tornam-se cada vez mais altos, reduzindo bastante os fatores de céu. Sendo assim, essa foi a tipologia adotada para os modelos estudados. Nesses modelos, a extensão do cânion foi considerada infinita e suas laterais sem descontinuidades, variando apenas a sua altura.

Como adotado em outras experiências de planejamento (NG, 2002) e em estudos sobre cânions urbanos (ROMERO, 2001), os ângulos verticais de obstrução no interior do cânion foram especificados pela razão entre largura e altura de sua seção (L/A), a fim de simplificar a sua aplicação prática. O uso de proporções L/A permite que os resultados obtidos sejam, até certo ponto, aplicados a cânions de dimensões diferentes, desde que mantidas as proporções entre largura e altura da seção.

Para avaliar os resultados em cânions com diferentes fatores de céu, foram adotadas para a pesquisa as razões L/A mais utilizadas: 1/1, 1/2, 1/3 (NG, 2002) e, como referência de arranjo não verticalizado, a razão 2/1. Ver figura 2.

Foi necessário definir uma escala para a construção dos modelos, que relacionasse as proporções à dimensão dos afastamentos e número de pavimentos. Assim, a largura do cânion (L) foi fixada em 20m. Essa largura abrange a rua, os passeios e os recuos frontais, sendo mantida constante nas razões L/A que definiram os diferentes cânions. Esses corresponderam assim, às alturas de 10m, 20m, 40m e 60m. Através de uma aproximação baseada no pé-direito da sala de referência, esses cânions equivaleriam a edifícios de 4, 8, 16 e 24 pavimentos, respectivamente. Ver figura 2.

Definidos os modelos, foi necessário definir o ponto de referência para a medição dos ângulos de obstrução verticais na janela da sala, pois a distância das aberturas ao solo altera os ângulos de obstrução verticais. A sala foi posicionada no quarto pavimento, que equivale ao topo do cânion 2/1 e o ponto de referência foi localizado no peitoril da janela, a 8,5m do solo, coincidindo com o eixo longitudinal da sala e formando ângulos de obstrução vertical de 4°, 30°, 58° e 69° nos respectivos cânions. Ver figura 2.

O coeficiente de reflexão médio das laterais do cânion será definido como 0,5. Com base em estudos prévios de iluminação natural (CABUS, 2004) (Hopkinson; petherbridge; longmore, 1975), o coeficiente de reflexão do solo (albedo) será definido como 0,2. Todas as superfícies do cânion foram configuradas com reflexão perfeitamente difusa.

