

LIGHTSHELF

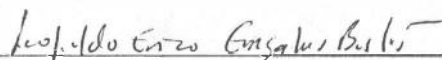
estudo da sua eficiência lumínica
através de simulação computacional

LIGHT SHELF: Estudo da sua Eficiência Lumínica através de Simulação Computacional

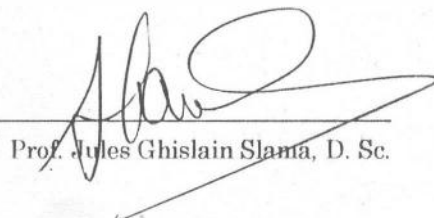
Eduardo Breviglieri Pereira de Castro

Dissertação submetida ao Corpo Docente da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação, da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Arquitetura.

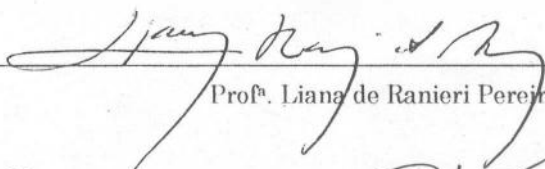
Aprovada por:



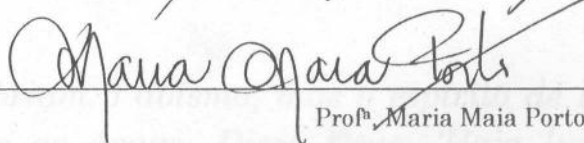
Prof. Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos, D. Sc. - Orientador da Tese



Prof. Jules Ghislain Slama, D. Sc.



Prof.ª Liana de Ranieri Pereira, D. Sc.



Prof.ª Maria Maia Porto, D. Sc.

Rio de Janeiro, RJ - Brasil

Agosto de 1996

RESUMO

LIGHT SHELF - Estudo da sua Eficácia em Leitura e
Pensamento Computacional.

Elaborado por: Dr. Leopoldo Xavier Gonçalves Junior

AGRADECIMENTOS

A todos aqueles que, ao longo de minha vida, colaboraram educacional, cultural e emocionalmente no desenvolvimento de minhas capacidades, e que por isso, de alguma forma, se tornam hoje co-responsáveis na existência deste trabalho. Um agradecimento especial à Adriana, minha esposa, pelo apoio silencioso e compreensivo, e ao Prof. Leopoldo, pela orientação tranquila e segura.

Dedico este trabalho à minha filha Jessica, que na inocência e energia de seus dois anos de vida, a cada dia me lembra que o grande objetivo a se alcançar é a compreensão gradual do mundo nos cerca.

RESUMO

LIGHT SHELF: Estudo da sua Eficiência Lumínica através de Simulação Computacional.

Orientador de Tese: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Comprovadamente, a imensa maioria das edificações erigidas pelo homem apresentam seus interiores iluminados através de aberturas verticais em suas fachadas, às quais denominamos “janelas”.

Uma análise destas janelas, demonstra uma série de características sempre presentes em todas as situações, muitas das quais infelizmente desfavoráveis em relação à sua utilização como fonte de luz para os ambientes internos. Uma destas características, é a enorme diferença entre os níveis de iluminação existentes próximos às aberturas e nos pontos mais internos do cômodo por ela iluminado, ou seja, uma má distribuição da luz natural no sentido longitudinal deste espaço interior.

Existe entretanto, uma série de elementos arquitetônicos que podem ser utilizados para melhorar esta condição de distribuição de luz natural no ambiente. É exatamente este o caso da “light shelf”, que além de comprovadamente eficiente na proteção contra insolação direta, concorre com a redistribuição da luz natural no interior das construções. Daí a importância do seu estudo e do desenvolvimento de ferramentas de cálculo de seus efeitos ainda na fase de projeto, objeto de grande interesse para o arquiteto e o engenheiro.

Este trabalho procura atingir tal objetivo, apresentando um programa de simulação para microcomputadores que permite comparar os iluminamentos resultantes em um ambiente iluminado através de uma janela exterior sem a presença e com a presença de uma lightshelf, e visualizar numérica e graficamente os resultados. Enfim, mensurando de forma mais científica, a eficiência deste elemento ainda tão pouco utilizado em nossas obras arquitetônicas.

ABSTRACT

LIGHT SHELF: A Study of its Luminous Efficiency through Computer Simulation Process.

Thesis Supervisor: Leopoldo Eurico Gonçalves Bastos

Undoubtly, the imense majority of buildings have their enclosures illuminated through vertical openings in their facades, known as "windows".

An analysis of these windows, show us a series of characteristics present in all situations, many of that very unfavorable related to its utilization as light sources for inner spaces. One of these characteristics, is the enormous diference between ilumination levels near the apertures and deeper in the room illuminated by that aperture, i.e., the poor natural light distribution in a longitudinal section of that room.

However, there are many architectural elements which can be used to improve this natural light distribution. This is exactly the case of a "lightshelf", which demonstrates a proved efficiency in direct insolation protection and natural light redistribution in building interiors. So, it is very important to study this element and to the develop tools to calculate its effects in the early phases of the architectural process, which is of great interest to architects and engineers.

This work tries to colaborate in the solution of this problem, presenting a microcomputer simulation program which allows the user compare resulting illuminating levels in a room lightned through an exterior vertical window, with and without the presence of a lightshelf, and visualize the results in a numerically and grafically way. So, helping to measure in a cientifically way, the efficiency of this so far subutilized element in our archictectural production.

ÍNDICE



INTRODUÇÃO

1



CAPÍTULO I A Luz Natural

- ◆ O espectro Eletromagnético 8
- ◆ Medidas da Luz 9
- ◆ Classificação das Fontes de Luz 11
- ◆ Luz e Visão 12
- ◆ Visão e Conforto Visual 14
- ◆ Sol e Céu como Fontes de Luz Natural 15
- ◆ Tipos de Céu 16
- ◆ Rendimento Luminoso da Luz Natural 21



CAPÍTULO II A Luz Natural e sua Disponibilidade

- ◆ Componentes da Luz Natural 22
- ◆ O Modelo de Dogniaux 24



CAPÍTULO III O Elemento Arquitetônico Lightshelf

- ◆ Descrição do Elemento Arquitetônico 35
- ◆ O Funcionamento de uma Lightshelf 37
- ◆ Diretrizes para Utilização de uma lightshelf 40



CAPÍTULO IV O Cálculo do Iluminamento Interior

- ◆ Métodos de Cálculo 44
- ◆ Plano de Referência e Ponto de Referência 46
- ◆ Fator de Céu 47

♦ Fator-Z	48
♦ Efeito de Vidros e Caixilhos das Janelas	49
♦ Fator de Configuração	51
♦ Cálculo do Iluminamento Interior de uma Sala	53



CAPÍTULO V O Software de Simulação

♦ Descrição Geral do Sistema	57
♦ Descrição Detalhada do Programa	59
♦ Limitações do Software	80



CAPÍTULO VI Simulações e Resultados

♦ Radiação Total incidente sobre um Plano Horizontal	81
♦ Iluminamento Interno sobre um Plano Horizontal	85



CONCLUSÃO



BIBLIOGRAFIA



ANEXOS

INTRODUÇÃO

A história do homem está intimamente ligada à história da arquitetura. Não porque obviamente a arquitetura é obra humana, mas principalmente porque podemos traçar um paralelo entre a sua evolução e o nosso crescente domínio sobre a natureza. É interessante notar que à medida que o homem foi evoluindo e as sociedades humanas iam se tornando cada vez mais complexas, as construções erigidas foram também se tornando mais e mais contextualizadas, adaptando-se e apresentando soluções novas para os novos problemas que iam surgindo. O trabalho da arqueologia demonstra claramente este ponto. Através do estudo criterioso de uma antiga habitação, por exemplo, pode-se dizer com certa precisão o tipo de gente que morava ali, quantos componentes possuía a família ou clã, o que comiam, suas ocupações, e assim por diante. A arquitetura era um reflexo do estilo de vida que levavam.

Na realidade, a arquitetura ainda é um reflexo de nossas vidas. A enorme diferença entre o número de pontos de força elétrica de uma edificação recente e de uma edificada a apenas uns poucos anos atrás, demonstra o fato com clareza. A crescente utilização de aparelhos eletrodomésticos é um fato incontestável de nosso estilo de vida atual, e programas arquitetônicos mais antigos, que não levavam em conta a presença maçica destes artefatos em nossas residências, logo se tornaram indesejáveis e prontamente foram substituídos por outros mais adequados à época atual. Da mesma maneira, a arquitetura de cada época apresentou suas próprias dificuldades de adaptação ao seu tempo, e isto pode ser especificamente notado em relação à iluminação dos cômodos internos da construção, ponto de interesse deste estudo.

Os pesquisadores da área de Conforto Ambiental, muito têm escrito a respeito da arquitetura original desenvolvida por povos de regiões onde predominam os extremos climáticos, citando-os como exemplos de boa adaptação entre as edificações e o entorno. Entretanto, sob o aspecto da iluminação natural em ambientes residenciais, esta “arquitetura tradicional” nunca se mostrou muito eficaz. Uma descrição das habitações comuns da idade média nos é dada por Ariès:¹

“No final do século XII, os maiores feudais apenas começavam a descobrir a horrível tristeza das habitações, tão mal iluminadas e arejadas, que se amontoam com sua família e seus servidores na mais estranha promiscuidade”.

Sabendo-se que o homem da idade média vivia sob o domínio quase absoluto das forças da natureza, não possuindo grandes recursos tecnológicos, era de se esperar que se utilizasse mais da fonte de luz gratuita que é o sol. Entretanto, percebe-se que a pouca tecnologia de iluminação natural disponível na época só foi amplamente utilizada nas catedrais góticas, onde a luz penetrante apresentava uma interpretação simbólica clara segundo o pensamento cristão da época. Conforme Janson²:

“(..) a *miraculosa* luz inundando a capela-mor através das *sacratíssimas* janelas torna-se a Luz Divina, uma revelação mística do espírito de Deus”.

¹ Ariès, P. (1992) v.2 p. 405

² Janson, H. W. (1994) p. 302

Excetuando-se esta utilização, uma outra descrição, feita pelo prior de um pequeno vilarejo francês do século XVII, mostra que houve pouca melhora nas condições de iluminação residencial nos 5 séculos seguintes:

“(…) Deveriam abrir suas casas com grandes janelas para dar-lhes ar, uma vez que são escuras e mais adequadas a servir de calabouço para criminosos que de moradas para pessoas livres”.³

Um salto histórico de mais dois séculos não nos apresenta ainda uma melhora significativa nestas condições:

“Na maior parte das construções de 1860-1880, sobretudo em Paris, a peça tomada como sala de jantar, espaço de sociabilidade, dá para pátios internos sombrios e estreitos.”⁴

Numa análise mais profunda, percebe-se o porquê da predominância de tão mal iluminados ambientes durante toda a história. As prioridades de cada partido arquitetônico devem variar conforme as necessidades mais prementes existentes no local e tempo em que a edificação é erguida. Na idade média, época de grande instabilidade política e insegurança física, é pouco provável que os senhores feudais se preocupassem com níveis de iluminação interiores, diante do perigo constante de ataque às suas moradias. A única solução disponível na época era prover os castelos de aberturas pequenas e em pequena quantidade, mesmo que isto representasse um menor conforto lumínico.

Em outros tempos menos violentos, e diante de condições climáticas adversas, a prioridade naturalmente passou a ser a obtenção

³ Ariès, P. (1992) v.3 p. 511

⁴ Ariès, P. (1992) v.3 p. 333

de conforto térmico, sob pena de tornar a construção inabitável, e daí os tamanhos das aberturas serem condicionados então não pela quantidade de luz necessária interiormente, mas pelo seu comportamento perante as transferências de calor entre o exterior e o interior. Não devemos esquecer ainda, que as atividades humanas até o início do século XX eram em sua maioria realizadas em espaço aberto, pois a população predominante era a rural. E isto vale tanto para o ocidente quanto para as outras regiões do planeta.

Vemos portanto, que estes exemplos de “arquitetura tradicional”, se prestam muito mais como paradigmas de conforto térmico do que modelos de aproveitamento eficiente da luz proveniente do sol, não apresentando soluções para utilização de iluminação natural compatíveis ao estilo de vida moderno existente nas grandes cidades.

A industrialização maçica ocorrida do final do século XIX e particularmente durante o século XX, mudou radicalmente a maneira de viver do homem, e com isto novos requisitos surgiram e se impuseram à arquitetura. A maioria da população não se dedica mais à atividades agrárias, e grande parte dela ganha a vida com atividades desenvolvidas totalmente dentro de ambientes artificiais fechados construídos pelo homem. Do mesmo modo, as tarefas se tornaram cada vez mais complexas e demandam altos iluminamentos para que sejam realizadas com eficácia.

Durante algum tempo, resolveu-se esta necessidade de altos índices de iluminação com a adoção de quantidade cada vez maior de luz artificial nos ambientes, simplesmente ignorando preceitos básicos de arquitetura como orientação de fachadas, e sem levar em consideração a luz natural disponível no local. Simultaneamente, o mesmo aconteceu em relação ao conforto térmico, em que a solução adotada quase sempre baseou-se nos equipamentos eletromecânicos de refrigeração,

aquecimento e/ou condicionamento de ar. Resolvidos desta forma estes dois problemas básicos de conforto, os arquitetos acreditaram estar liberados de duas grandes restrições à sua criatividade, e eliminado desta forma o fator “localização geográfica” em suas obras. Proliferou-se então um estilo muito apreciado dos meados do século XX em diante, da qual existem exemplos em qualquer cidade de porte do mundo, que ficou conhecido como “Estilo Internacional”.

O Estilo Internacional, com suas grandes fachadas em pele de vidro e o imenso aparato tecnológico necessário à manutenção das condições de conforto, obviamente era e ainda é (pois ainda é regra construir-se sob estes preceitos arquitetônicos) grande devorador de energia. O programa básico de uma edificação planejada sob este estilo é simplesmente ignorar o entorno e prover soluções tecnológicas de cunho mecanicista para o problema do conforto. Esta metodologia de projeto se espalhou rapidamente pelo mundo e não foi questionada até a deflagração da crise do petróleo em 1973.

Com a elevação súbita dos custos de aquecimento e refrigeração das edificações, a utilização de equipamentos energeticamente vorazes para manutenção de níveis de conforto já não era mais viável, e o estudo de soluções alternativas começou a se desenvolver. O restante da década de 70 foi um período de experiências, muitas delas radicais, e de certa forma a base científica e tecnológica para uma nova arquitetura foi estabelecida naqueles anos. Mas foi somente a partir da década de 80, com a explosão do movimento ecológico e a conscientização do grande público para a preservação dos recursos naturais do planeta, que a necessidade de se repensar em grande escala o papel da arquitetura se estabeleceu. Aliou-se a isto o fato de terem surgido nesta época os primeiros computadores de mesa, com preços acessíveis e razoável poder de processamento, indispensáveis para a simulação e realização dos

cálculos necessários à otimização das edificações. Com esta ferramenta, os arquitetos e engenheiros puderam desenvolver programas e métodos de avaliação criteriosa para todo tipo de estrutura e elemento construtivo, eliminando o empirismo e evitando os altos custos envolvidos na produção de protótipos físicos. Desta forma vêm encontrando várias soluções de como resguardar o conforto, utilizando-se ao máximo as disponibilidades energéticas naturais da região, como luz natural, ventos, insolação.

Dentro deste contexto tecnológico, desenvolveu-se ao longo dos últimos anos uma série de soluções arquitetônicas buscando otimizar a utilização destes recursos naturais renováveis pelas habitações humanas. Grande parte destas novas tecnologias permanece entretanto completamente desconhecida da indústria da construção em geral, e até mesmo da maioria dos arquitetos e engenheiros envolvidos em projetos de edificações e instalações prediais. Surgidas geralmente no seio de instituições governamentais de diversos países, estas novas tecnologias ainda permanecem com um cunho experimental e raramente extrapolam a área de pesquisa. É tarefa da sociedade e dos arquitetos em particular, resgatar agora este conhecimento e utiliza-lo de forma incisiva nas edificações em fase de projeto.

Dentro deste espírito, este trabalho pretende não se ater a um estudo puramente teórico do funcionamento, utilização e método de cálculo de uma destas novas tecnologias - a *lightsheif* -, o que é feito nos primeiros quatro capítulos, mas também servir de fonte de consulta, juntamente com outros trabalhos semelhantes, a profissionais que se interessem pela aplicação deste recurso em suas obras e projetos. Além disso, e seguindo esta mesma intenção, o programa computacional de simulação apresentado como parte do trabalho, procurou ser desenvolvido visando não apenas a utilização pelo especialista, mas por

qualquer arquiteto interessado em conhecer os efeitos da orientação e da utilização da lightshelf em um projeto de iluminação natural. Sem se esquecer da precisão na metodologia e cálculos efetuados, a interface com o usuário sempre esteve entre as prioridades do projeto do software, exatamente para que não se tornasse apenas uma ferramenta de pesquisa teórica, mas principalmente uma ferramenta a ser utilizada no dia a dia do projetista.

Os capítulos finais deste trabalho, onde são descritos o software de simulação e os resultados encontrados para exemplos de simulações efetuadas, demonstram a vantagem de se utilizar de lightshelves em edificações que pretendam aproveitar a luz natural como fonte principal ou secundária do seu sistema de iluminação. Espera-se mostrar da mesma maneira, que com a utilização do software, o trabalho dispendido nas simulações é mínimo se comparado com os grandes ganhos obtidos na melhoria do conforto lumínico dentro das edificações. Numa época onde se discute insistentemente a redução do consumo energético e a melhoria das condições de saúde do homem, este pequeno esforço na fase de projeto pode se tornar uma das atividades mais vantajosas em termos de relação custo/benefício da edificação.

E, não menos importante, o aumento da utilização da luz natural no ambiente, resgata para o usuário um certo conforto psicológico que só as condições naturais são capazes de oferecer. Tornando desta forma a permanência em ambientes fechados, tão agradável quanto possível, nesta civilização que já criou para si ambientes de aço, vidro e concreto em demasia.



1.1 - O Espectro Eletromagnético

O ser humano está constantemente exposto a uma ampla variedade de fontes naturais ou artificiais, as quais emitem energia em várias bandas do espectro eletromagnético. A luz visível se constitui tão somente na pequena fração deste espectro à qual são sensíveis os olhos, e portanto, utilizada pela visão humana. Sob este aspecto puramente físico, a energia luminosa não é diferente de ondas de rádio, calor, ou raios-X. Todas são compostas de ondas eletromagnéticas irradiantes, que se comportam de maneira semelhante perante obstáculos e interferências.

Mais especificamente, o que percebemos como luz visível é a faixa de radiação que possui comprimentos de onda entre $3,8 \times 10^{-7}$ m a $7,6 \times 10^{-7}$ m, e que representa cerca de 50% de toda a radiação emitida pelo sol, ou seja, do espectro solar total. Os outros 50% emitidos pelo sol são representados por uma pequena quantidade de radiação ultravioleta e o restante (45% aproximadamente) de radiação infravermelha. No espectro visível, os comprimentos de onda mais estreitos correspondem ao violeta profundo enquanto os mais longos, ao vermelho profundo. O olho humano possui a sua maior sensibilidade para radiações de comprimento de onda de 555 nm ($5,5 \times 10^{-7}$ m), que para nós corresponde à sensação de um amarelo similar à da luz solar.

O espectro eletromagnético total é bem mais amplo, as ondas variando de comprimento entre 1×10^{-15} m, correspondendo aos raios

cósmicos, até $1,07 \times 10^8$ m, representadas pelas ondas de rádio. O espectro eletromagnético da luz visível representa pois, cerca de 1,9% do espectro total existente, conforme pode ser observado na figura 1.

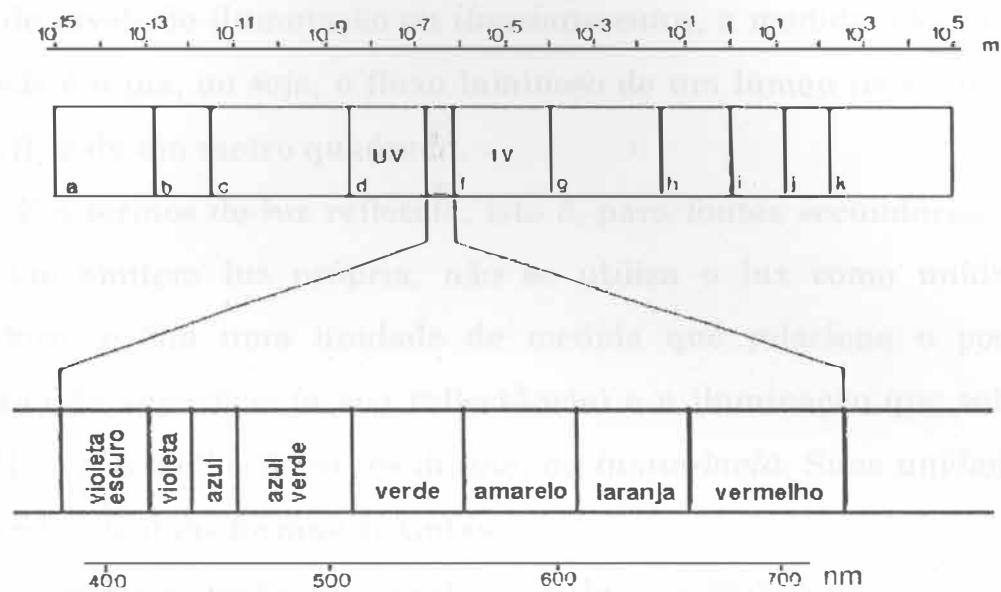


figura 1 - O espectro eletromagnético

1.2 - Medidas da Luz

A *intensidade* de uma fonte luminosa se mede em candelas (cd). Esta é a unidade básica reconhecida pelo Sistema Internacional, e é definida como a intensidade de um corpo negro emissor uniforme de 1/60 cm² na temperatura de fusão da platina. Todas as demais unidades utilizadas em iluminação derivam desta.

Mede-se a energia radiante visível pelo ritmo de transferência de energia percebido pelos órgãos humanos da visão. Este fluxo luminoso produzido pela fonte luminosa, é expresso em lúmens (lm), o qual é definido como o fluxo produzido por uma fonte pontual de 1 cd em um

ângulo sólido de valor unitário. Como a superfície de uma esfera compreende 4π ($=12,56$) unidades de ângulo sólido, uma fonte pontual de 1 cd emitirá portanto um total de 12,56 lm em todas as direções.

Em se tratando da distribuição de luz sobre uma superfície, ou seja, de níveis de iluminação ou *iluminamentos*, a medida adotada como unidade é o lux, ou seja, o fluxo luminoso de um lúmen incidente numa superfície de um metro quadrado.

Em termos de luz refletida, isto é, para fontes secundárias de luz que não emitem luz própria, não se utiliza o lux como unidade de grandeza, e sim uma unidade de medida que relaciona o poder de reflexão da superfície (a sua reflectância) e a iluminação que sobre ela incide, com o brilho físico resultante, ou *luminância*. Suas unidades são deduzidas de duas formas distintas:

A primeira parte da consideração de uma fonte luminosa de 1 m^2 e intensidade de 1 cd. A luminância desta superfície é portanto, de 1 cd/m^2 .

A segunda dedução parte do princípio de uma superfície perfeitamente difusora e de reflectância igual a 1, submetida a um iluminamento de 1 lux. A luminância desta superfície é de um Apostilb ou Blondel.

Como exemplo, pode-se apresentar a seguinte situação: uma fonte luminosa emite um fluxo luminoso de um lúmen que é totalmente interceptado por uma superfície material qualquer que possui uma reflectância de 50%. Se área iluminada apresentar exatamente 1 metro quadrado, podemos dizer que o iluminamento na superfície é de 1 lux, e que a luminância desta superfície é de 0,5 apostilb.

1.3 - Classificação das Fontes de Luz

A classificação das fontes de luz natural, segue as mesmas regras das fontes de luz em geral, e dependem basicamente do seu aspecto em relação a um observador. Assim, podem ser basicamente: pontuais ou extensas.

Devido à sua grande distância, o Sol pode ser considerado como uma fonte pontual para um observador na superfície terrestre, apesar de seu grande tamanho físico. O céu, ao contrário, exemplifica perfeitamente uma fonte luminosa extensa, para aquele mesmo observador.

Uma das características mais importantes entre as duas diferentes tipologias de fontes luminosas, são as sombras produzidas por elas. Uma fonte pontual produz uma única e nítida sombra do objeto iluminado, na direção contrária ao do sentido de propagação da luz. Uma fonte extensa, entretanto, tende a produzir sombras mais suaves e em direções diversas.

O tipo de fluxo emitido também serve de parâmetro de classificação. As fontes direcionadas, emitem raios luminosos paralelos entre si ou convergentes, enquanto as fontes difusas, emitem um fluxo omnidirecional, ou seja, não possui um fluxo coerente para uma determinada direção. Segundo esta classificação, o Sol representa uma fonte de fluxo direcionado em relação à terra, pois para efeitos práticos, seus raios podem ser considerados paralelos para pontos situados na superfície do planeta. De modo contrário, o céu, particularmente o céu totalmente encoberto, serve de exemplo como uma fonte de luz difusa para pontos expostos à abóbada terrestre.

1.4 - Luz e Visão

Os órgãos humanos da visão são constituídos de uma série de componentes orgânicos, cada qual com sua função específica, entre os quais podemos citar:

- Olho: é uma estrutura complexa, cujo funcionamento é semelhante a de uma câmera, focalizando os raios luminosos na sua região posterior, denominada retina.
- Retina: região posterior do globo ocular, composta de receptores denominados cones, responsáveis pela visão em condições normais de luz e pela distinção de cores, e bastonetes, responsáveis pela visão em condições de pouca luz ambiente. É na retina, através de reações fotoquímicas, que a luz é transformada em sinais elétricos interpretáveis pelo cérebro humano.
- Nervo Ótico: é o ponto final onde se reúnem os terminais nervosos ligados aos cones e bastonetes da retina, e o ponto inicial de transmissão dos sinais elétricos ao cérebro.
- Quiasma Visual: é o ponto de chegada dos sinais elétricos da visão dentro do cérebro.
- Trato Ótico: é a região do cérebro onde a visão é tratada e manipulada. A região posterior do trato ótico é denominada córtex visual e é neste ponto onde os impulsos elétricos resultantes da sensação visual são compreendidos e traduzidos.

A sensação visual varia muito do dia para a noite, alterando a nossa acuidade, ou seja, o grau de definição das imagens. À visão diurna dá-se o nome de Visão Fotópica e à visão noturna, de Visão Escotópica.

Durante a visão escotópica, a resposta visual do olho se modifica, com o pico da sensibilidade movendo-se do comprimento de onda de 555 nm (visão diurna) para 505 nm (figura 2).

O olho humano precisa de um período de adaptação de aproximadamente 60 minutos, para que da visão diurna passe a trabalhar com toda eficiência em níveis escotópicos de visão, na escuridão total⁵. Pode-se afirmar porém, que uma adaptação de 70% acontece num período de 90 segundos, quando a diferença de claridade entre o ambiente externo e o interno é da ordem de 100:1, e de alguns minutos quando esta diferença for de 1000:1, valores estes muito mais próximos dos que ocorrem na prática do arquiteto⁶.

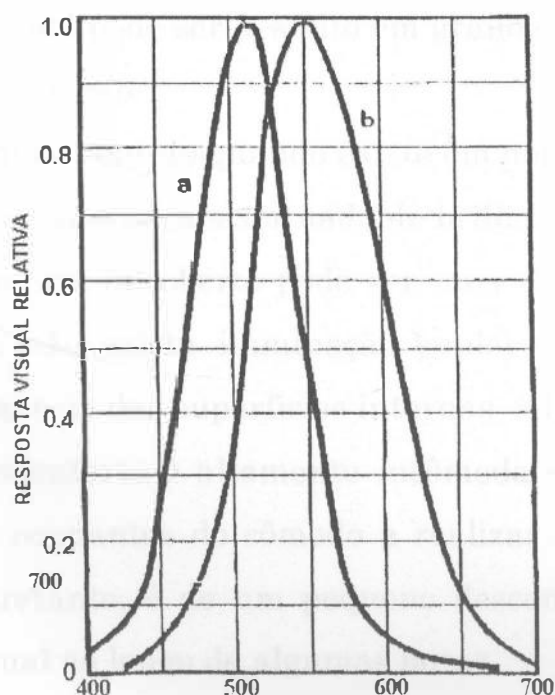


figura 2 - Curvas de sensibilidade ocular
a) Visão Escotópica, b) Visão Fotópica
obs: valores em nanômetros

⁵ Robbins, C. L. (1986) p. 22

⁶ Robbins, C. L. (1986) p. 23

Um bom conhecimento dessas características e limitações do olho humano são de extrema importância para o arquiteto pois deve ser um fator determinante de projeto prover os ambientes internos com condições de iluminação não muito diferentes umas das outras, de modo a evitar que os olhos tenham de se adaptar continuamente a estes diferentes níveis de iluminação. De outro modo, o usuário sofrerá de cansaço visual em pouco tempo, e até mesmo poderá ficar totalmente inabilitado para executar tarefas visuais durante o período de adaptação.

1.5 - Visão e Conforto Visual

O conforto visual pode ser descrito em grande parte pelos conceitos de ofuscamento e contraste.

O ofuscamento é sentido quando existe em dois pontos distantes do campo de visão uma diferença acentuada de brilho. Uma pequena janela com vista para um céu encoberto pode ser uma causa de ofuscamento, caso no ambiente não exista iluminação suplementar suficiente para aproximar a luminância das superfícies internas à luminância da janela. A sensação de desconforto é altamente incômoda e pode atingir níveis que inabilitem os ocupantes do cômodo a realizar suas tarefas. O caso mais comum, entretanto, é de um pequeno desconforto que acaba por trazer cansaço visual ao longo de algumas horas.

O ofuscamento é de longe o principal problema encontrado ao se projetar sistemas de iluminação natural, pois de uma maneira geral, a iluminação de ambientes através de aberturas laterais normalmente só consegue manter níveis de iluminação próximos aos externos, numa região próxima à própria janela. Se o ocupante se posiciona dentro deste

ambiente de modo que possa enxergar ao mesmo tempo o fundo (mais escuro) do cômodo e o céu brilhante (através da janela), torna-se muito grande a chance de sentir o ofuscamento.

A falta de contraste entre diversas superfícies alinhadas ao campo ótico, é a outra causa de desconforto visual. O contraste, na realidade, é fundamental para que o cérebro consiga decifrar características importantes do ambiente, como profundidade e textura. O desconforto causado pela sua ausência pode ser sentido ao se tentar enxergar um objeto branco diante de fundo também branco e brilhante. De uma maneira geral, entretanto, problemas com ausência de contraste não são comuns ao uso de iluminação natural, devido ao fato do Sol estar sempre se movimentando e proporcionando o aparecimento de sombras no ambiente. Em alguns casos de iluminação zenital com condições de céu encoberto, onde as sombras são muito suaves ou praticamente inexistentes, pode-se perceber o problema, mas são ocorrências muito raras devido também ao fato de grande parte das superfícies internas dos cômodos apresentarem sempre uma diferença de tonalidade e cor que favorecem a diferenciação das luminâncias.

1.6 - Sol e Céu como fontes de Luz Natural

As fontes de luz natural que podem ser utilizadas na iluminação de uma edificação são divididas em dois tipos distintos. Apesar da fonte primária ser única, o Sol, em termos de efeito visual a luz natural varia muito se proveniente diretamente do disco solar ou se proveniente do céu.

A luz proveniente do sol, é uma luz direcionada, de raios paralelos (para efeitos práticos de projeto), e de grande intensidade. Os

iluminamentos por ela proporcionados, são sempre superiores aos necessários à execução de tarefas corriqueiras, e nem sempre ela é desejada dentro dos ambientes, devido à sua direcionalidade e aos efeitos térmicos envolvidos.

A luz proveniente do céu é uma luz difusa, com intensidades médias não superiores a 20.000 lux, e normalmente é mais agradável dentro de um ambiente do que a luz direta do sol, se for provida em quantidade suficiente. Pode ser emitida pelo céu claro, pelo céu encoberto, e parte do tempo para o céu variável.

1.7 - Tipos de Céu

As maneiras como o céu se apresenta podem ser simplificadas em três condições básicas: céu claro sem núvens, céu variável ou parcialmente encoberto, e céu encoberto.

O estudo destas três condições de céu, é o primeiro passo para a determinação da disponibilidade de luz natural numa dada localidade.

1.7.1 - O Céu Claro

Definido como o tipo de céu que tem menos de 30% de encobrimento por núvens, o céu claro foi estudado em diversas partes do mundo através de medições da sua distribuição de luminâncias, e foi constatado que, em dias sem núvens, esta distribuição pode ser calculada com razoável exatidão, através da fórmula deduzida por Pokrowski⁷:

⁷ Hopkinson, R. G. (1966) p. 54

$$B_0 = B_z (1 - e^{-P/\sin\theta})((1 + \cos^2\alpha / 1 - \cos^2\alpha) + K) \quad \text{onde:}$$

- B_0 = a luminância do céu, num dado ponto, a um ângulo de altura θ acima do horizonte, em cd/m^2 ;
- B_z = luminância no zênite
- α = distância angular do ponto em relação ao sol
- P = coeficiente de dispersão primária da luz devido a pequenas partículas da atmosfera, normalmente assumindo o valor 0,32
- K = coeficiente de dispersão secundária da luz devido a grandes partículas da atmosfera, assumindo valores que vão de 0 a 5.

O grau de difusão da luz solar na atmosfera varia com a quantidade de poeira, umidade e outras partículas em suspensão no ar, e esta correção na fórmula é obtida através das variáveis P e K , conforme o tamanho das partículas.

Em termos visuais, esta distribuição de luminâncias representa uma maior luminosidade em regiões mais próximas do horizonte que no zênite da abóboda celeste.

Graficamente, a distribuição de luminâncias num céu claro pode ser observado pelo exemplo da figura 3, que apresenta o aspecto do céu da cidade de Estocolmo, Suécia, em 2 de outubro de 1953. Observa-se que a luminosidade do céu tem seu menor valor na região do mesmo situada num ângulo de 90 graus da posição onde se encontra o sol. A região circundante ao disco solar apresenta luminâncias extremamente altas, e nas outras regiões a luminância varia relativamente pouco. A unidade de luminância utilizada no gráfico é o Blondel.

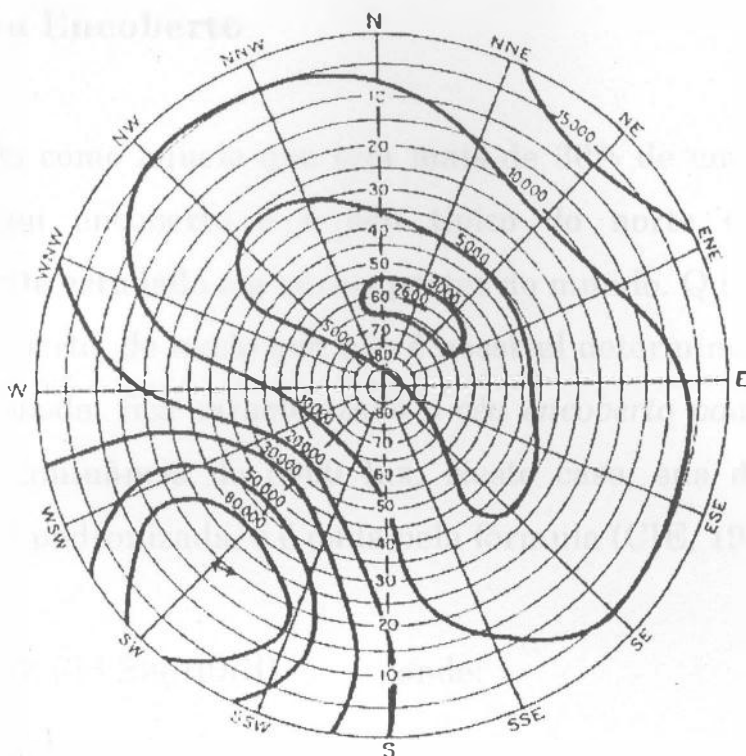


figura 3 - *Exemplo de Distribuição de Luminâncias para Céu Claro*

Devido a este fato, na prática, para efeito de cálculo teórico da quantidade de luz proveniente do céu claro, pode-se considerar que o trecho de céu limpo do lado oposto ao da posição do Sol e ao meio dia, apresenta sempre uma distribuição de luminância uniforme. Resta ainda ao pesquisador a opção de se levar em conta ou não a alta luminância do céu próximo à região do sol, e consequentemente à própria luz solar direta nos cálculos de iluminação natural. O Modelo Teórico de Dogniaux⁸, que será estudado no capítulo III, considera que a luz do sol direta constitui uma parte essencial da quantidade de luz natural e não deve ser excluída. Esta posição é a que foi adotada neste trabalho.

⁸ Dogniaux, R. (1992) p. 3

1.7.2 - O Céu Encoberto

Definido como aquele que tem mais de 30% de encobrimento por núvens, o céu encoberto é o céu típico do norte europeu, e foi exaustivamente estudado em várias partes do mundo. Quando o céu está totalmente coberto, de modo que não é possível determinar a localização do sol na abóboda, fica caracterizado o *céu encoberto padrão CIE*,⁹ que possui uma luminância de 5000 lux. Neste caso, sua distribuição de luminâncias é padronizada, e é dada pela fórmula (CIE, 1955):

$$B_{\theta} = B_z (1 + 2 \sin \theta / 3) \quad \text{onde:}$$

- B_{θ} = a luminância do céu, num dado ponto, a um ângulo de altura θ acima do horizonte, em cd/m^2 ;
- B_z = luminância no zênite

Graficamente, o aspecto da distribuição de luminâncias num céu encoberto pode ser observado na figura 4, que apresenta um exemplo de medição deste tipo de céu, realizada em Estocolmo, Suécia, 1953. Observa-se claramente que a luminosidade é praticamente constante para uma mesma faixa horizontal da abóboda celeste (mesmo ângulo em relação ao horizonte).

Na prática, o valor de 5000 lux estabelecido pela CIE não se verifica com frequência, apresentando na maioria das regiões um valor muito mais alto, principalmente em países tropicais como o Brasil, permanecendo, entretanto, a distribuição relativa de luminâncias. Da mesma forma, um céu totalmente encoberto apresentando exatamente estas condições também dificilmente ocorre na realidade.