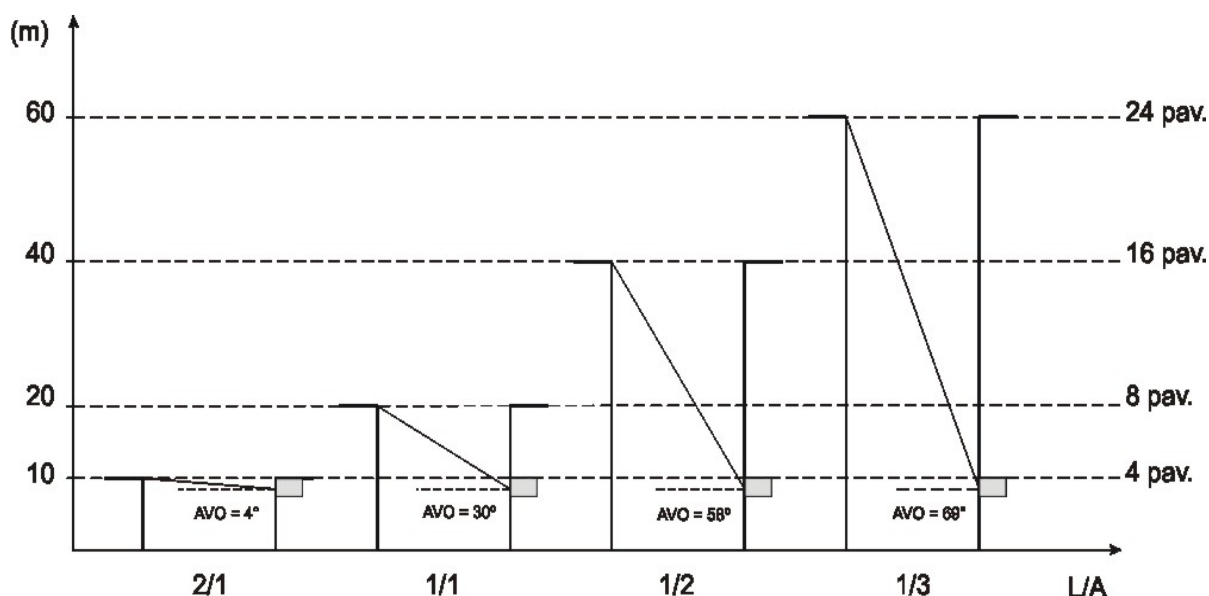


Figura 2 - Modelos de cânion utilizados nas simulações. Na figura é mostrada a posição da sala de referência e o Ângulo Vertical de Obstrução (AVO) da janela em cada cânion.

3.4 Simulações

Como referência de trópico úmido e localização para as simulações, foi escolhida a cidade de Maceió-AL (Latitude 9°40'S, Longitude 35°42'O), uma cidade com clima trópico úmido, onde a presença da radiação solar direta é freqüente ao longo do ano, tendo uma probabilidade mensal mínima de 49,4% Cabús (2002).

Através de um estudo de Cabús (2002), observou-se que o céu parcialmente nublado é o mais freqüente em Maceió, com maior probabilidade de ocorrência durante o dia e o ano. Baseado em um método simplificado para classificar o céu de Maceió, o autor recomenda que na falta de estudos que englobem um período maior do ano ou utilizem metodologias mais precisas, o modelo de céu CIE 10, dentre os 15 padrões adotados pela CIE (CIE, 1999), seja utilizado para simular um céu parcialmente nublado em Maceió. Assim, esse modelo foi adotado nas simulações.

Para compreender essas variações ao longo do dia, foi adotado para as simulações o período entre 6h00min e 18h00min, em horário solar, do dia (22/03), equinócio de outono, compreendendo assim todo período diurno.

Para avaliar a influência da orientação da abertura e das obstruções do entorno, para as iluminâncias internas, os cânions simulados foram orientados no eixo leste/oeste e norte/sul. Assim, a sala de referência posicionada na lateral do cânion, terá sua janela direcionada para o sul e para leste respectivamente.

Na região tropical a radiação solar intensa gera a necessidade de se utilizar proteção nas aberturas, para evitar problemas de ofuscamento e aquecimento. Sendo assim, para considerar o sombreamento em conjunto com as outras variáveis e excluir a radiação solar direta da iluminação interna, a janela da sala será protegida durante o período entre 8h00m e 18h00m, em horário solar, que corresponde aproximadamente ao horário de trabalho diurno. Ver figura 3. A figura 4 mostra os fatores de céu resultantes, após sobrepor obstrução do cânion e das proteções solares.