⁹ Robbins, C. L. (1986) p. 35

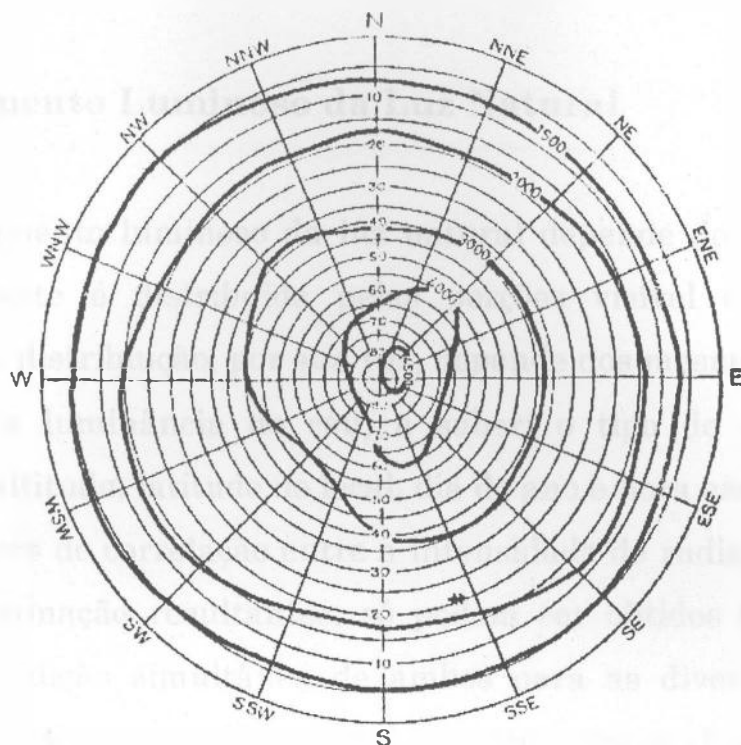


figura 4 - *Distribuição de Luminâncias para Céu Encoberto*

1.7.3 - O Céu Variável

Este tipo de céu é o mais comum em regiões subtropicais. Como o próprio nome diz, seu aspecto varia constantemente, alternando períodos em que predomina a insolação direta do sol, com períodos de leve enevoamento ou mesmo céu encoberto.

A presença de núvens espessas de grande luminância, ou de núvens ralas através das quais a luz solar direta atravessa em grande quantidade, faz com que este tipo de céu produza iluminamentos intermediários entre os do céu claro com presença de Sol e os do céu encoberto.

1.8 - Rendimento Luminoso da Luz Natural

O rendimento luminoso da luz natural depende do modo como a energia radiante é distribuída pelas porções visível e invisível do espectro. Esta distribuição, por sua vez, depende dos mesmos fatores que determinam a luminância do céu, a saber: o tipo de céu, turbidez atmosférica, altitude, latitude do local, dia do ano e hora em questão.

Os fatores de correlação entre a intensidade de radiação solar e os níveis de iluminação resultantes, só podem ser obtidos com precisão, através da medição simultânea de ambos para as diversas condições possíveis de ocorrência. Estudos deste tipo realizados por Pleijel, Blackwell, Dogniaux e Moon¹⁰, demonstraram que tanto para o céu limpo quanto para o céu encoberto, o rendimento luminoso da radiação solar varia pouco com a altura solar, e portanto com a hora do dia e a época do ano. Todos os resultados indicam uma variação entre 90 lm/W e 130 lm/W, dependendo apenas do tipo de céu existente. Neste trabalho adotou-se os seguintes valores, calculados por Dogniaux¹¹, para o rendimento luminoso de cada um dos tipos de céu analisados:

- Céu Claro = 106,97 lm/W
- Céu Médio ou Variável = $126,08 - 51,38 f\sigma_h + 32,27 f\sigma_h^2$ lm/W
- Céu encoberto = 126,08 lm/W

onde $f\sigma_h$ é a fração da insolação horária média.



¹⁰ Hopkinson, R. G. (1966) p. 67-69

¹¹ Dogniaux, R. (1992) p. 3

2.1 - Componentes da Luz Natural

“A Iluminação natural num interior pode exprimir-se, ou em termos absolutos como um valor de iluminação em lúmens por metro quadrado, ou como uma porcentagem da iluminação total da luz natural, obtendo-se esta a partir do céu inteiramente limpo, isto é, como um Fator de Luz do Dia.”¹²

Neste trabalho, levou-se em conta principalmente a quantidade absoluta de luz que penetra em um ambiente, ou seja, os resultados encontrados e as medidas de eficiência e performance são expressos em lux ou em diferenças de lux. Isto porque para determinação do Fator de Luz do dia (FLD), por definição não é considerada nos cálculos a luz solar direta, o que seria irreal no caso do estudo de edificações situadas em regiões como a da cidade do Rio de Janeiro, onde esta fração da luz natural é muito significativa em grande parte do ano. Desta forma, priorizou-se o estudo da disponibilidade da luz natural, em termos de valores absolutos, e não em FLD.

Independente de como é expressa, a iluminação proveniente do céu e Sol, atingindo um determinado ponto de referência dentro de uma edificação, dependerá da parte do céu que pode se vislumbrar através da abertura para este dado ponto. Assim, além das condições do céu e posição do Sol para um dado instante, o cálculo da iluminação natural e

¹² Hopkinson, R. G. (1966) p. 81

consequentemente das componentes de iluminação natural, são função também do formato da abertura e sua localização no cômodo.

Estas componentes são divisões teóricas da luz proveniente do sol, conforme as suas trajetórias desde o espaço, através da atmosfera terrestre até o solo, e posteriormente sua reflexão até dentro da edificação.

Desta forma, temos como primeira componente, a luz direta do Sol que não é barrada por nenhum obstáculo e atinge diretamente o ponto de estudo.

A segunda componente é a luz difusa do céu, resultante da difusão de raios solares nas partículas e moléculas da atmosfera terrestre.

Para efeito de cálculo da luz incidente no interior de um ambiente, calcula-se quanto destas duas componentes atingem um ponto qualquer de estudo, acrescido de mais duas componentes, a saber: a Componente Refletida Externa, que é a quantidade de luz refletida no entorno e que atinge o ponto e a Componente Refletida Interna, que é a quantidade de luz que penetra no ambiente (resultado das outras componentes) e não atinge diretamente o ponto em estudo, mas é refletida nas outras superfícies internas e posteriormente vai atingi-lo.

A quantidade de luz que cada uma destas componentes contribui no iluminamentos do ponto interior é em última análise consequência de variáveis diversas, como o tipo de céu, turbidez atmosférica, altitude, latitude do local, dia do ano e hora em questão, características das superfícies internas (materiais e refletâncias), obstáculos externos e internos, e outras. Trataremos no próximo item deste Capítulo, do método de predição das três primeiras componentes, e no Capítulo IV do cálculo da Componente Refletida Interna.

2.2 - O Modelo de Dogniaux

2.2.1 - Modelos Teóricos de Predição

Nos cálculos de iluminação natural, a maior dificuldade encontrada é a de se estabelecer teoricamente, as condições de céu e disponibilidade de Sol, para um dado local ou região. Isto porque a luz natural tem como uma de suas características a grande variabilidade, e o número de variáveis envolvidas é muito grande e extremamente difícil de ser levantado com precisão. Nas palavras de Robbins¹³:

“The amount of exterior illuminance available for daylighting has the greatest potential for uncertainty of any value used in daylighting calculations. Without some knowledge of the daylight resource that can be expected at any given time in the given locale, it is virtually impossible to analyze daylighting systems in terms of lighting and building energy performance characteristics over time.”

Uma solução para este problema é a medição detalhada da disponibilidade de luz natural para um certo local, de modo que de posse destes dados possa-se estabelecer um modelo estatístico preciso para as condições de céu e sol ao longo de todo o ano. Os modelos assim construídos são conhecidos como *Modelos Locais Específicos*, e apesar de muito eficientes na predição das condições do local de estudo, apresentam o inconveniente de não poderem ser utilizados como uma metodologia genérica de cálculo, e portanto não são disponibilizados em forma de ábacos, tabelas ou código de programa para computadores.

¹³ Robbins, C. L. (1986) p. 157

Uma abordagem mais simples que a dos modelos locais específicos, e muito mais útil em termos de predição genérica da luz natural, é a utilizada nos chamados *Modelos Genéricos de Iluminação*, e que pode ser descrita da seguinte forma: tomando-se algumas condições de céu como condições padrão pré-determinadas e estudando-se em diversas regiões muitos dias onde haja a ocorrência de condições semelhantes ao do estabelecido teoricamente, pode-se determinar um modelo teórico que represente em termos médios a realidade, desde que se conheçam algumas variáveis principais e determinantes daquele modelo.

De uma maneira geral, as condições estudadas são: Céu Completamente Claro, Céu Encoberto Padrão CIE, e Céu Médio ou Variável. As variáveis ou parâmetros que determinam as condições locais específicas, de modo a adequar o modelo genérico ao local em estudo, em geral são a turbidez atmosférica, a altitude do local, as coordenadas geográficas do mesmo e o tipo de região em estudo, urbano ou rural. Desta forma, obtêm-se um modelo teórico de predição não tão preciso quanto os modelos específicos locais, porém muito mais útil no sentido de que pode ser tabelado ou codificado em fórmulas gerais, e utilizado por qualquer pessoa, em qualquer ponto da terra, com razoável precisão. Uma outra grande vantagem é que este tipo de modelo se presta admiravelmente bem à utilização em programas de computadores, devido ao fato de que o número de cálculos envolvidos é grande, e somente através de computação torna-se viável sua execução repetidamente, como por exemplo em simulações.

2.2.2 - O Modelo Teórico de Dogniaux

O Modelo de Dogniaux foi desenvolvido para a CIE em 1967, e é considerado o primeiro grande modelo de predição de iluminação natural

já desenvolvido. Permite o cálculo das componentes direta, difusa, e refletida externa da radiação (W/m^2) e iluminamentos solares (lux), sobre superfícies com inclinação e orientação quaisquer. Apesar de não ter sido formalmente aceito pela CIE, foi aprovado pela maioria do Comitê Técnico para Iluminação Natural (TC4.2) daquela instituição. Desde aquela data, já sofreu algumas modificações, sendo que as fórmulas utilizadas neste trabalho baseiam-se num trabalho publicado em 1992¹⁴. São elas:

Componente Direta da Radiação Solar para Céus Claros:

$$I_c(\beta, \alpha) = I_o \cdot k_d \cdot e^{-m_z \cdot \delta_r \cdot TL} \cdot \cos v(\beta, \alpha) \quad \text{onde:}$$

- $I_c(\beta, \alpha)$ é a radiação direta sobre uma superfície com inclinação β e orientação α ;
- $v(\beta, \alpha)$ é o ângulo de incidência, em graus, entre a direção do sol e a normal à superfície receptora, dado pela expressão:
- $v(\beta, \alpha) = \arccos[\cos\beta \cdot \text{sen}\gamma + \text{sen}\beta \cdot \cos\gamma \cdot \cos(\alpha - \alpha_s)]$ onde:
- $\gamma = \arcsen[\text{sen}\Phi \cdot \text{sen}\delta + \cos\Phi \cdot \cos\delta \cdot \cos\omega]$ é a altura solar acima do horizonte, em graus;
- Φ = latitude do ponto geográfico, em graus e décimos;
- $\delta = 0,33281 - 22,984 \cos(J \cdot 0,9856) - 0,3499 \cos(2J \cdot 0,9856) - 0,1398 \cos(3J \cdot 0,9856) + 3,7872 \text{sen}(J \cdot 0,9856) + 0,03205 \text{sen}(2J \cdot 0,9856) + 0,07187 \text{sen}(3J \cdot 0,9856)$ é a inclinação solar, em graus, e J é o dia sequencial do ano (01/jan = 1; 31/dez = 365);
- $\omega = t - 12 + \text{fuso horário} + ET - \epsilon - \lambda$;

¹⁴ Dogniaux, R. (1992) p. 3

- $ET = 0,0072 \cos(J \cdot 0,9856) - 0,0528 \cos(2J \cdot 0,9856) - 0,0012 \cos(3J \cdot 0,9856) - 0,1229 \sin(J \cdot 0,9856) - 0,1565 \sin(2J \cdot 0,9856) - 0,0041 \sin(3J \cdot 0,9856)$;
- ε = correção eventual da hora (horário de verão);
- λ = longitude do ponto geográfico, em graus e décimos;
- α = azimute da superfície receptora, ou seja, o ângulo entre a projeção sobre o plano horizontal da normal à superfície receptora e a direção sul, computado positivamente no sentido anti-horário (por convenção);
- α_s = azimute do sol, ou seja, o ângulo entre a projeção horizontal da direção do sol e a direção sul, computado positivamente no sentido anti-horário (por convenção), em graus, dado pela expressão:
- $\alpha_s = \arccos[(\sin\Phi \cdot \sin\gamma - \sin\delta) / (\cos\Phi \cdot \cos\gamma)]$;
- I_0 é a radiação solar extraterrestre perpendicular ao fluxo solar incidente no dia J, igual a 1367 W/m^2 ;
- k_d é o fator representativo da variação da distância Terra-Sol conforme o dia do ano e dado pela expressão:
- $k_d = 1 + 0,03344 \cdot \cos(0,9856 \cdot J - 2,8)$;
- m_z é a massa de ar relativa, ou seja, a massa de ar ótica corrigida pelo efeito da altitude e da pressão atmosférica. É dada pela expressão:
- $m_z = (1 - 0,1 \cdot z) / (\sin\gamma + 0,15 \cdot (\gamma + 3,885)^{-1,253})$ onde z a altitude do local em quilômetros;
- δ_r é a densidade ótica de Rayleigh por unidade de massa, ou seja, o fator total de extinção da radiosidade através de uma atmosfera pura e seca por uma unidade de ar unitária, dada pela expressão:
- $m_z = 1 / (0,9 \cdot m_z \cdot 9,4)$
- TL é o fator de perturbação atmosférica, ou fator de turvamento de Linke, que é função da altura solar γ , da quantidade w de vapor d'água

da atmosfera e do coeficiente de perturbação de Angstron. Sua expressão é:

- $TL = ((\gamma + 85) / (39,5 e^{-w} + 47,4)) + 0,1 + \beta a(16 + 0,22w);$

Como valores médios, w e βa assumem os valores apresentados na tabela 1, para três diferentes tipos climáticos e três diferentes tipos de local:

Região Polar ou Desértica	w = 0,5 a 1,0 centímetros
Região Temperada	w = 2,0 a 4,0 centímetros
Região Tropical	w > 5 centímetros
Região Rural	βa = 0,05 (adimensional)
Região Urbana	βa = 0,10 (adimensional)
Região Industrial	βa = 0,20 (adimensional)

tabela 1 - Valores de w de βa

Componente Direta da Radiação Solar para Céus Encobertos:

$$I_c (\beta.\alpha) = 0$$

Para céus encobertos, não há incidência direta do sol sobre planos externos, apenas radiação difusa.

Componente Direta da Radiação Solar para Céus Variáveis:

Neste caso, o cálculo da componente direta é feito através da utilização de frações de insolação horária ou diária médias, em relação ao céu claro.

Assim:

$$I_{cd} (\beta.\alpha) = (\zeta \cdot \sigma_d)^n \cdot I_c (\beta.\alpha) \quad \text{onde:}$$

- $I_{\sigma d}(\beta, \alpha)$ é a radiação direta sobre uma superfície com inclinação β e orientação α ;
- σ_d é a fração de insolação solar diária média;
- $n = 1 + 0,36 \sigma_d$;
- $\zeta = 0,5 + 1,023 (1 - e^{-0,0956 \gamma}) \cdot (1 - \sigma_d)$ é a distância zenital do sol;
- $\gamma =$ é a altura solar acima do horizonte, em graus;

São obtidas as médias mensais, considerando-se os dias médios de cada mês, ou seja, o dia representativo de cada mês no qual a declinação solar é média, apresentados na tabela abaixo:

Mês	dia médio	número J
Janeiro	17	17
Fevereiro	15	46
Março	16	75
Abril	15	105
Maio	15	135
Junho	11	162
Julho	17	198
Agosto	16	228
Setembro	16	259
Outubro	16	289
Novembro	15	319
Dezembro	11	345

tabela 2 - *Dias Médios de Cada Mês e Índice “J” Correspondente*

Componente Difusa da Radiação Solar para Céus Claros:

A radiação difusa pode ser definida como a radiação solar e lumínica proveniente da calota celeste, devido à difusão na atmosfera dos raios solares diretos incidentes sobre a mesma. Seu cálculo é feito através do somatório da radiação proveniente de cada porção do céu, esta definida pela sua altura γ_i e pelo seu azimuth α_i (ambos dados em graus e

décimos). Conforme a inclinação do plano receptor considerado, os valores da radiação solar difusa D_c são:

Para superfície receptora horizontal:

$$D_c = K_d \cdot L_c \cdot (\gamma_i - \pi/2) \cdot [0,0076154 \sum_{\gamma_i=2,5}^{87,5} \sum_{\alpha_i=2,5}^{357,5} f_i \cdot \sin \gamma_i \cdot \cos \gamma_i]$$

onde:

- L_c é um fator de correção, função da altura solar γ (em graus) e do coeficiente de perturbação atmosférica TL , e dado pela expressão:
- $L_c = 0,8785 \gamma - 0,01322 \gamma^2 + 0,0003434 \gamma^3 + 0,44347 + 0,03644 TL$;
- k_d é o fator representativo da variação da distância Terra-Sol conforme o dia do ano e dado pela expressão:
- $k_d = 1 + 0,03344 \cdot \cos(0,9856 \cdot J - 2,8)$, sendo J o dia sequencial do ano;
- $f_i = \text{termo}_1 / \text{termo}_2$ onde
- $\text{termo}_1 = (0,910 + 10e^{-3\xi} + 0,45 \cos^2 \varepsilon)(1 - e^{-0,32 \cos \varepsilon \gamma_i})$ e
- $\text{termo}_2 = 0,27385 (0,910 + 10e^{-3\xi} + 0,45 \sin^2 \gamma)$;
- $\varepsilon = \arccos [\sin \gamma_i \sin \gamma + \cos \gamma_i \cos \gamma \cos(\alpha_s - \alpha_i)]$;
- $\xi = \pi/2 - \gamma$;

Para superfície receptora inclinada (vertical inclusive):

$$D_c(\beta, \alpha) = K_d \cdot \int_{\alpha_i} d\alpha_i \cdot \int_{\gamma_i} L_c \cdot (\gamma_i \cdot \alpha_i) \cdot \cos \chi_i \cos \gamma_i d\gamma_i \quad \text{onde:}$$

- $D_c(\beta, \alpha)$ é a radiação difusa sobre uma superfície com inclinação β e orientação α ;
- $\cos \chi_i = \cos \beta \sin \gamma_i + \sin \beta \cos \gamma_i \cos(\alpha_s - \alpha_i)$ com $\cos \chi_i = 0$ para $\chi_i > \pi/2$;

- k_d e L_c exatamente iguais ao anteriormente descrito para superfícies receptoras horizontais;

Componente Difusa da Radiação Solar para Céus Encobertos:

Para superfície receptora horizontal:

$$D_b = 198.526 \cdot K_d (1 + 0,36 \cdot \text{sen} \gamma) \cdot \text{sen} \gamma \quad e$$

Para superfície receptora inclinada:

$$D_b = K_d \int_0^{2\pi} \int_0^{2\pi} L_b(\gamma_i) \cdot \text{sen} \gamma_i \cdot \cos \gamma_i \, d\gamma_i \, d\alpha_i \quad \text{onde:}$$

- $L_b = [(1 + 2 \text{sen} \gamma_i) / 3] \cdot f_i \cdot L_{b_{\pi/2}}$
- $L_{b_{\pi/2}} = 81,23 \text{sen} \gamma (1 + 0,36 \text{sen} \gamma)$
- K_d exatamente iguais ao anteriormente descrito para cálculo da radiação difusa;

Componente Difusa da Radiação Solar para Céus Variáveis:

Para superfície receptora horizontal:

$$D_\sigma = D_b (1 - \sigma_h) + D_c [B \sigma_h + (1 - B) \sigma_h^2] \quad \text{onde:}$$

- $\sigma_h = \zeta \cdot \sigma_d$
- $\zeta = 0,5 + 1,023 (1 - e^{-0,0956\gamma}) (1 - \sigma_d)$
- $B = 1,37 + 0,71 \text{sen} \gamma$

Para superfície receptora inclinada:

$$D\sigma(\beta.\alpha) = Db(\beta) (1 - \sigma_h) + Dc(\beta.\alpha) [B \sigma_h + (1 - B) \sigma_h^2]$$

onde:

- $D\sigma(\beta.\alpha)$ é a radiação difusa sobre uma superfície com inclinação β e orientação α ;
- as demais variáveis iguais às utilizadas para superfície horizontal;

Componente Refletida Externa da Radiação Solar para Céus Claros:

A componente refletida externa, é a radiação resultante da reflexão das componentes direta e difusa sobre as superfícies existentes no entorno exterior ao ambiente em estudo, e iluminado pela luz natural. Seu cálculo, para condições de céu claro, é executado através da utilização da seguinte fórmula:

$$Rc(\beta) = 0,5 A (Ic \sen \gamma + Dc) (1 - \cos \beta) \quad \text{onde:}$$

- A = é o albedo da superfície do solo ou, mais genericamente, a refletividade média das superfícies exteriores à edificação, variando de 0 a 1.
- β = é a inclinação da superfície receptora, em graus;
- γ = é a altura solar acima do horizonte, em graus;
- Ic e Dc são respectivamente, a radiação direta e difusa incidentes sobre uma superfície horizontal, devido ao céu claro;

Componente Refletida Externa da Radiação Solar para Céus Encobertos:

$R_b(\beta) = 0,5 A D_b(1 - \cos\beta)$ onde:

- A e β são o albedo e a inclinação da superfície, respectivamente;
- D_b é a radiação difusa incidente sobre uma superfície horizontal, devido ao céu encoberto;

Componente Refletida Externa da Radiação Solar para Céus Variáveis:

$R_\sigma(\beta) = 0,5 A (I_\sigma \text{sen}\gamma + D_\sigma) (1 - \cos\beta)$ onde:

- A e β são o albedo e a inclinação da superfície, respectivamente;
- I_σ e D_σ são a radiação direta e difusa incidentes sobre uma superfície horizontal, devido ao céu variável;

Nas fórmulas anteriores, como valores médios de albedo de algumas superfícies externas mais comuns, pode-se considerar¹⁵ os seguintes valores da tabela 3:

Tipo de Superfície	Albedo
Asfalto limpo, sem poeira	0,07
Concreto aparente	0,55
Pedra natural (granito)	0,40
Pedra polida (mármore branco)	0,45
Pedregulho	0,13
Terra	0,15
Gramma escura	0,06
Vegetação (média)	0,25

tabela 3 - Albedo de algumas superfícies

¹⁵ Mascaró, L. (1991) p. 204

2.2.3 - O Fator de Perturbação Atmosférica segundo L'Omm

Um algoritmo alternativo para o cálculo estimativo do fator de perturbação atmosférica (T_L), ou fator de turvamento de Linke, é apresentado por L'Omm, e pode ser utilizado em lugar da fórmula descrita por Dogniaux no item 2.2.2. Sua equação é função da altura solar γ , do coeficiente de perturbação de Angstron e de 2 outros coeficientes dependentes da coloração do céu. Sua expressão é:

$$T_L = 2,2 - 0,35 z + 0,5 \ln(\beta_a) + \Delta T_3 + \Delta T_4 \quad \text{onde:}$$

- z é a altitude do local em quilômetros;
- γ é a altura solar acima do horizonte, em graus;
- β_a = coeficiente de perturbação de Angstron, que assume os seguintes valores conforma a coloração do céu: Azul profundo: 0,02; Azul puro: 0,04; Azul médio: 0,06; Azul pálido: 0,10; Azul leitoso: 0,20 e Azul esbranquiçado: 0,40;
- T_3 = coeficiente que assume os seguintes valores conforme a coloração do céu: Azul profundo: -0,8; Azul puro: -0,3; Azul médio: 0; Azul pálido: 0,7; Azul leitoso: 2,1 e Azul esbranquiçado: 4,0;
- $T_4 = - (0,85 - 2,25 \sin \gamma + 1,11 \sin^2 \gamma)$



3.1 - Descrição do Elemento Arquitetônico

Numa tradução literal a palavra de língua inglesa *Lightshelf*, significa Prateleira de Luz. Em termos práticos, uma lightshelf é um elemento arquitetônico que tem a forma de uma pequena laje inserida horizontalmente num ponto mediano de uma abertura lateral, de maneira a dividir esta abertura em duas partes, uma superior à lightshelf e outra inferior à mesma. Normalmente, uma lightshelf apresenta sua superfície inferior perfeitamente horizontal, e a superfície superior também horizontal ou então levemente inclinada, quando existe o objetivo de redirecionamento da luz natural para determinadas regiões específicas do ambiente.

Em termos visuais, uma lightshelf se divide basicamente em duas partes distintas, que chamaremos *abas*. Uma é a aba externa, que é a parcela da lightshelf que avança do plano da abertura em direção ao exterior da edificação, como uma pequena marquise. A outra é a aba interna, que é a parcela da lightshelf que penetra no ambiente, criando para o ocupante da sala a sensação de uma prateleira interceptando a janela. (fig. 5) Uma lightshelf pode possuir ambas as abas ou apenas uma delas, interna ou externa, dependendo do funcionamento específico que o projetista deseja dar ao elemento ou do aspecto estético que se deseja alcançar para a fachada da edificação. (fig. 6)

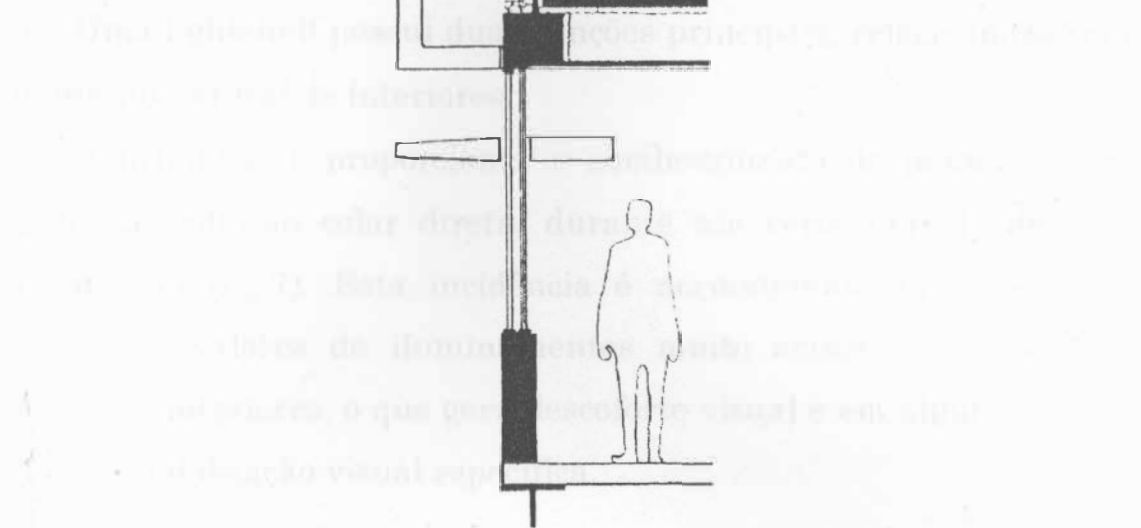


figura 5 - *Esquema de Seção Transversal Mostrando uma Lighshelf*



figura 6 - *Aspecto de uma Lighshelf na Fachada de uma Edificação*

3.2 - O Funcionamento de uma Lighshelf

Uma lightshelf possui duas funções principais, relacionadas com a iluminação natural de interiores.

A primeira, é proporcionar o sombreamento de pontos internos sujeitos à radiação solar direta, durante um certo período de tempo determinado (fig.7). Esta incidência é normalmente indesejada, pois implica em valores de iluminamentos muito acima do restante das superfícies interiores, o que gera desconforto visual e em alguns casos até mesmo desabilitação visual específica.

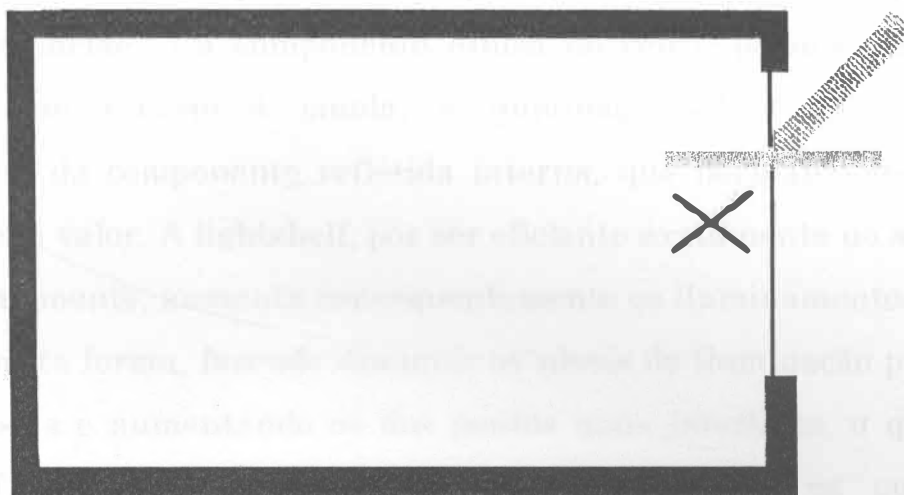


figura 7 - Atuação da Lightshelf como Elemento Sombreador

A segunda e mais importante função da lightshelf é redirecionar a luz natural incidente sobre sua superfície superior, para o teto e para as

porções superiores das paredes do cômodo através da abertura superior, de modo a aumentar a incidência de luz nestas áreas. Ocorre em seguida uma segunda reflexão desta luz para o plano de referência, com a vantagem de que este fenômeno se dá de forma muito mais homogênea do que se acontecesse pela incidência de luz através de uma simples abertura lateral. Verifica-se que os ganhos na distribuição da luz no ambiente se dão tanto para pontos próximos à janela quanto para pontos situados no fundo da sala.

Os primeiros em geral apresentam iluminamentos muito superiores ao desejado pelos ocupantes, e a lightshelf promove aí uma diminuição destes níveis, ou pelo mascaramento da luz solar direta (caso presente) ou pela redução da quantidade de luz difusa do céu incidente.

Os pontos mais afastados da janela são beneficiados exatamente pelo fenômeno oposto. Como são pontos onde a luz solar direta raramente incide, e a componente difusa do céu é pequena devido à distância em relação à janela, a iluminação ali é grandemente dependente da componente refletida interna, que normalmente possui um pequeno valor. A lightshelf, por ser eficiente exatamente no aumento desta componente, aumenta consequentemente os iluminamentos nestes pontos. Desta forma, fazendo diminuir os níveis de iluminação próximos às aberturas e aumentando os dos pontos mais interiores, o que uma lightshelf realiza na realidade é um achatamento na curva de distribuição longitudinal de luz do ambiente, melhorando as condições de conforto visual, pelo abrandamento das diferenças de brilho relativo e diminuição da probabilidade de ocorrência de ofuscamentos. (fig. 8)

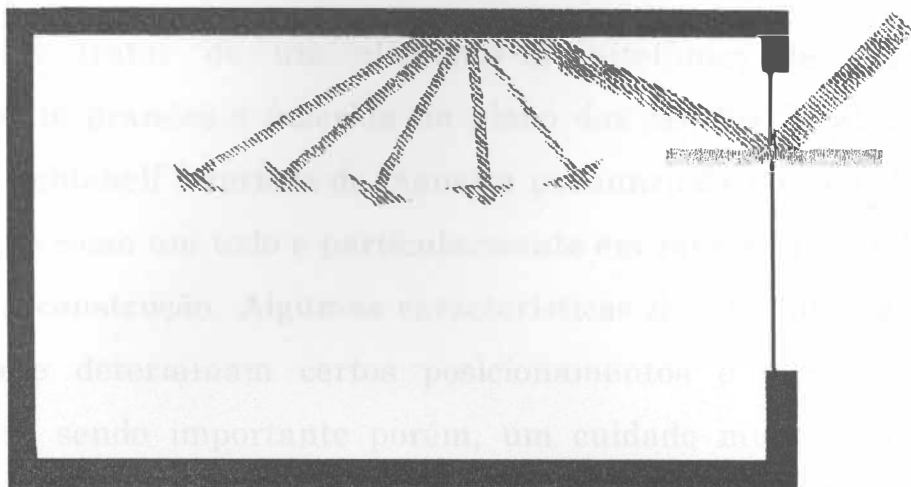


figura 8 - *Funcionamento de uma Lightshelf na Redistribuição da Luz*

Uma terceira função da lightshelf, embora não diretamente relacionada com o problema da iluminação de interiores, porém de extrema importância em termos de conforto ambiental, reside no fato de que por atuar como elemento sombreador, no caso de haver radiação solar direta incidente no ambiente, a lightshelf intercepta esta radiação externamente, e transforma esta radiação direta em radiação luminosa difusa, sem que a porção invisível do espectro e responsável pelo aumento da temperatura (efeito estufa) penetre no ambiente. Desta forma, ela é também um importante elemento de estudo para a área de conforto térmico.

3.3 - Diretrizes para Utilização de uma Lighshelf

Por se tratar de um elemento arquitetônico de dimensões razoavelmente grandes e inserida no plano das janelas, local de visão fácil, uma lighshelf interfere de maneira pronunciada no aspecto físico da edificação como um todo e particularmente em relação aos ambientes internos da construção. Algumas características de seu funcionamento praticamente determinam certos posicionamentos e localização das lighshelves, sendo importante porém, um cuidado muito especial do arquiteto em relação ao efeito estético das mesmas. Segundo Carvalho¹⁶:

“A melhor altura para as lighshelves é de 2,0 a 2,1 metros acima do chão. Esta posição proporcionará uma boa distribuição da luz, não interferindo com a visão do exterior, além de se alinhar com as portas existentes no ambiente. Seu acabamento deve ser em materiais claros e polidos, para incrementar a reflexão da luz e facilitar sua limpeza pela água da chuva. Uma pequena inclinação para dentro do ambiente é favorável, apesar de dificultar sua execução, pois precisará de drenagem”.

Um dos aspectos mais importantes na escolha do tipo de lighshelf a ser utilizada reside exatamente na opção pelo material de revestimento de suas superfícies superior e inferior. A opção por um ou outro material, além de estar condicionada na maioria dos casos aos custos de aquisição, deve também ser ponderadamente estudada em relação ao seu custo e facilidade de manutenção, e quanto ao tipo de céu predominante na região.

No primeiro caso, porque sabidamente o usuário médio de uma edificação é displicente em relação à manutenção da mesma, se limitando

¹⁶ Carvalho, L. (1992) p. 66

a uma pintura periódica do interior dos cômodos. Além disso, se o material escolhido exigir uma limpeza frequente de sua superfície para que a lightshelf atue de maneira eficiente, caso ela não ocorra, a função básica de redistribuição da luz será diminuída podendo inclusive em casos extremos a lightshelf agir de maneira contrária ao desejado, ou seja, diminuindo a luz dentro do ambiente (atuando então apenas como elemento sombreador). A escolha deverá portanto, recair sempre sobre materiais não muito aderentes ao pó e partículas em suspensão na atmosfera, de modo que as próprias chuvas mantenham um certo grau de limpeza. Uma necessidade de manutenção contínua também tende a inviabilizar a utilização do elemento, devido aos altos custos de se manter uma mão de obra para limpeza e conservação, principalmente nas abas externas das lightshelves.

Quanto à reflexividade destes materiais, é preciso ter em mente que uma lightshelf só funcionará de maneira ótima, caso se conheçam as condições médias de céu na região. Um céu predominantemente claro e uma fachada orientada de tal forma que haja incidência direta do sol sobre a lightshelf, pode inviabilizar a utilização de superfícies refletoras do tipo espelhada, pois o desejado nestas situações é a transformação da luz direta solar de alta intensidade em luz difusa utilizável para iluminação indireta. Neste caso, o melhor seria a utilização de uma superfície branca não brilhante, evitando-se reflexos não desejáveis dentro do ambiente.

Se no entanto não houver existência de radiação solar direta sobre a lightshelf, ou seja, a orientação da fachada não permitir por qualquer motivo visão direta do sol, a utilização de superfície espelhada na parte superior da lightshelf deve ser considerada, pois a luz difusa do céu claro é de muito menor intensidade que a do sol, e então quanto maior quantidade da mesma puder ser refletida, maior a eficácia do sistema,

sem a possibilidade de ocorrência de reflexos localizados nas superfícies internas do cômodo.

Uma alternativa interessante às duas situações acima descritas, seria a utilização de uma lightshelf de aba interior extremamente proeminente na direção ao fundo da sala, formando um tipo de compartimento superior na sala, cujas superfícies seriam totalmente revestidas de material perfeitamente refletor (espelhos). Este *cachimbo de luz* teria a função de desviar a radiação solar através de sucessivas reflexões, até uma superfície difusora localizada no fundo da sala, onde a luz direta seria transformada em luz difusa para iluminação. (fig. 9)

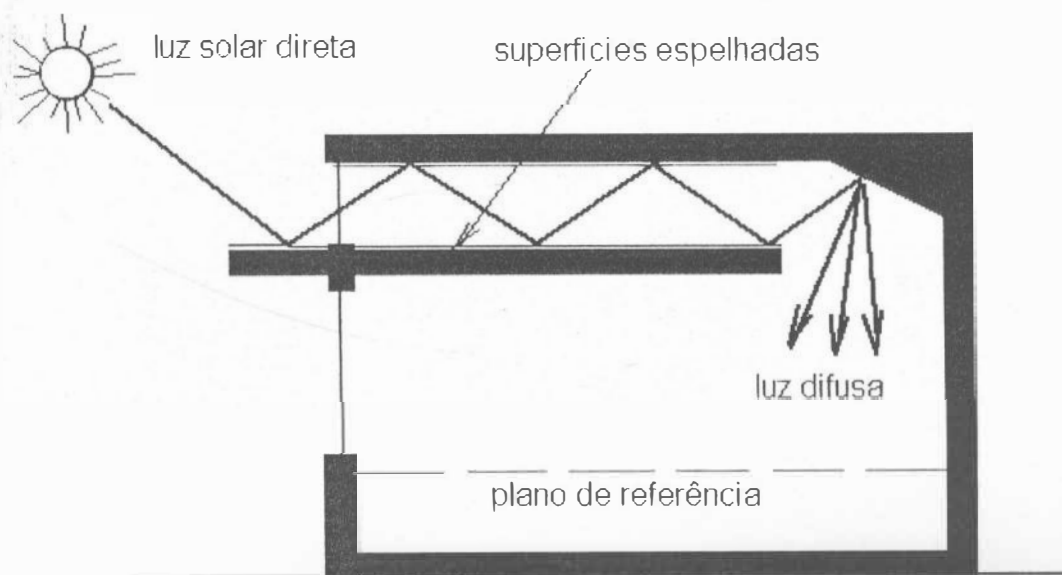


figura 9 - *Lightshelf* tipo “Cachimbo de Luz”

Apesar de bastante interessante, entendemos que a utilização de um sistema de tal complexidade foge às características consideradas

como pontos fortes de uma lightshelf tradicional, que são a simplicidade de construção, baixo custo relativo, facilidade de aplicação na maioria das construções comerciais e industriais. A simples exigência de um pé-direito bem maior que o usualmente utilizado, para a criação do compartimento de reflexão superior, já elimina grande parte dos projetos de se utilizarem deste sistema. Desconhecemos também o aspecto estético final de um ambiente assim construído, e a eficiência do sistema para condições de céu encoberto ou sem insolação direta.