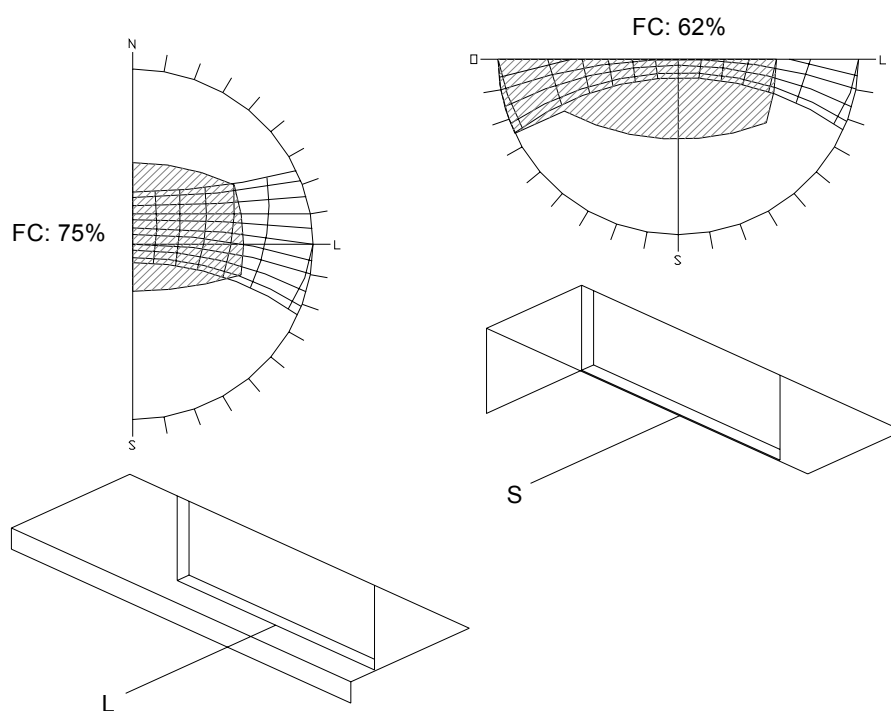


Figura 3 - Protetores solares utilizados na janela da sala para orientações leste e sul. A figura também mostra os fatores de céu da janela com proteção.

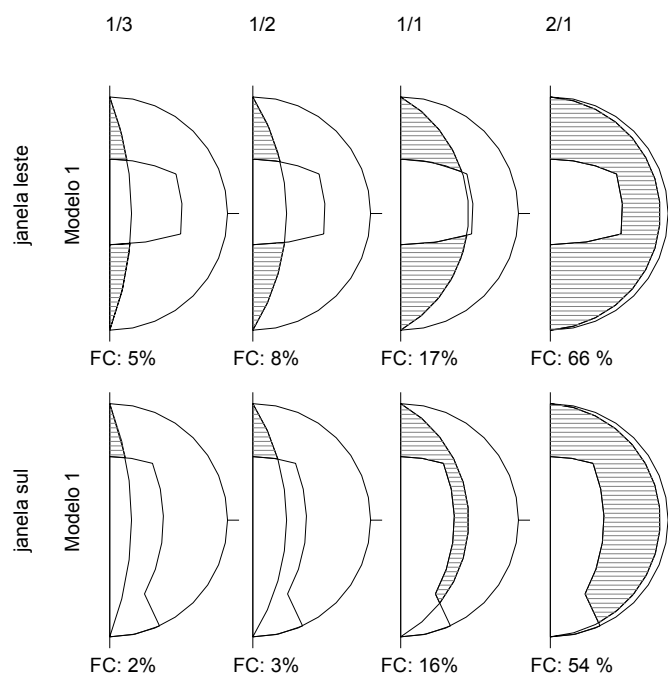


Figura 4 - Fatores de céu da janela da sala em cada modelo de cânion e orientação analisada.

4. RESULTADOS

Mesmo com baixos fatores de céu, as iluminâncias médias foram significativas ao longo do dia. A norma NBR 5413 de maio de 1991 (ABNT, 1992), estabelece os valores apropriados para a execução de diferentes tarefas. As tarefas domésticas mais comuns podem ser desenvolvidas satisfatoriamente com iluminâncias entre 100lx e 500lx. As atividades de escritório são mais diversificadas e exigem iluminâncias mais altas. Salvo tarefas mais específicas e de maior precisão, os valores entre 500lx e 1000lx já são satisfatórios para boa parte delas.

Para simplificar a análise, as iluminâncias médias foram agrupadas em três categorias, como mostrado na tabela 1. Esses grupos foram relacionados à duração da sua ocorrência em horas, entre 8h00m e 18h00m (horário de trabalho diurno) para cada altura e orientação de janela.

Tabela 1 – iluminâncias médias agrupadas em categorias e associadas à duração de sua ocorrência em horas.

Cânions	Janela leste				Janela sul			
	Mais de 1000 lx	de 500 a 1000 lx	de 100 lx a 500 lx	menos de 100 lx	Mais de 1000 lx	de 500 a 1000 lx	de 100 lx a 500 lx	menos de 100 lx
2/1	5 h	4 h	1 h	1 h	5 h	4 h	1 h	1 h
1/1	-	6 h	4 h	1 h	-	7 h	3 h	1 h
1/2	-	2 h	6 h	2 h	-	3 h	6 h	2 h
1/3	-	-	7 h	4 h	-	-	9 h	2 h

Independente da orientação da janela, todas as alturas atingiram uma luminosidade suficiente para uma residência, em no mínimo 70% do horário de trabalho diurno. É importante observar que, nos cânions 1/2 e 1/3, a janela da sala tinha fatores de céu menores que 10% e no cânion 1/1, não ultrapassava os 20%, ver figura 4. Os valores acima de 500 lx, adequados para atividades de escritório, foram menos frequentes, mas ainda assim, com exceção do cânion 1/3, foi de no mínimo 20% do período considerado.