4.1 - Métodos de Cálculo

Conhecida a quantidade de radiação solar incidente sobre um plano exterior qualquer (e portanto as componentes Direta, Difusa e Refletida Externa da radiação solar), seja através de medições, seja através da utilização de modelos matemáticos de predição, e conhecido também o funcionamento do elemento arquitetônico *lightshelf*, o cálculo da iluminação natural apresenta como próximo passo a determinação da quantidade de radiação luminosa que penetra no ambiente, e a maneira como esta se distribui no interior do mesmo.

Existem diversos métodos para execução destes cálculos, sendo que, conforme Robbins¹⁷, quatro deles são mais conhecidos e utilizados:

- Método dos Lúmens¹⁸;
- Método do Fator de Luz Natural¹⁹;
- Método da Transferência de Fluxo²⁰;
- Método de Modelos Físicos de Escala Reduzida²¹;

O Método do Lúmens, também conhecido como Método do Fluxo Total, baseia-se no princípio de que o iluminamento em um ponto interior é função da quantidade de luz existente no plano da abertura. Assume-se que para uma análise lumínica do ambiente, basta calcular os

¹⁷ Robbins, C. L. (1986) p. 157

¹⁸ Kauffman, J. E. - *IES lighting handbook*. (1981) v. 1

¹⁹ Hopkinson, R. G. (1966) cap. 3-12

²⁰ Robbins, C. L. (1986) p. 203-220

²¹ Robbins, C. L. (1986) p. 221-234

iluminamentos em pontos espacialmente pré-definidos, de modo que os cálculos são realizados para apenas 3 deles, considerados fixos em qualquer situação, os seja: altura de 0,75m e distâncias iguais a 1,50m da abertura, centro do cômodo e 1,50m em relação à parede do fundo da sala, todos no plano vertical central à própria janela. A componente direta do sol não é considerada nos cálculos, e a altura do parapeito deve ser exatamente igual à altura do plano de trabalho. Além disso, um grande fator limitante do método é que a janela em estudo deve abranger toda a largura da sala, não permitindo portanto, que outras aberturas de diferentes dimensões sejam analisadas.

O Método do Fator de Luz Natural, também conhecido como Método do Fluxo Dividido, é o método recomendado pela Commission Internationale de l'Eclairage (CIE). O Fator de Luz Natural é definido como a razão entre o iluminamento interior e o iluminamento de uma superfície horizontal exterior, e representada em termos de porcentagem. Os resultados encontrados, portanto, não são dados em valores absolutos de iluminação (lux), mas sim em termos relativos. As aberturas podem ter qualquer dimensão e os pontos de estudo podem estar situados em qualquer local do cômodo.

O Método da Transferência de Fluxo é o método utilizado neste trabalho, para o cálculo da iluminação interna dos ambientes. Também conhecido como Método da Superfícies Finitas, pode calcular luminâncias e iluminamentos em superfícies e pontos interiores tanto para condições de céu claro ou encoberto, considerando as componentes difusas e direta da radiação solar. Além disso, permite calcular as reflexões primárias ou de qualquer ordem da radiação penetrante, possibilitando o cálculo de iluminamentos em ambientes de geometria espacial complexa, ou na presença de elementos como lightshelves, brises, ou marquises.

Neste trabalho, considerou-se exclusivamente o cálculo de iluminamentos em ambientes de planta retangular, iluminados por uma única janela (com ou sem a presença de lightshelf) existente em uma das paredes. Como parâmetros de cálculo, foram utilizadas as características geométricas espaciais do cômodo, da abertura e do ponto de estudo, além das características físicas das superfícies internas de reflexão.

Como alternativa aos métodos matemáticos citados, a construção de modelos arquitetônicos em escala reduzida pode se revelar o método mais preciso na determinação do comportamento final da edificação em termos de iluminação natural. Entretanto, por se tratar de um processo de análise relativamente caro e demorado, normalmente é utilizado apenas onde há necessidade de precisão extrema ou em projetos que justifiquem sua utilização por algum outro motivo.

4.2 - Plano de Referência e Ponto de Referência

Denomina-se Plano de Referência ao plano de estudo para o qual se calcula a iluminação natural. Na maioria dos casos, este plano é horizontal, pois geralmente procura-se determinar o nível de iluminação para a superfície de trabalho, como a superfície de uma mesa ou o piso do cômodo. Em alguns casos, porém, o plano de referência pode ser vertical, como num museu, onde pode-se querer descobrir os iluminamentos sobre a superfície de obras expostas, como quadros ou esculturas. Estabeleceu-se um acordo internacional segundo o qual, no caso de não existir qualquer especificação quanto ao plano de referência, este será considerado horizontal e situado a 0,85 metros de altura do pavimento.

O Ponto de Referência é o local geométrico pertencente ao plano de referência para o qual os cálculos de iluminação natural serão executados.

4.3 - Fator de Céu

A iluminação num ponto de referência de um plano horizontal, devida a uma abertura retangular situada numa parede vertical, cujo parapeito possui a mesma altura do plano de referência e um dos lados é perpendicular à normal da janela ao ponto de referência, pode ser calculada utilizando-se de uma equação matemática apropriada. Esta equação exprime a porção do céu que “é vista” pelo ponto em estudo, e consequentemente, é responsável pela iluminação deste ponto (sem considerar a componente refletida interna). O resultado obtido é denominado Fator de Céu, e as fórmulas para seu cálculo são as seguintes:

Fator de Céu para Pontos em Planos Paralelos à Abertura:

- Caso típico de janela horizontal (iluminação zenital) ²²

$$F = 1/2\pi \left[\Lambda/(1+A^2)^{1/2} \cdot \arctan (B/(1+A^2)^{1/2}) + B/(1+B^2)^{1/2} \cdot \arctan (\Lambda/(1+B^2)^{1/2}) \right]$$

onde: $A = h/d$ e $B = w/d$ sendo:

d = distancia do ponto de referência à janela

h = altura da janela

w = largura da janela

²² Howell, J. R. (1982) p. 27

Fator de Céu para Pontos em Planos Perpendiculares à Abertura:

- Caso típico de Janela Vertical²³

$$F = 1/2\pi \left[\arctan (1/B^2) - B/(A^2+B^2)^{1/2} \cdot \arctan (1/(A^2+B^2)^{1/2}) \right]$$

onde: $A = h/w$ e $B = d/w$ sendo:

d = distancia do ponto de referência à janela

h = altura da janela

w = largura da janela

O Fator de Céu baseia-se num céu de luminância uniforme, e em aberturas não envidraçadas. Por definição portanto, é uma quantidade puramente geométrica. Como o céu encoberto possui uma distribuição de luminâncias muito diferente do céu uniforme, e como na prática uma abertura sempre apresenta algum tipo de fechamento, o Fator de Céu deve ser sempre corrigido nos cálculos, para levar em conta estas condições.

4.4 - Fator-Z

Denomina-se Fator-Z ao termo de conversão utilizado para corrigir a distribuição de luminâncias do céu uniforme para o céu encoberto padrão C.I.F. Pode-se desta forma calcular os iluminamentos num ponto interno da sala em condições de céu encoberto, como se o céu apresentasse uma distribuição uniforme, e multiplicando-se posteriormente os resultados encontrados pelo Fator-Z. Como a

²³ Howell, J. R. (1982) p. 27

luminância do céu encoberto é maior no zênite que no horizonte, o fator-z possui valores crescentes na medida que o trecho de céu em estudo se aproxima da cume da abóboda celeste. O Fator-Z é igual a 1 para o trecho de céu com altura de 42 graus, e igual a 1,286 no zênite. A tabela 4 apresenta os valores calculados do Fator-Z para ângulos de 10 em 10 graus²⁴.

Altura do trecho de céu visível (em graus)	Fator-Z
10	0.578
20	0.722
30	0.857
40	0.980
50	1.085
60	1.170
70	1.234
80	1.272
90	1.286

tabela 4 - *Fatores-Z*

4.5 - O Efeito de Vidros e Caixilhos das Janelas

A transmissão da luz natural para dentro do compartimento em estudo é afetada pela transmitância do vidro da janela e pela proporção dos caixilhos da mesma.

Geralmente, no caso mais comum de vidros transparentes, a perda de luz resultante da incapacidade do material transmitir toda a luz incidente pode ser considerada igual e constante ao valor da transmitância do mesmo, desde que o ângulo de incidência entre o raio luminoso e a normal ao plano da janela seja menor que 60 graus. Neste trabalho, considerou-se os valores²⁵ constantes da tabela 4, para as

²⁴ Hopkinson, R. G. (1966) p. 114

²⁵ Mascaró, L. (1991) p. 185

transmitâncias dos diversos tipos de vidros e materiais translúcidos que possam vir a ser utilizados no fechamento de aberturas laterais.

Tipo de Vidro	Transmitância
Vidro transparente Normal	0,90
Vidro transparente Polido	0,85
Vidro transparente Polido Armado	0,80
Vidro texturado Normal	0,85
Vidro texturado Rugoso	0,80
Vidro texturado Rugoso Armado	0,75
Vidro texturado tipo Catedral	0,80
Vidro texturado tipo Martelado	0,80
Vidro Ondulado tipo Meia-Cana	0,85
Vidro Absorvente de Calor, Colorido, liso	0,75
Vidro Absorvente de Calor, Colorido, rugoso	0,70
Vidro Isolador laminado	0,65
Chapa de Plástico Ondulada	0,80
Chapa de Plástico Ondulada, armada com fibra de vidro	0,75
Chapa de Plástico Ondulada, moderadamente difusora	0,70
Chapa de Plástico Ondulada, fortemente difusora	0,60

tabela 4 - *Transmitâncias para Diversos Tipos de Vidros*

Em relação aos caixilhos, a redução da iluminação natural que ocorre devido à sua presença em janelas, também pode ser considerada como uma simples *constante de obstrução* nos cálculos efetuados, caso a espessura das réguas e montantes da esquadria não possuam uma dimensão significativa em relação ao tamanho da abertura. Esta constante de obstrução é calculada tomando-se a área superficial dos caixilhos (no plano da janela) e dividindo-se pela área total da abertura. Assim, por exemplo, uma janela que tenha 1,2m x 1,5m (área igual a 1,8 m²) e apresente uma área envidraçada de 1,5 m², apresentará um coeficiente aproveitamento de 0,83 vezes do total da luz incidente, ou seja, uma constante de obstrução de 0,17.

4.6 - Fator de Configuração

No método de transferência de fluxo, o cálculo da Componente Refletida Interna depende basicamente da radiação solar penetrante e dos fatores de configuração das diversas superfícies existentes na sala.

O Fator de Configuração pode ser definido como a fração da energia irradiada difusamente por uma superfície A que incide numa outra superfície B. Estas superfícies A e B podem ser superfícies extensas ou infinitesimais, e livremente orientadas entre si, de modo que os fatores de configuração podem ser calculados para uma infinidade de situações distintas, possibilitando a simulação de reflexões em cômodos de geometria bastante complexa. No caso específico do cálculo das reflexões da luz natural dentro de edificações, utiliza-se basicamente de 2 fatores de configuração que, juntos, abrangem quase todas as possibilidades de ocorrência em cômodos de superfícies retangulares. São eles:

1. Fator de Configuração entre uma superfície retangular extensa A e uma superfície infinitesimal B (um ponto), sendo A e B paralelas entre si, e B situada diretamente sob um dos vértices da superfície A (fig. 10);
2. Fator de Configuração entre uma superfície retangular extensa A e uma superfície infinitesimal B (um ponto), sendo A e B perpendiculares entre si, e B situada diretamente sob um dos vértices da superfície A (fig. 11);

Os Fatores de Céu, conforme visto em 4.3, na realidade são exemplos de Fatores de Configuração do tipo 1 e 2 acima citados, pois comprova-se que para o céu uniforme, a janela se comporta como uma

superfície perfeitamente difusa situada no plano da fachada. Assim, suas equações são exatamente as mesmas, ou seja:

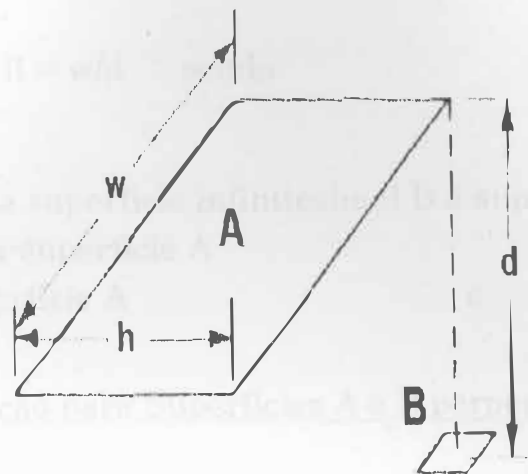


figura 10 - Fator de Configuração para Superfícies Paralelas

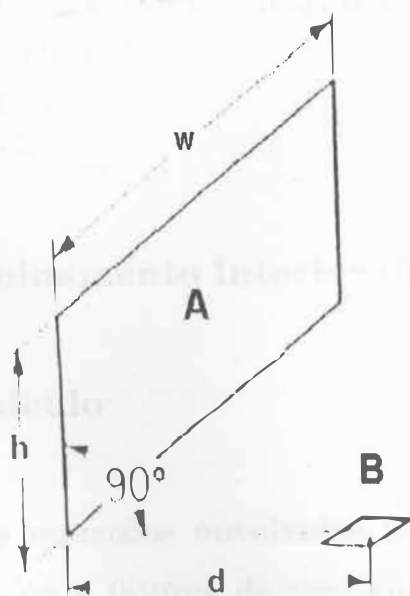


figura 11 - Fator de Configuração para Superfícies Perpendiculares

Fator de Configuração para Superfícies A e B paralelas ²⁶ (tipo 1):

$$C = 1/2\pi \left[\Lambda/(1 + \Lambda^2)^{1/2} \cdot \arctan (B/(1 + \Lambda^2)^{1/2}) + B/(1 + B^2)^{1/2} \cdot \arctan (\Lambda/(1 + B^2)^{1/2}) \right]$$

onde: $\Lambda = h/d$ e $B = w/d$ sendo:

d = distancia entre a superfície infinitesimal B à superfície A

h = comprimento da superfície A

w = largura da superfície A e

Fator de Configuração para Superfícies A e B perpendiculares ²⁷ (tipo 2):

$$C = 1/2\pi \left[\arctan (1/B^2) - B/(\Lambda^2 + B^2)^{1/2} \cdot \arctan (1/(\Lambda^2 + B^2)^{1/2}) \right]$$

onde: $\Lambda = h/w$ e $B = d/w$ sendo:

d = distancia entre a superfície infinitesimal B à superfície A

h = comprimento da superfície A

w = largura da superfície A

4.7 - Cálculo do Iluminamento Interior de uma Sala

4.7.1 - Roteiro de Cálculo

Conhecendo-se as equações envolvidas (radiação incidente sobre superfícies, fatores de céu e fatores de configuração) e a geometria do

²⁶ Howell, J.R. (1982) p. 27

²⁷ Howell, J. R. (1982) p. 27

cômodo iluminado, calcula-se o iluminamento em um ponto interior de uma sala devido à presença de uma abertura vertical, seguindo o roteiro a seguir:

- Calcula-se a radiação luminosa incidente sobre o plano da fachada que contém a abertura vertical, segundo as equações vistas no Capítulo II para cada uma das componentes da luz natural;
- Calcula-se o Fator de Céu do ponto em estudo para a janela posicionada na parede da fachada;
- Multiplica-se o valor da radiação luminosa incidente na fachada pelo Fator de Céu encontrado, obtendo-se o iluminamento bruto no ponto interior, devido à radiação luminosa proveniente do Sol, Céu e reflexão do entorno;
- Multiplica-se o valor encontrado pelos índices de correção relativos ao tipo de vidro e caixilho da janela;
- Procede-se ao cálculo da Componente Refletida Interna que será somado ao resultado encontrado para se obter o valor final do nível de iluminação no ponto;

4.7.2 - Cálculo da Componente Refletida Interna

O cálculo da Componente Refletida Interna da iluminação natural é executado da seguinte forma:

- Divide-se as superfícies internas da sala (paredes, teto e piso) em diversas sub-áreas;
- Calcula-se os iluminamentos para o centro geométrico de cada sub-área determinada, conforme visto no item 4.6.1;

- Calcula-se os Fatores de configuração de cada sub-área para o ponto em estudo;
- Multiplica-se os iluminamentos encontrados para cada sub-área pelos seus respectivos fatores de configuração. O somatório dos valores encontrados será o valor da Componente Refletida Interna para o ponto interior em estudo.

Vale ressaltar que através deste método, quanto maior for o número de sub-áreas definidas, maior será a precisão dos resultados, pois os iluminamentos considerados para toda uma sub-área, são na verdade valores calculados para seus centros geométricos. Desta forma, quanto menores as sub-áreas, mais exatos os cálculos, e menores as aproximações nos resultados.

Para superfícies como as do teto que não têm “visão” direta do céu, o fator de céu calculado transforma-se na realidade no que poderia-se denominar “fator de chão”, ou seja, no fator multiplicativo da componente refletida externa da radiação solar.

Considera-se também que superfícies situadas abaixo do plano de referência, não contribuem diretamente para a iluminação do ponto em estudo, sendo sua função apenas refletir a luz incidente sobre elas para outras superfícies de cota superior ao plano de referência. Ou seja, sua contribuição é considerada nas reflexões secundárias no ambiente.

4.7.3 - Observações Quanto a Presença de uma Lightshelf

A existência de uma lightshelf modifica os cálculos da iluminação natural apenas na medida que ela estabelece duas novas superfícies de reflexão em relação às sub-áreas interiores.

Assim, a superfície do teto (e consequentemente as sub-áreas nela definidas) recebe a luz do céu e sol incidente e refletida pela superfície superior da lightshelf, e por sua vez, o ponto de estudo recebe diretamente a componente refletida externa incidente e refletida pela superfície inferior da lightshelf. Os resultados encontrados são somados aos obtidos para a Componente Refletida Interna devido apenas à janela sem lightshelf. Esta entretanto, é calculada de modo que o fator de céu leve em consideração a obstrução à radiação solar que a lightshelf representa no total da abertura.

As equações utilizadas são as mesmas para a simulação de janelas.



5.1 - Descrição Geral do Sistema

O software foi totalmente desenvolvido em Object Pascal com a utilização do pacote de desenvolvimento de aplicativos denominado Delphi, versão 1.0, e foi denominado "RadLite". O código final compilado gerou um único módulo executável de 612 Kb, podendo desta forma ser facilmente instalado de um disquete de alta densidade em qualquer plataforma 386 ou superior, com Windows 3.xx ou Windows 95 instalado. Para que o programa possa seja executado, o sistema deve possuir um mouse e estar configurado para uma resolução de tela de no mínimo 800X600 pontos (SVGA). É aconselhável a utilização de um driver de vídeo de 256 cores.

Durante a fase de desenvolvimento, procurou-se ampliar a capacidade e precisão do sistema, em relação aos outros programas de mesma finalidades anteriormente desenvolvidos na UFRJ. Entre eles, podemos citar os trabalhos de Carvalho²⁸ e Castro²⁹.

Carvalho desenvolveu um software dividido em pequenos módulos e capaz de calcular a radiação solar incidente sobre superfícies, o iluminamento de cômodos pelo método dos lúmens e a carga térmica ambiente devido à radiação solar. O programa entretanto, não permite modificações no tamanho da sala ou da abertura, e utiliza dados meteorológicos exclusivamente da cidade do Rio de Janeiro. Estas

²⁸ Carvalho, L. (1992)

²⁹ Castro, L. T. (1995)

limitações, somadas às limitações inerentes ao método dos lúmens, restringe grandemente sua utilização como ferramenta de simulação mais abrangente por parte dos arquitetos.

O programa de Castro, mais voltado ao desenvolvimento de uma ferramenta deste tipo, utilizou-se das mesmas equações de Dogniaux apresentadas neste trabalho para cálculo da radiação solar, e esta parte do código foi extraída diretamente do mesmo e utilizada sem modificações no *RadLite*. Toda a parte de análise de janelas, determinação da componente refletida interna, além da simulação de lightshelves, foi entretanto desenvolvida partindo-se do zero e utilizando-se de outras metodologias e equações. Procurou-se também adequar o sistema a uma interface e estrutura mais atual, sem a necessidade de diferentes módulos se comunicarem através de arquivos temporários gravados em disco.

O programa RadLite possui as seguintes possibilidades de cálculo, para qualquer localidade de latitude, longitude e altitude conhecidas, e céus claro, médio e encoberto:

- Cálculo da Radiação Solar Total Incidente sobre uma superfície externa, orientada e inclinada em qualquer direção, com resultados numéricos e gráficos horários, das 6:00 às 18:00 horas, para qualquer dia do ano.
- Cálculo da Radiação Luminosa Incidente sobre uma superfície externa, orientada e inclinada em qualquer direção, com resultados numéricos e gráficos horários, das 6:00 às 18:00 horas, para qualquer dia do ano.
- Cálculo da Radiação Luminosa Incidente num ponto interior de um cômodo através de uma janela vertical localizada numa das paredes e

- orientada em qualquer direção, com resultados numéricos e gráficos horários, das 6:00 às 18:00 horas, para qualquer dia do ano.
- Cálculo da Radiação Luminosa Incidente num ponto interior de um cômodo através de uma janela vertical com presença de lightShelf e localizada numa das paredes e orientada em qualquer direção, com resultados numéricos e gráficos horários, das 6:00 às 18:00 horas, para qualquer dia do ano.
 - Comparação dos resultados da Radiação Luminosa Incidente num ponto interior de um cômodo devido à uma janela vertical com presença de lightshelf e sem presença da mesma, e localizada numa das paredes e orientada em qualquer direção, com resultados numéricos e gráficos horários, para qualquer hora e dia do ano.

Na simulação de Janelas e Lightshelves, são calculadas as resultantes de todas as componentes de luz natural, inclusive a componente refletida interna. O programa permite que todos os dados sejam armazenados em arquivo de formato próprio para posterior reutilização, e possibilidade de impressão de todos os dados e resultados (valores numéricos e gráficos) em impressora apropriada.

5.2 - Descrição Detalhada do Programa

Denominado de *RadLite*, o programa é executado pelo método tradicional no ambiente windows, ou seja, clicando-se o ícone apropriado. Este, possui o aspecto de uma pequena lightshelf estilizada com um raio luminoso refletindo em sua superfície. O programa é então aberto e após alguns instantes a tela principal é apresentada.

5.2.1 - A Janela Principal

A janela principal do software se compõe exclusivamente de uma ampla área retangular uniforme e uma série de 13 botões situados em coluna à direita e responsáveis pela ativação dos módulos do programa (fig 12). Além dos botões, um pequeno relógio digital no topo da coluna, informa ao usuário a hora fornecida pelo sistema. Todas as operações e cálculos realizados pelo programa são ativados exclusivamente através de “clicks” no mouse do computador sobre a superfície destes botões, não existindo um menu superior da janela com as mesmas funções. Os botões e suas funções são:

1. **[Info]**: ativa a tela de informações sobre o programa, como dados do autor, endereço para correspondência, e etc.
2. **[Arquivos]**: ativa a tela para gravação ou leitura em disco, dos dados de uma determinada simulação executada.
3. **[Dados]**: ativa a tela de entrada de dados gerais da simulação.
4. **[Janela]**: ativa a tela de entrada de dados da janela, da sala, e do ponto de estudo da simulação.
5. **[LightShelf]**: ativa a tela de entrada de dados da lightshelf da simulação.
6. **[Variáveis]**: ativa a tela de entrada de valores para algumas variáveis utilizadas pelo programa na simulação;
7. **[Calc RAD]**: ativa o módulo de cálculo da radiação incidente na superfície (fachada) e a tela de visualização dos resultados desta simulação.
8. **[Calc JAN]**: ativa o módulo de cálculo da radiação luminosa incidente num ponto interior do ambiente na presença de janela lateral, e a tela de visualização dos resultados desta simulação.

9. **[Calc Shelf]**: ativa o módulo de cálculo da radiação luminosa incidente num ponto interior do ambiente na presença de janela lateral com lightshelf, e a tela de visualização dos resultados desta simulação.

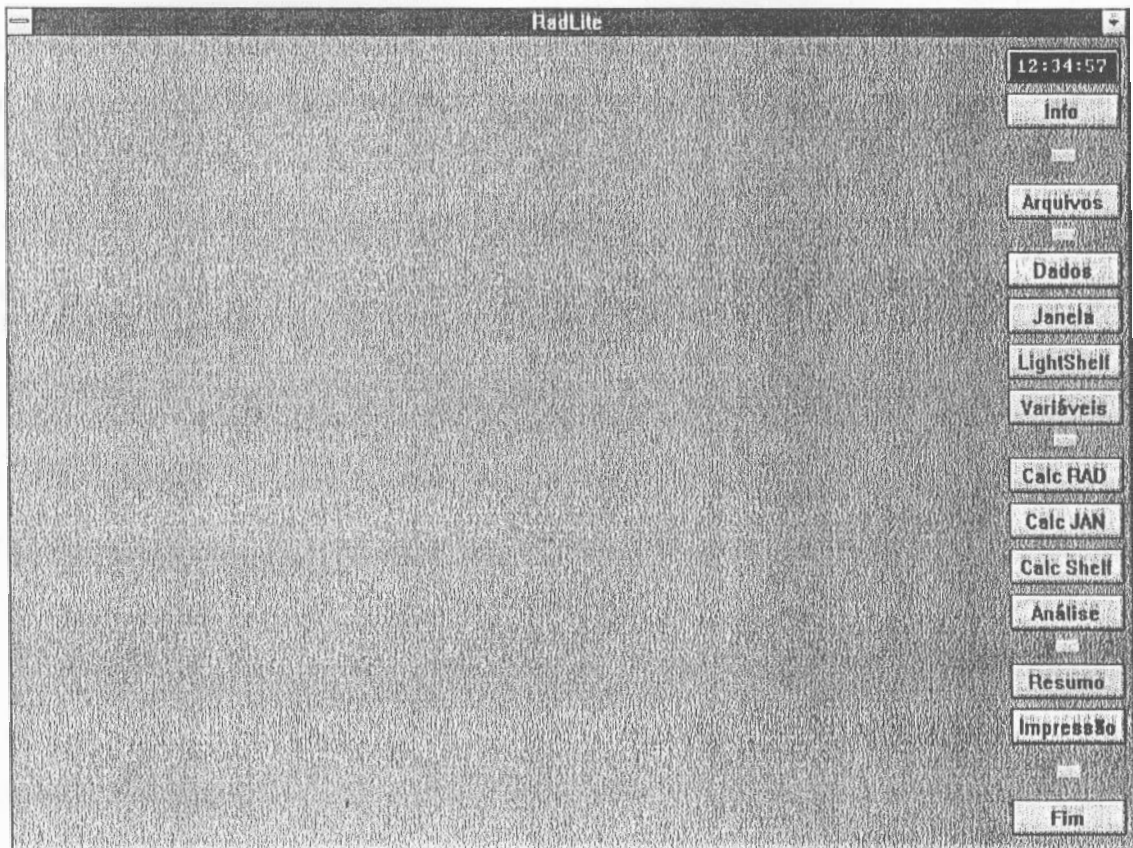


figura 12 - A janela principal do programa simulador

10. **[Análise]**: ativa o módulo de comparação dos resultados obtidos nas duas simulações anteriores, e a tela de visualização dos resultados desta comparação.

11. **[Resumo]**: ativa a tela de visualização de todos os dados de entrada do programa utilizados pelas simulações.

12. **[Impressão]**: ativa o módulo de impressão dos dados e resultados das simulações.

13 **[Fim]**: termina o aplicativo.

5.2.2 - A Janela para Manipulação de Arquivos

A janela para manipulação de arquivos (fig 13), ativada pelo botão [Arquivos] se compõe basicamente de um módulo para gravação e leitura em disco dos dados necessários para o recálculo das simulações. Devo-se notar que os resultados das simulações não são gravados, sendo portanto necessário após a leitura de um determinado arquivo, o recálculo das mesmas através dos botões apropriados .

Os arquivos de simulação são gravados em formato próprio, de pequeno tamanho (exatamente 137 bytes) e assumem automática e exclusivamente a terminação “rlt”. Desta forma, no quadro específico de arquivos existente na janela, só são listados os arquivos com esta terminação, facilitando a escolha do usuário.

Pressionando-se o botão [Gravar] os dados são arquivados em disco, e pressionando-se o botão [Abrir], os dados gravados em disco são lidos e o programa assume os novos valores para a simulação. Caso ocorra algum erro na entrada/saída de dados, uma janela de aviso ao usuário é mostrada alertando da impossibilidade da execução da operação (ex: abertura de arquivo não existente).

Um terceiro botão [Anula], permite a saída da janela de manipulação de arquivos sem que nenhuma função seja executada, ou seja, gravação ou recuperação de dados. Isto permite ao usuário apenas verificar quais arquivos já foram gravados, observando nas caixas de diálogo correspondentes os arquivos com terminação “rlt”.

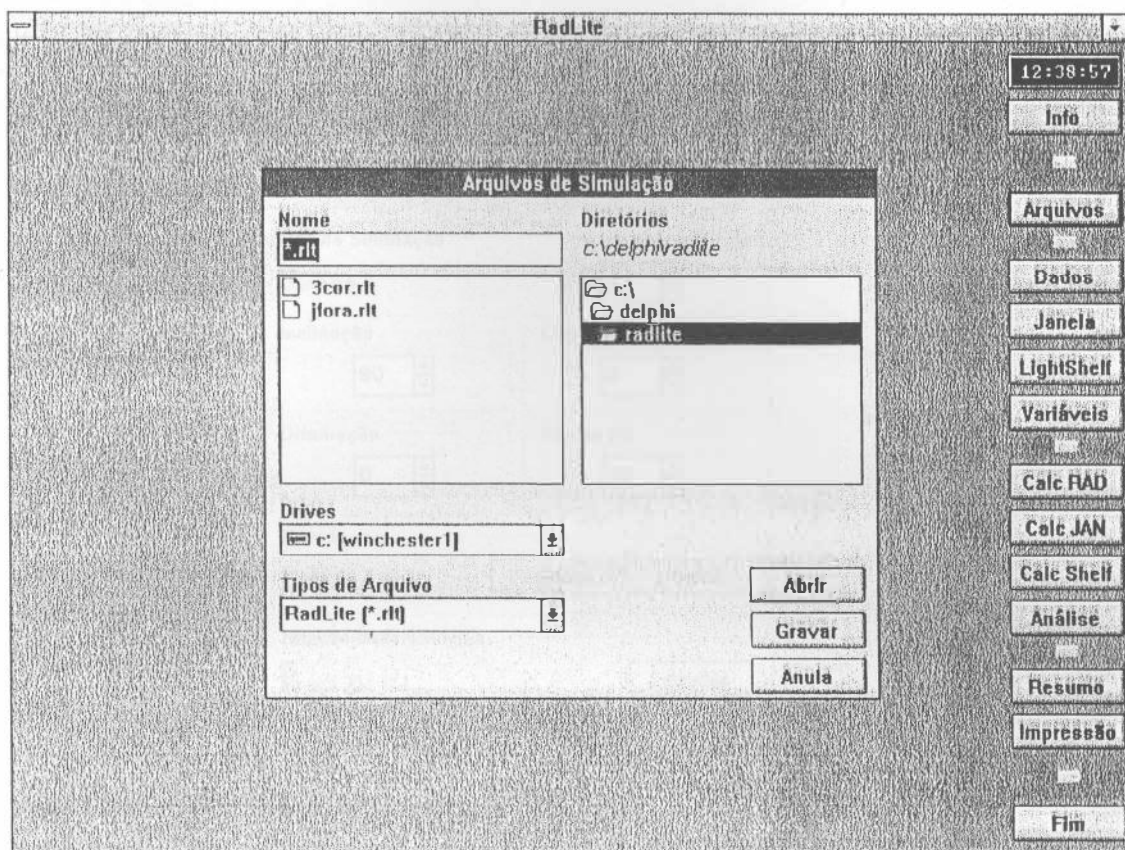


figura 13 - A janela de manipulação de arquivos

5.2.3 - A Janela para Entrada de Dados Gerais

A janela responsável pela entrada dos dados gerais da simulação (fig 14), é ativada pelo botão [Dados]. Através desta janela definem-se todas as variáveis utilizadas na simulação de radiação incidente sobre uma superfície externa (fachada). Os campos de entrada são os seguintes:

RadLite

Dados Gerais para Simulação

12:38:57

Info

Arquivos

Dados

Janela

LightShelf

Variáveis

Calc RAD

Calc JAN

Calc Shelf

Análise

Resumo

Impressão

Fim

Mês da Simulação

Janeiro 1

Inclinação 90

Correção de Hora 0

Orientação 0

Albedo (%) 20

Método

Dogniaux Dogniaux L'Omm

Estação Meteorológica

Praça XV, RJ Estações

OBS: Inclinação 0=horizontal / 90=vertical
Orientação 0=sul / -90=oeste / +90=leste / 180=norte

OK

figura 14 - A janela de entrada de dados gerais

1. **Mês da Simulação:** estabelece o mês para o qual as simulações serão executadas. O dia é pré-estabelecido, correspondendo ao dia de cada mês do ano em que a declinação solar apresenta um valor médio, conforme visto no Capítulo II (pag. 29) e repetido novamente a seguir :

- Janeiro e Julho : dia 17;
- Fevereiro, Abril, Maio e Novembro: dia 15;
- Março, Agosto, Setembro e Outubro: dia 16
- Junho e Dezembro: dia 11.

2. **Inclinação da Superfície:** estabelece a inclinação em relação à horizontal, da superfície diretamente exposta à radiação (fachada) e na qual poderá ser inserida a janela e a lightshelf. Pode assumir qualquer valor entre 0 graus (superfície horizontal) e 90 graus (superfície vertical). Deve-se notar que apesar do programa ser capaz de simular a radiação solar incidente para superfícies de qualquer inclinação, o mesmo não se faz com lightshelves e janelas, as quais só podem estar inseridas em superfícies verticais (inclinação = 90 graus).

3. **Orientação da Superfície:** estabelece a orientação da superfície diretamente exposta à radiação (fachada) em relação aos pontos cardeais. Assumindo o valor 0 (zero), determina que a superfície estará voltada para o sul, 180 para o norte, -90 (menos noventa graus) para oeste e +90 para leste.

4. **Correção de hora:** estabelece se o programa deve levar em conta a correção, por exemplo, do horário de verão, quando assume o valor 1.

5. **Albedo:** estabelece o valor para a refletividade global do ambiente em torno da edificação em estudo.

6. **Método:** pressionando-se o botão [Dogniaux] ou [L'Omm] abrem-se janelas correspondentes a cada um dos dois métodos disponíveis para simulação das condições de céu, a saber:

- Método DOGNIAUX: possibilidade de simular céus em regiões de clima polar, desértico, temperado ou tropical, em ambientes rurais, urbanos ou industriais;
- Método L'Omm: possibilidade de simular céus em regiões de clima polar, desértico, temperado ou tropical, com a abóboda celeste apresentando aspecto azul escuro, médio, claro, pálido, esbranquiçado ou leitoso;

7. **Estação Meteorológica:** pressionando-se o botão [Estações] abre-se uma janela com uma lista de 69 localidades pré-estabelecidas. Selecionando-se qualquer uma delas, o programa assume automaticamente valores para latitude, longitude, altitude, e o fuso horário do ponto geográfico em que está situada. Selecionando-se a opção “Outra Localidade”, abre-se uma outra janela onde novos valores para aqueles parâmetros (cidade, latitude, longitude, altitude e fuso horário) poderão ser inseridos pelo usuário, caso a localidade a ser simulada não conste da lista embutida no programa.

5.2.4 - A Janela para Entrada de Dados da Abertura e Sala

Esta janela (fig. 15) é responsável pela entrada dos dados englobando a janela inserida na superfície exposta à radiação, as dimensões e características da sala e a posição espacial do ponto em estudo dentro do ambiente. Nesta janela entra-se também com as características do fechamento da abertura, como tipo de vidro e espessura dos perfis da esquadria. É ativada pressionando-se o botão [Janela] do menu lateral da tela principal do programa. As opções de entrada nesta janela são:

- Altura da Sala em estudo: pé-direito do cômodo;
- Largura da Sala: distância perpendicular entre as paredes laterais 2 e 4;
- Comprimento da Sala: distância perpendicular entre a parede da janela e a parede dos fundos;
- Coordenada X da Janela: distância perpendicular entre um ponto da lateral da abertura e a parede 2 da sala (figura 16);

- Reflectâncias das Superfícies Internas da Sala: modificam-se estes parâmetros clicando-se o botão [Refletâncias], o que ativará uma nova janela para entrada destes dados;
- Largura da janela (dimensão horizontal da abertura);
- Altura da Janela (dimensão vertical da abertura);
- Altura do Parapeito: distância entre o piso da sala e o parapeito;
- Deslocamento ao Centro: é a distância entre os planos verticais que passam pelo ponto de estudo e pelo centro geométrico da janela respectivamente, ambos perpendiculares ao plano da janela. Assume valores negativos se o ponto em estudo se situa à esquerda do centro da janela, para um observador dentro da sala;
- Distância Ponto-Janela: é a distância perpendicular entre a parede da janela e o ponto de estudo da simulação;
- Altura Ponto-Chão: é a distância entre o ponto em estudo e o piso da sala;
- Tipo de Vidro: pode-se optar entre quatro tipos principais para o fechamento da abertura (transparente, texturizado, Especial e Plástico), sendo que cada tipo apresenta sub-tipos específicos. A seleção se dá pressionando-se o botão apropriado, o que ativa uma janela distinta para cada uma das diferentes tipologias.
- Perfil do Caixilho: possibilita a seleção entre 3 tipos de caixilhos pré-definidos pelo sistema: Caixilho Fino (que reduz em 10% a área efetiva da janela), Caixilho Médio (redução de 25%) e Caixilho Grosso (redução de 40%);

Todos os valores referentes a dimensões nesta tela são dados em centímetros.