É importante observar que os valores analisados são iluminâncias médias, o que significa que ocorreram valores maiores e menores. Na prática, aquelas tarefas visuais mais exigentes, podem tirar partido da proximidade com a abertura, onde provavelmente as iluminâncias são mais altas que a média.

Os resultados mostraram que o aumento da altura do cânion causa uma redução considerável na iluminância da sala, isso se deve à redução do Fator de Céu. Ver gráfico 1.

Foi possível observar o melhor desempenho das janelas voltadas para o sul. Isso se deve ao fato de que, nesse período do ano, há insolação na obstrução em frente à janela durante todo o dia. Ver tabela 1, gráfico 1 e figura 5.

Para janela orientada a leste, percebe-se um desempenho um pouco melhor no período vespertino, se comparado ao matutino, coincidindo com o período em que o sol incide na obstrução em frente à janela. Ver tabela 2, gráfico 1 e figura 5.

Tabela 2 – Comparando um período de quatro horas imediatamente antes e depois do meio-dia para janela leste.

Cânions	Período entre 08h00m e 12h00m				Período entre 12h00m e 16h00m			
	Mais de 1000 lx	de 500 a 1000 lx	de 100 lx a 500 lx	menos de 100 lx	Mais de 1000 lx	de 500 a 1000 lx	de 100 lx a 500 lx	menos de 100 lx
2/1	1 h	3 h	-	-	3h	1 h	-	-
1/1	-	2 h	2 h	-	-	3 h	1 h	-
1/2	-	-	4 h	-	-	1 h	3 h	-
1/3	-	-	4h	-	-	-	4 h	-

Comparando janela sul e leste - Modelo 1 - 22 mar

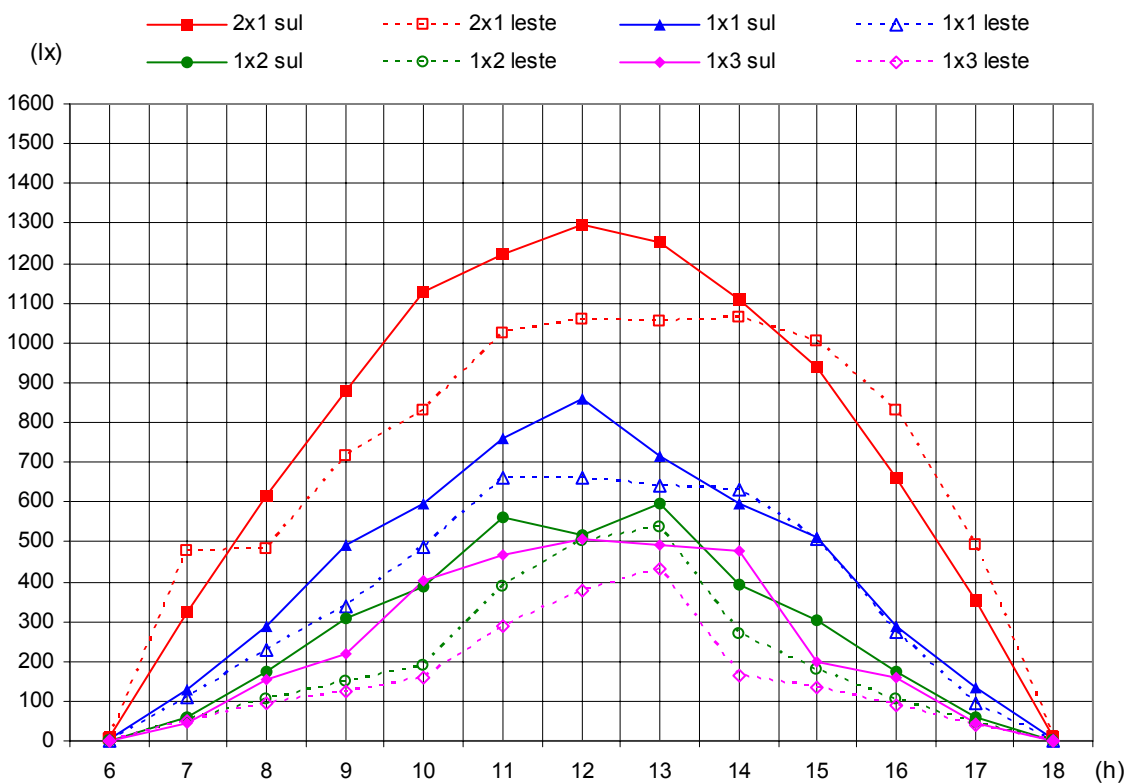


Gráfico 1 - Comparando as alturas 2/1, 1/1, 1/2 e 1/3, para janela leste e sul, no dia 22 de março.

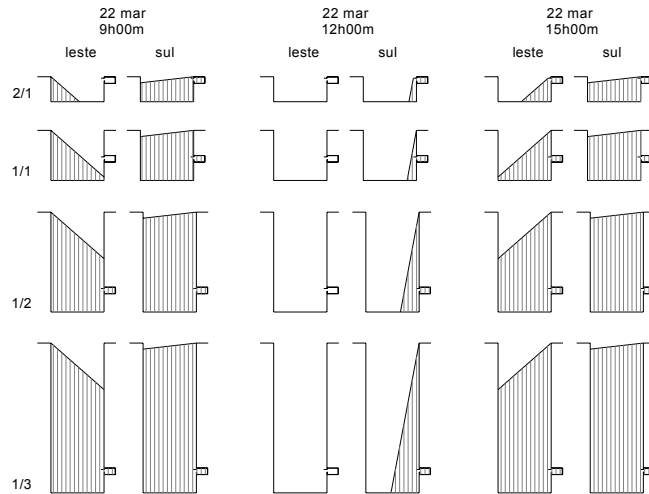


Figura 5 - mostra a projeção de sombra numa seção dos cânions, para três horários e duas orientações.

Para concluir a análise, foi comparada a contribuição percentual da Componente de Céu Direta (CC) e da componente solar refletida pelo entorno (Sol). O TropLux permite que essas contribuições sejam analisadas separadamente.

Considerando a iluminância total como sendo 100%, a contribuição percentual do sol refletido e da CC pode ser determinada através da equação:

$$T_c = E_c / E_i * 100\% \quad [\text{Eq. 01}]$$

Onde T_c é a taxa percentual que representa a contribuição da componente para a iluminância total, E_i é a iluminância total e E_c é o valor da componente que se quer analisar. A vantagem desse método é oferecer um mesmo parâmetro para comparar diferentes variáveis, como orientação da janela e horário. Esse método para análise de componentes de iluminação é semelhante ao usado por Cabús (2004).