RadLite

Dados da Janela e da Sala

Altura da Sala
270

Largura da Sala
300

Comprim. da Sala
300

Coord. X da Janela
100

Paredes
Refletâncias

Par1=0,70
Par2=0,70 Teto=0,80
Par3=0,70 Piso=0,20
Par4=0,70

Largura da Janela
60

Altura do Parapeito
80

Dist. Ponto - Janela
100

Tipo de Vidro
Transparente
Texturizado
Especial
Plástico
Transparente Normal

Altura da Janela
60

Desloc. ao Centro
0

Altura Ponto - Chão
80

Perfil do Caixilho
Fino
Médio
Grosso
Perfil Médio

OBS: Todas as distâncias em centímetros

OK

Fim

12:38:57
Info
Arquivos
Dados
Janela
LightShell
Variáveis
Calc RAD
Calc JAN
Calc Shell
Análise
Resumo
Impressão

figura 15 - A janela de entrada de dados da abertura, sala e ponto

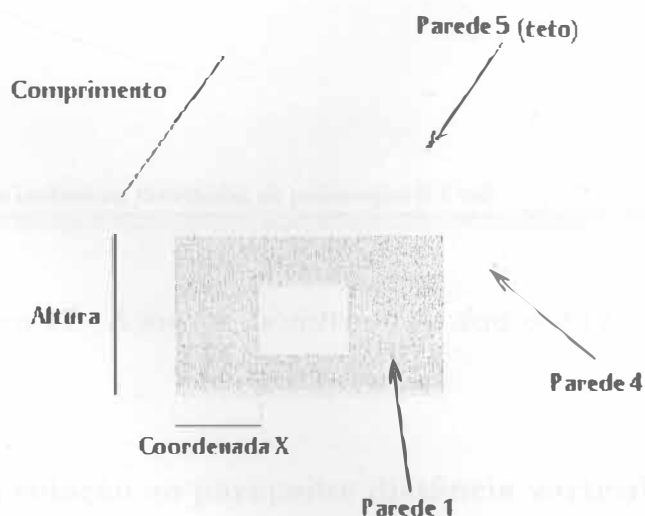


figura 16 - Numeração das superfícies internas e Distâncias utilizadas pelo programa

5.2.5 - A Janela de Entrada de Dados da LightShelf

Nesta janela (fig 17), que é ativada pelo pressionamento do botão [LightShelf] da janela principal do programa, estabelecem-se os valores para os seguintes parâmetros relacionados às características da lightshelf:

RadLite

Dados da Lightshelf

12:38:57

Info

Arquivos

Dados

Janela

LightShelf

Variáveis

Calc RAD

Calc JAN

Calc Shelf

Análise

Resumo

Impressão

Fim

Altura em relação ao parapeito: 80

Espessura: 5

Largura da Aba Externa: 60

Largura da Aba Interna: 60

Refletância da Superf. Superior: 80

Refletância da Superf. Inferior: 80

OBS: Dimensões em centímetros, Refletâncias em porcentagem (0 a 100)

OK

figura 17 - A janela de entrada de dados da LightShelf

- Altura em relação ao parapeito: distância vertical entre o parapeito da janela e a superfície inferior da lightshelf;
- Espessura: altura do dispositivo a simular (espessura da laje);

- Largura da Aba Externa: corresponde à dimensão do balanço externo tomada a partir do plano da janela;
- Largura da Aba Interna: corresponde à profundidade que a lightshelf penetra fisicamente no cômodo;
- Reflectância da Superfície Superior: é o valor desta característica para a superfície superior da lightshelf, tanto para a aba externa quanto para a interna;
- Reflectância da Superfície Inferior: idem, para a superfície inferior da lightshelf;

5.2.6 - A Janela de Entrada de Valores das Variáveis

Nesta janela existe a opção de entrada de dois valores que são utilizados pelo programa no cálculo da radiação solar incidente. São eles: o rendimento luminoso do céu claro e o rendimento luminoso do céu encoberto, ou seja, quanto da radiação total (sol+céu) incidente numa superfície, é efetivamente em forma de radiação luminosa. A modificação destes dois parâmetros possibilita o ajuste das simulações às medições realizados em campo, caso estas existam.

Os valores default são os encontrados por Dogniaux em suas pesquisas. O botão [Default] retorna estes valores para o sistema, caso seja pressionado. (fig. 18) Estes valores são:

- Para o céu claro: 106,97 lm/W
- Para o céu encoberto: 126,08 lm/W

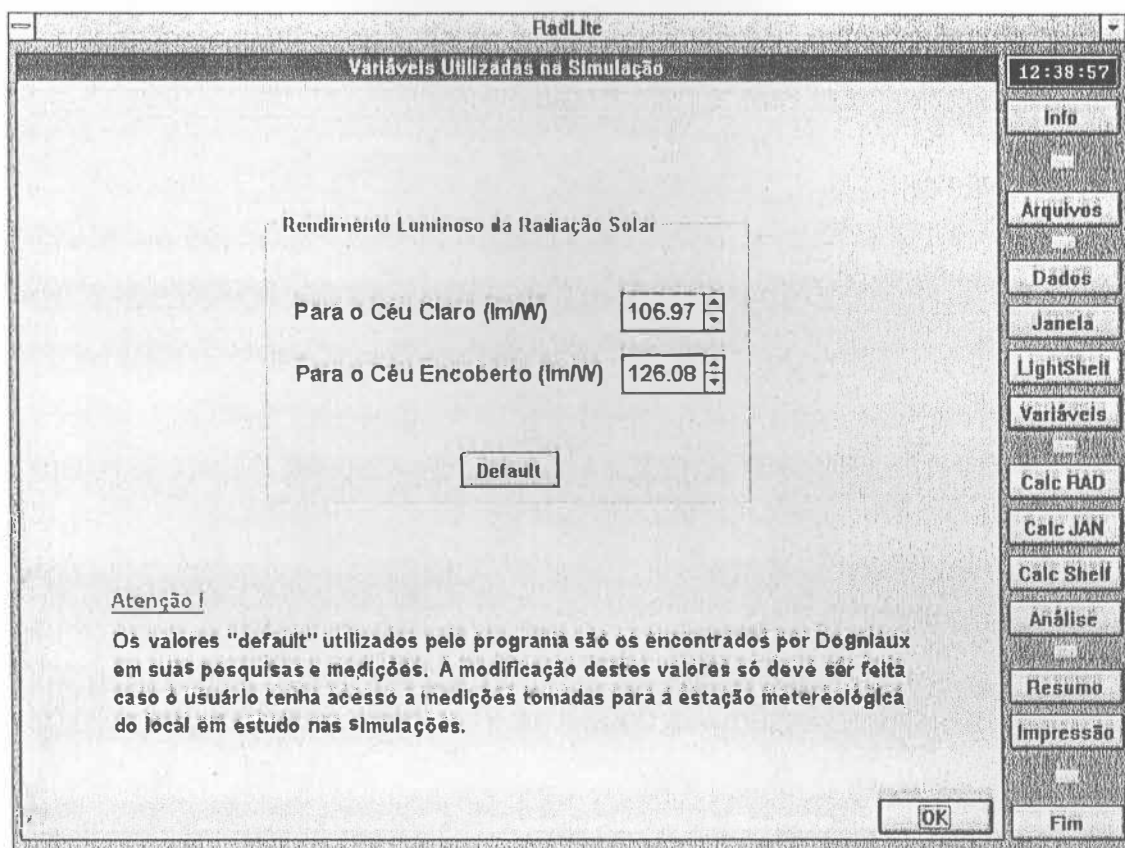


figura 18 - A janela de entrada de valores das variáveis

5.2.7 - A Janela de Resultados da Simulação de Radiação

Esta janela (fig. 19) surge como resultado dos cálculos da radiação solar incidente sobre a superfície (fachada) definida na Janela de Entrada de Dados Gerais, e segundo os parâmetros estabelecidos na mesma, ou seja, local, orientação, inclinação, mês e método de cálculo (Dogniaux ou L'Omm).

Entre todas as operações realizadas pelo programa, esta é a função que mais demanda tempo de processamento do computador, levando aproximadamente 19 segundos num sistema 486-DX4-100, ou 30 segundos num 486-DX2-66.

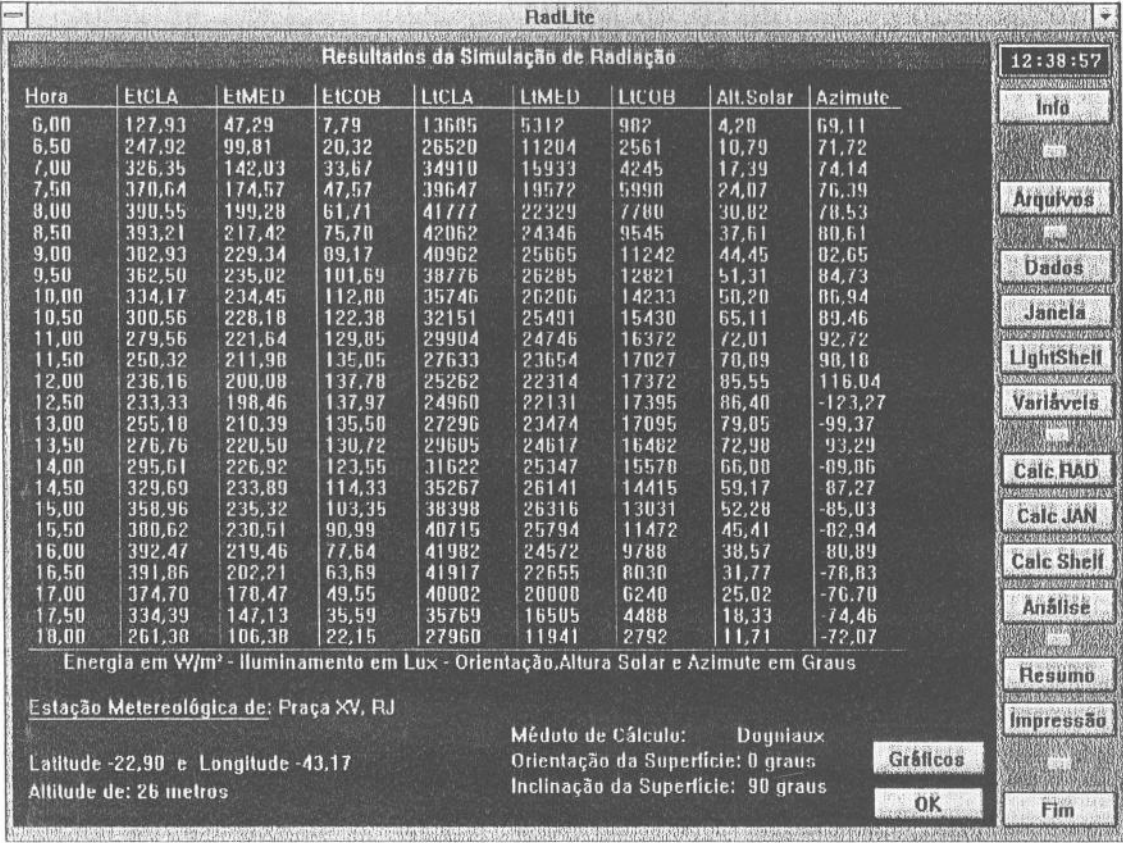


figura 19 - A tela de Resultados da Simulação de Radiação Incidente

Num sistema 386, os cálculos podem chegar a requerer 2 minutos de processamento antes de liberar os resultados na tela. Devido ao tempo relativamente longo do processo, uma mensagem de aviso é mostrada na tela para que o usuário tenha conhecimento de que os cálculos estão em execução, e que o sistema não travou. Com o mesmo objetivo, uma barra de status mostra o progresso dos cálculos de forma gráfica e numérica (porcentagem de execução) até sua conclusão.

Os resultados são apresentados em forma tabular (numérica) e gráfica, sendo que a opção entre as alternativas é feita clicando-se o botão [Valores/Gráfico].

Os resultados numéricos apresentam os valores calculados em intervalos de 1/2 hora para o período de 6:00h até 18:00h. Para cada período é mostrado:

- Radiação Solar Total Incidente com Céu Claro (EtCLA);
- Radiação Solar Total Incidente com Céu Médio (EtMED);
- Radiação Solar Total Incidente com Céu Encoberto (EtCOB);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Claro (LtCLA);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Médio (LtMED);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Encoberto (LtCOB);
- Altura do sol;
- Azimute do sol;

As unidades são respectivamente: para radiação total, em W/m^2 , para radiação luminosa, em Lux, e para altura e azimute solares, em graus. O total diário calculado de energia radiante incidente sobre a superfície (em kWh/m^2), para condições de céu variável, também é apresentado, assim como um pequeno resumo das características físicas da localidade também pode ser visualizado na parte inferior da tela.

Quando visualizados em forma gráfica, os resultados apresentam apenas os valores de EtCLA, EtMED e EtCOB (num primeiro gráfico) e LtCLA, LtMED e LtCOB (num segundo gráfico), separados de maneira a manter uma coerência de unidades. No eixo vertical o único valor cotado é a ordenada máxima, deixando os valores intermediários para serem estimados visualmente pelo usuário.

5.2.8 - A Janela de Resultados da Simulação de Janela

Esta tela surge (pressionando-se o botão [Calc JAN] do menu lateral) como resultado dos cálculos da simulação de iluminação natural num determinado ponto da sala, devido à existência na mesma de uma abertura vertical na sua fachada principal (fig 20). As características da sala, da abertura e a localização espacial do ponto em estudo, são as anteriormente definidas na janela de entrada destes dados, conforme descrito em 5.2.4. Observa-se que a simulação só se realizará caso já tenham sido executados os cálculos de radiação incidente e a condição *inclinação da superfície = 90 graus* seja satisfeita.

Os resultados são apresentados em forma tabular (numérica) e gráfica (fig 21), sendo que a opção entre as alternativas é feita clicando-se o botão [Valores/Gráfico].

Os resultados numéricos apresentam os valores calculados em intervalos de 1/2 hora para o período de 6:00h até 18:00h. Para cada período é mostrado:

- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Claro (LtCLA);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Médio (LtMED);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Encoberto (LtCOB);
- Altura do sol;
- Azimute do sol;

Quando visualizada em forma de gráfico (fig 21), o resultado da simulação apresenta ainda uma informação extra, na forma de uma linha de símbolos logo abaixo do eixo horário: um pequeno quadrado azul indicará que o ponto em estudo só recebe iluminação devido ao céu,

enquanto que a existencia de um asterísco amarelo indicará que naquele instante, a simulação calculou presença de insolação direta no ponto.

Este dado é de grande importância, já que grande parte do trabalho do arquiteto envolvido em trabalhos de iluminação natural, é desenvolver métodos de remover a luz direta do sol de dentro da edificação.

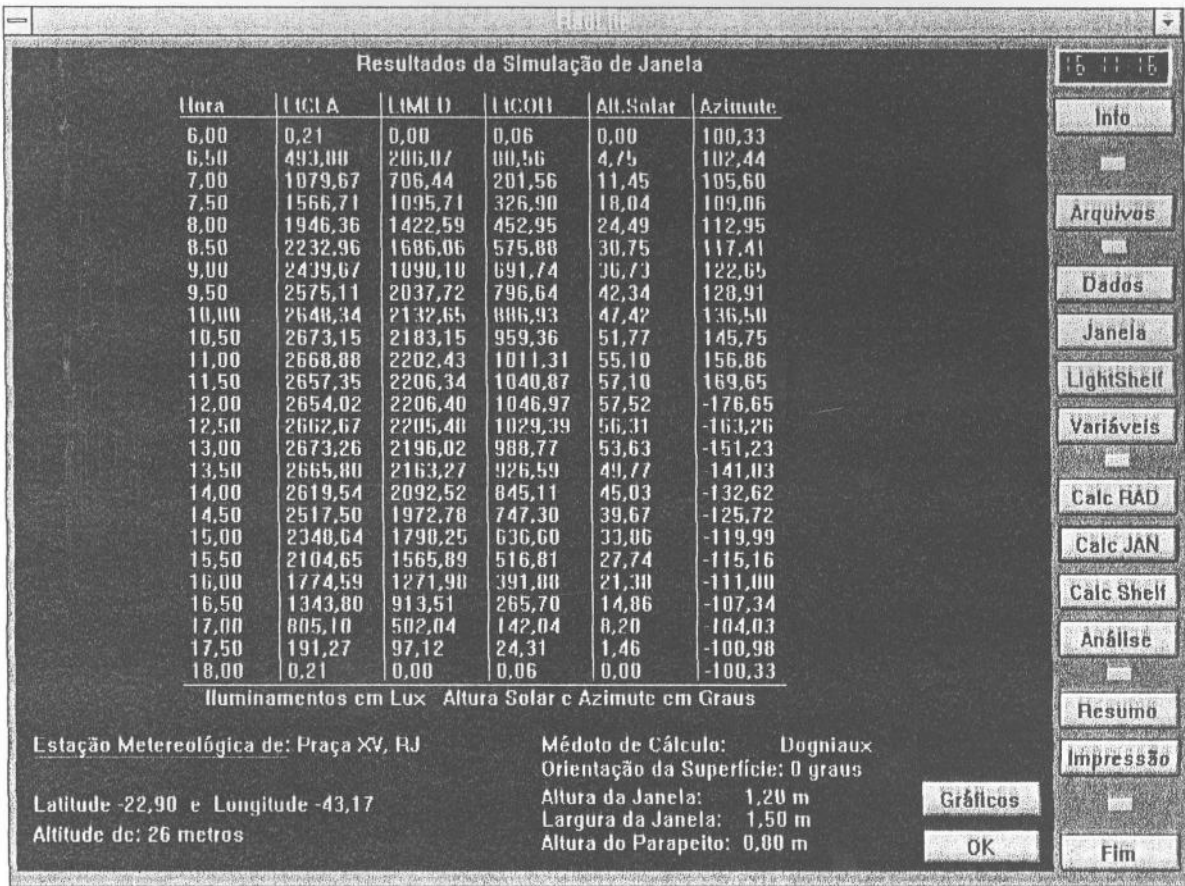


figura 20 - A tela de Resultados da Simulação de Janela

É importante ressaltar que no caso haja incidência direta de sol no ponto em estudo, o calculo das componentes é feito segundo os seguintes critérios: calcula-se os valores considerando apenas a radiação difusa proveniente do céu e soma-se a esta o valor da componente direta para um plano horizontal externo. O total representa o iluminamento interior.

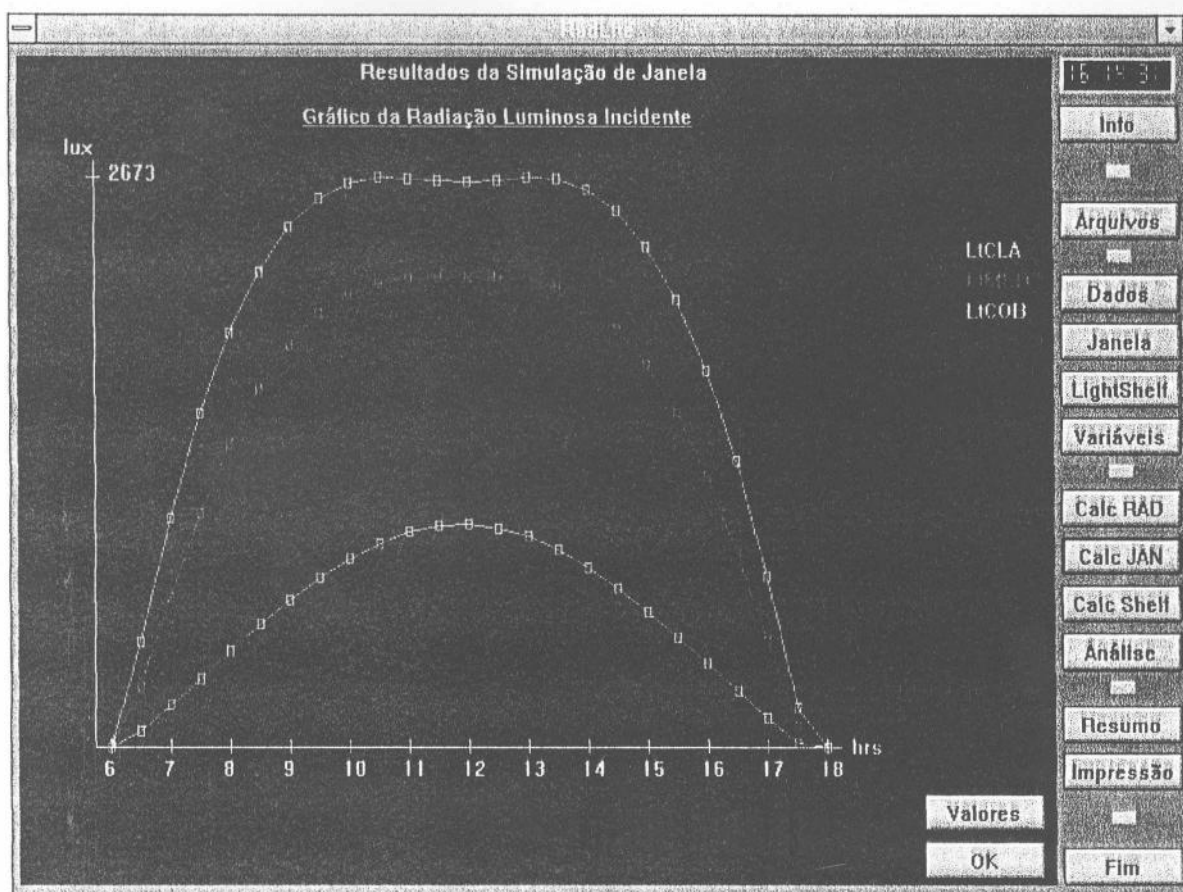


figura 21 - A tela do Gráfico da Simulação de Janela

5.2.9 - A Janela de Resultados da Simulação de LightShelf

Esta janela apresenta os resultados dos cálculos da simulação de iluminação natural num determinado ponto da sala, devido à existência da mesma abertura vertical simulada conforme visto em 5.2.8., porém com a inclusão de uma lightshelf num ponto intermediário de sua altura. As características da lightshelf são definidas na Tela de Entrada de Dados da Lightshelf, como descrito anteriormente em 5.2.5. Seu acionamento se dá ao pressionar o botão [Calc Shelf] do menu lateral da janela principal do programa. Os resultados e gráficos são apresentados de forma exatamente igual aos da simulação de janelas.