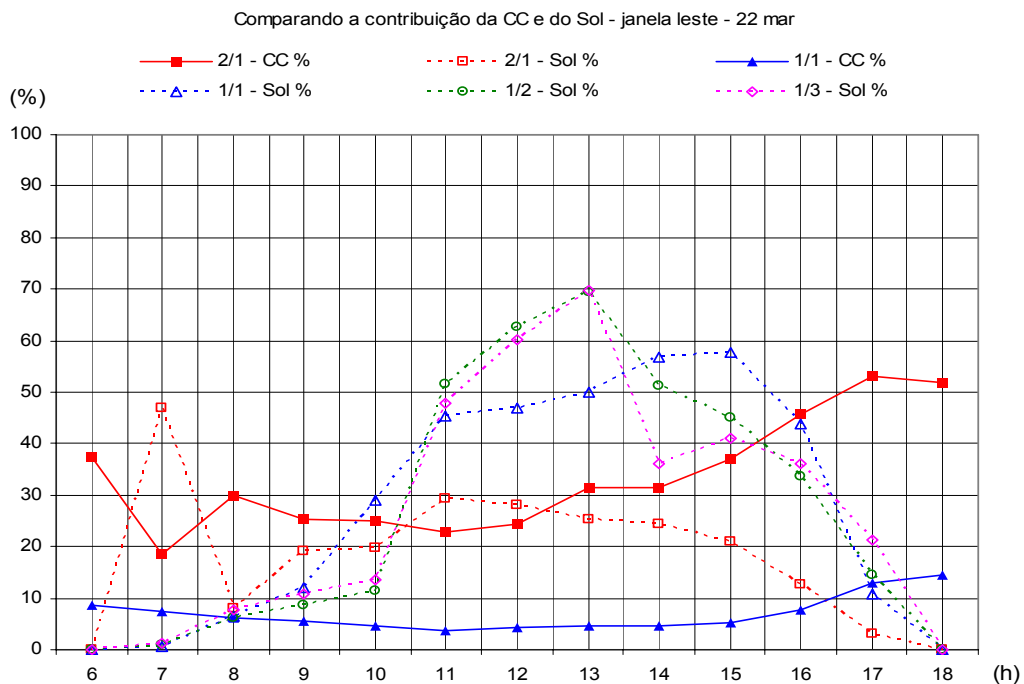


Gráfico 2 - Comparando as contribuições do sol refletido e da Componente de Céu, janela leste.

Por conta do uso dos protetores solares, a partir das 8h00min, em todas as alturas a contribuição da luz do Sol ocorre apenas por reflexão do entorno.

Nessa análise, a contribuição da luz do céu refletida (CRE + CRI) pode ser obtida pela diferença entre o total (100%) e as taxas percentuais do Sol e da CC. Analisando os gráficos 2 e 3, Observou-se que a contribuição da CC, quando existiu, foi inferior à contribuição da luz do céu refletida na maior parte do dia. A contribuição dessa componente é de grande importância nos períodos em que a contribuição do sol ficou abaixo dos 50%.

Nos cânions mais altos (1/2 e 1/3), a combinação de obstrução do entorno e obstrução dos protetores solares fez com que a contribuição da CC fosse nula, havendo apenas componente solar e de céu refletidas. Ver gráfico 2 e 3.

Para a janela leste, as contribuições do sol refletido acima de 50% ocorrem aproximadamente entre 11h00min e 14h00min nos cânions 1/2 e 1/3, correspondendo a 30% do horário de trabalho. No cânion 1/1, a contribuição do sol refletido ultrapassou os 50% entre 13h00min e 15h30min e foi consideravelmente maior em relação à janela sul. Para todas as alturas, a contribuição do sol refletido é consideravelmente maior a partir das 10h00min e durante a tarde, quando o sol incide mais no solo e nas obstruções em frente à janela. Ver gráfico 2 e figura 5.

Para janela orientada ao sul, que teve melhor desempenho, a contribuição do sol superou os 50% entre 9h30m e 14h30m, ou seja, metade do horário de trabalho, sendo maior nos cânions de altura 1/2 e 1/3, que apresentam os menores fatores de céu. Ver gráfico 3 e figura 4.

Em ambas orientações, nos cânions mais baixos (2/1 e 1/1), que apresentaram Componente de Céu (CC), a contribuição dessa não ultrapassou os 50% na maior parte do dia. Os seus valores foram especialmente baixos no o cânion 1/1, onde a janela tinha um AVO de 30°, com Fator de Céu de 17% a leste e de 16%, a sul. Entre todas as condições analisadas, apenas no cânion 2/1, a contribuição da CC superou a contribuição do sol refletido, ficando ainda abaixo da contribuição da luz do céu refletida na maior parte do dia. Ver graficos 2 e 3.

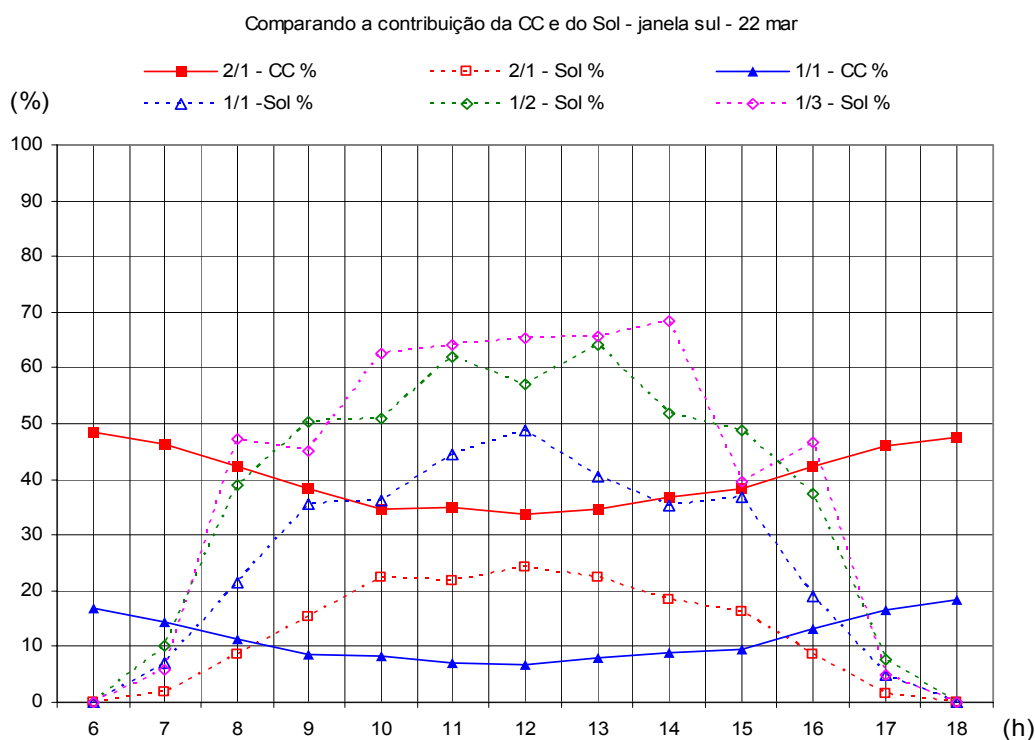


Gráfico 3 - Comparando a contribuição do sol refletido e da Componente de Céu, janela sul.

5. CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos, observou-se que nas condições do trópico úmido, as iluminâncias médias foram significativas, apesar dos baixos fatores de céu. A contribuição da luz do Sol e do céu refletidas para esse resultado foi de grande relevância, ficando demonstrada sua importância como recurso luminoso que precisa ser considerado no trópico úmido, onde os fatores de céu tendem a ser menores devido à necessidade de proteger aberturas.

Nas condições analisadas, concluiu-se que quanto maior o ângulo de obstrução vertical da janela, maior é a contribuição da luz refletida para a iluminância média do ambiente. Com ambientes localizados em cânions de grande altura, as reflexões do entorno, e em especial, a radiação solar refletida, devem ser consideradas como principal contribuição para as iluminâncias internas.

Quando na definição de instrumentos legais de controle do desenho urbano no trópico úmido, que visem ao aproveitamento da luz natural na edificação, considerar a luz refletida, e em especial a radiação solar refletida, significa dar maior atenção às refletâncias médias do entorno e a orientação das aberturas e das obstruções, considerando a geometria solar local. Assim sendo, métodos que levem em consideração apenas os ângulos de obstrução de céu são limitados para se atingir esse objetivo.

6. AGRADECIMENTO

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos, que possibilitou o desenvolvimento da dissertação de mestrado, da qual, o presente artigo é um dos desdobramentos.

7. BIBLIOGRAFIA

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. *Iluminação de interiores* (NBR 5413) ABR 1992, ABNT, 1992.

CABÚS, Ricardo C. *Tropical daylighting: predicting sky types and interior illuminance in north-east Brazil*. (PhD). Architecture, University of Sheffield, Sheffield, 2002.

_____. *Influência da luz refletida no solo na iluminação natural nos trópicos: comparando o desempenho de protetores solares*. I Encontro Latino Americano e X Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Paulo: ENTAC. 2004.

_____. *Troplux – manual do usuário*. Maceió: Grilu. 2005.

_____. *TropLux, versão 2.13*: Cabús, Ricardo, 2006.

CIE – Commission Internationale de l’Eclairage. KITTLER, Richard. *Spatial distribution of daylight – CIE Standard Universal Skies*. (CIE TC3-15) Draft Standard : 1999.

HOPKINSON, R. G., PETHERBRIDGE, P., LONGMORE, J. *Iluminação natural*. Trad. Antônio S. L. de Farias. 2 ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1975.

IES – Illuminating Engineering Society of North América. *Recommended practice for the calculation of daylight availability*. Journal of IES, July 1984.

NG, Edward. *Studies on daylight design and regulation of high-density residential housing in Hong Kong*. Lighting Research & Technology, v.35, n.2, p.127-139. 2002.

ROMERO, Marta A. B. *Arquitetura bioclimática do espaços público*. Brasília, ed. Universidade de Brasília, 2001.