5.2.10 - A Janela de Comparação das Simulações

Nesta janela podem ser visualizados os resultados de uma comparação (análise) entre a simulação de janela e a simulação de lightshelf. É acionada ao se pressionar o botão [Análise] do menu lateral.

Os resultados numéricos apresentam os valores calculados em intervalos de 1/2 hora para o período de 6:00h até 18:00h, onde é mostrado:

- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Claro devido à janela sem lightshelf (jaCLA);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Médio devido à janela sem lightshelf (jaMED);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Encoberto devido à janela sem lightshelf (jaCOB);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Claro devido à janela com lightshelf (lsCLA);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Médio devido à janela com lightshelf (lsMED);
- Radiação Luminosa Total Incidente com Céu Encoberto devido à janela com lightshelf (lsCOB);
- Relações $lsCLA/jaCLA$, $lsMED/jaMED$ e $lsCOB/jaCOB$;

A comparação entre as duas situações simuladas (sem e com a lightshelf) é feita basicamente através das relações ls/ja mostradas nas três últimas colunas da tabela. Valores maiores que a unidade denotam um aumento do nível de iluminação no ponto em estudo devido a presença da lightshelf, enquanto valores entre 0 e 1, denotam uma diminuição do mesmo. Para uma análise mais rápida por parte do

usuário, nestas três colunas os resultados são apresentados na cor verde quando a relação $ls/ja > 1$ e na cor rosa se $0 < ls/ja < 1$.

Deve-se ressaltar entretanto, que para uma avaliação mais criteriosa da eficiência da lightshelf na redistribuição da luz natural no cômodo, a verificação da coluna de símbolos à direita é mais significativa, pois leva em consideração a presença de luz direta no ponto, e não simplesmente a diminuição ou aumento do iluminamento no mesmo. As letras “efic.” nesta coluna indicam eficiência positiva da lightshelf, segundo os seguintes critérios:

1. Aumento do iluminamento, se na simulação de janela não existir radiação direta incidente no ponto;
2. Diminuição do iluminamento, se na simulação de janela e/ou de lightshelf existir incidência de radiação solar direta no ponto;

Clicando-se o botão [Valores/Graficos], os resultados da comparação são apresentados em forma de gráficos, para os três tipos de céu estudados.

5.2.11 - A Janela de Resumo dos Dados de Entrada

Nesta janela, que é apresentada ao se pressionar o botão [Resumo] do menu lateral, pode ser visualizado um resumo de todos os dados de entrada utilizados nas simulações. Sua função é permitir uma revisão global dos parâmetros de entrada ativos, sem necessidade de acionar cada janela de entrada de dados individualmente. No âmbito dessa janela, não se pode modificar qualquer dado de entrada, apenas visualiza-los.

5.2.12 - A Janela de Impressão dos Resultados

Pressionando-se o botão [Impressão] da janela principal, abre-se a tela de opções de impressão do programa RadLite (fig. 22). Pode-se imprimir todos os dados de entrada e resultados numéricos encontrados nas simulações e todos os gráficos correspondentes. A tabulação e o aspecto dos gráficos são mantidos exatamente iguais aos mostrados na tela do computador, para facilitar sua visualização e leitura.

A escolha do que será impresso se dá através da seleção/deseleção das opções constantes na janela. Dependendo das escolhas, a impressão pode variar de uma única folha até um máximo de 6 páginas (completa).

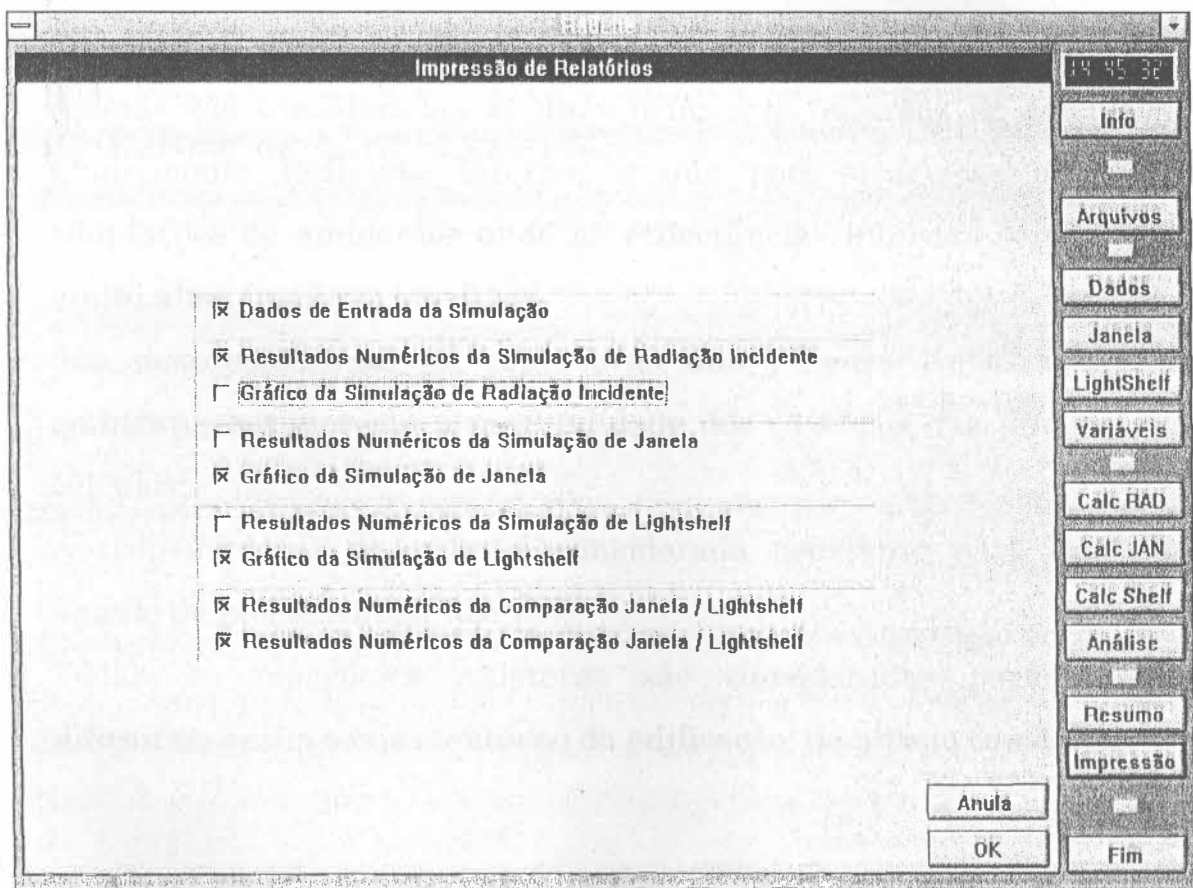


figura 22 - A tela de Opções de Impressão dos Resultados

5.3 - Limitações do Software

Apesar de bastante completo, o programa apresenta algumas limitações, que devem ser levadas em conta pelo usuário, discriminadas a seguir:

- Só é possível simular ambientes de planta retangular;
- Só é possível simular ambientes que possuam uma única abertura para o exterior (janela);
- A abertura deve ser vertical, não sendo portanto possível simular iluminação zenital do ambiente;
- Não é possível entrar com máscaras de sombreamento externas, de modo que considera-se o ambiente situado numa região perfeitamente plana e com vista perfeitamente desobstruída da abóboda celeste;
- Apenas são consideradas as duas primeiras reflexões no cálculo da Componente Refletida Interna, o que pode acarretar erros em simulações de ambientes onde as reflectâncias internas sejam todas muito altas (maiores que 0,80);
- São desconsideradas as espessuras das paredes constituintes do ambiente, assim como a profundidade dos caixilhos das janelas, nos cálculos;
- A transmitância do vidro é considerada constante para qualquer ângulo de incidência da luz;
- Todas as superfícies refletoras são consideradas perfeitamente difusoras, assim como o entorno da edificação, de albedo constante;



6.1 - Radiação Total incidente sobre um Plano Horizontal

Todas as simulações de iluminação natural executadas neste trabalho baseiam-se na premissa de que o Modelo de Dogniaux é capaz de considerar razoavelmente as condições reais de céu e a disponibilidade do recurso solar para uma localidade qualquer, sendo conhecidas sua posição geográfica e o clima predominante da região.

Para a verificação da confiabilidade deste modelo às reais condições de insolação medidas, procurou-se estabelecer uma comparação com os resultados analisados por Corbella³⁰ e Cavalcanti³¹.

Corbella se utiliza da correlação de Angstron, para ajuste de parâmetros através de mínimos quadrados, de dados oficiais da radiação solar global para um plano horizontal, para o Rio de Janeiro, de 1978 a 1989 (doze anos). Apresenta como resultados os parâmetros de ajuste e as médias mensais consolidadas para o referido período.

Cavalcanti, por sua vez, apresenta dados de medições de radiação solar global realizadas durante o período compreendido entre junho de 1979 a agosto de 1983, na Ilha do Fundão, Rio de Janeiro. Para comparação com os valores encontrados pelo software de simulação, tomou-se como base as médias mensais consolidadas, como foi feito com os resultados de Corbella.

³⁰ Corbella, O. (1995) p. 167-172

³¹ Cavalcanti, E. S. C. (1991) p. 232-235

No programa RadLite, as simulações foram executados para cada mês, utilizando-se como parâmetros do local: Clima Tropical e Ambiente Urbano (Índice de Turvamento de Link = 3,647).

Após a tabulação adequada de todos os resultados disponíveis, traçou-se gráficos comparativos entre a situação encontrada pelos dois pesquisadores e a simulada pelo programa (graficos 1 e 2)

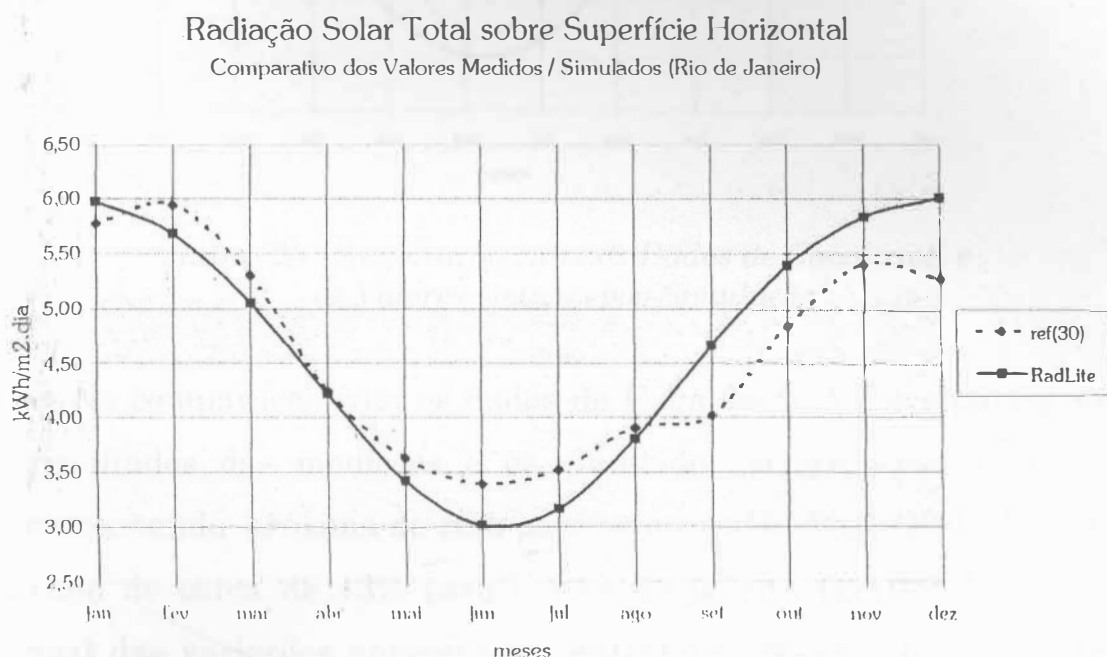


gráfico 1 - Comparação entre os Resultados de Corbella e os Valores Obtidos por Simulação

Observa-se que existe uma discrepância entre os valores encontrados por Corbella e os simulados, discrepância esta que varia mensalmente, sendo próxima de zero para o mês de abril, até um máximo de cerca de 17% para o mês de setembro (gráfico 3). Calculando, encontra-se que a média das variações é de 7,62%. Entretanto, em termos da média anual de radiação total incidente, a diferença apresenta-se muito menos significativa, sendo de apenas 1,69% (Valor medido: 4,61 kWh/m².dia e Valor simulado: 4,68 kWh/m².dia).

Radiação Solar Total sobre Superfície Horizontal

Comparativo dos Valores Medidos / Simulados (Rio de Janeiro)

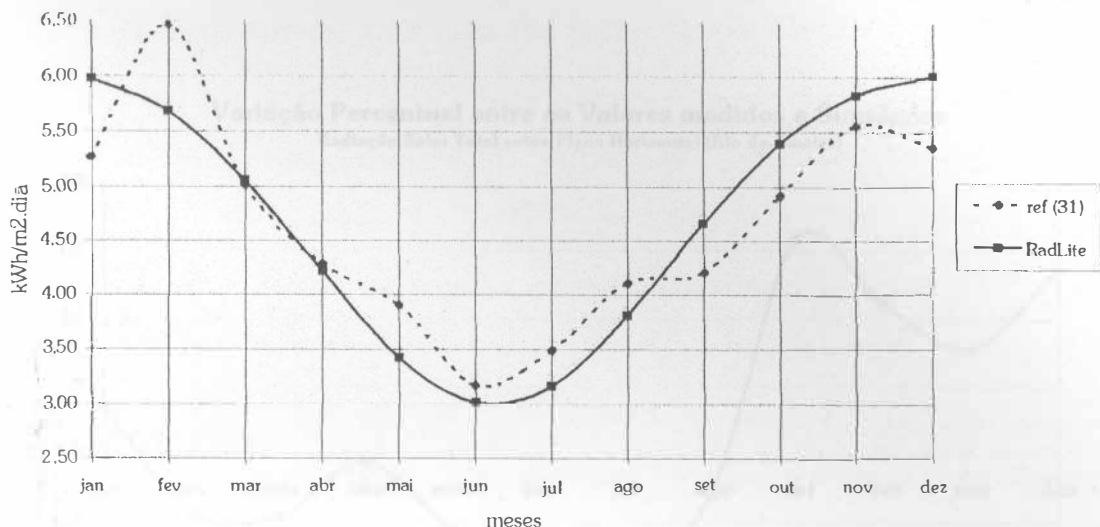


gráfico 2 - Comparação entre os Dados de Cavalcanti e os Valores Obtidos por Simulação

Na comparação com os dados de Cavalcanti, a discrepância entre os resultados das medições e os simulados atinge valores absolutos menores, sendo próxima de zero para os meses de março e abril, com um máximo de cerca de 13% para o mês de janeiro (gráfico 4). A média mensal das variações apresenta-se entretanto maior que a encontrada com os dados de Corbella, com 8,27%. Em termos da média anual de radiação total incidente, a diferença, ao contrário, é menor e quase que exatamente a metade da anterior, sendo de 0,84% (Valor medido: 4,64 kWh/m².dia e Valor simulado: 4,68 kWh/m².dia).

Considerando-se que normalmente num projeto arquitetônico o comportamento médio da edificação durante o período de um ano é mais significativo que situações pontuais passíveis de ocorrência neste mesmo período, considera-se aceitável a variação encontrada. Ressalta-se também, que a ocorrência desta flutuação é válida apenas para o Rio de Janeiro, podendo ser maior ou menor para uma outra localidade ou para

um outro período de medições, visto que o clima mundial vem sofrendo alterações significativas ao longo dos últimos anos.

0.2.1 - O Ambiente Padrão do Estudo (APE)

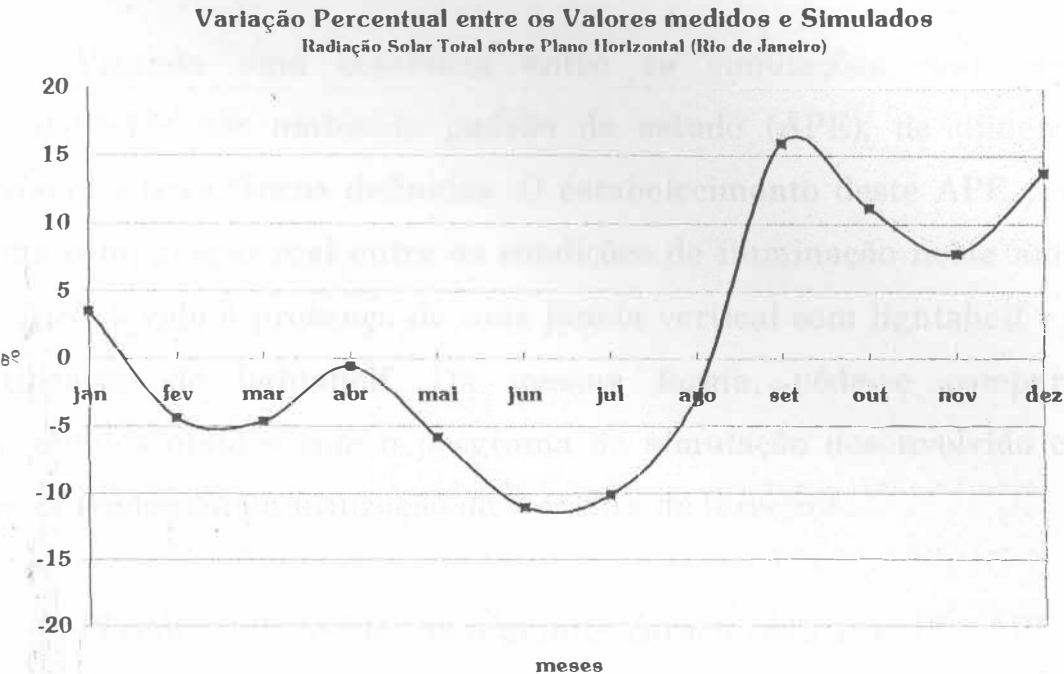


gráfico 3 - Variação entre os Resultados de Corbella e os Valores Obtidos por Simulação

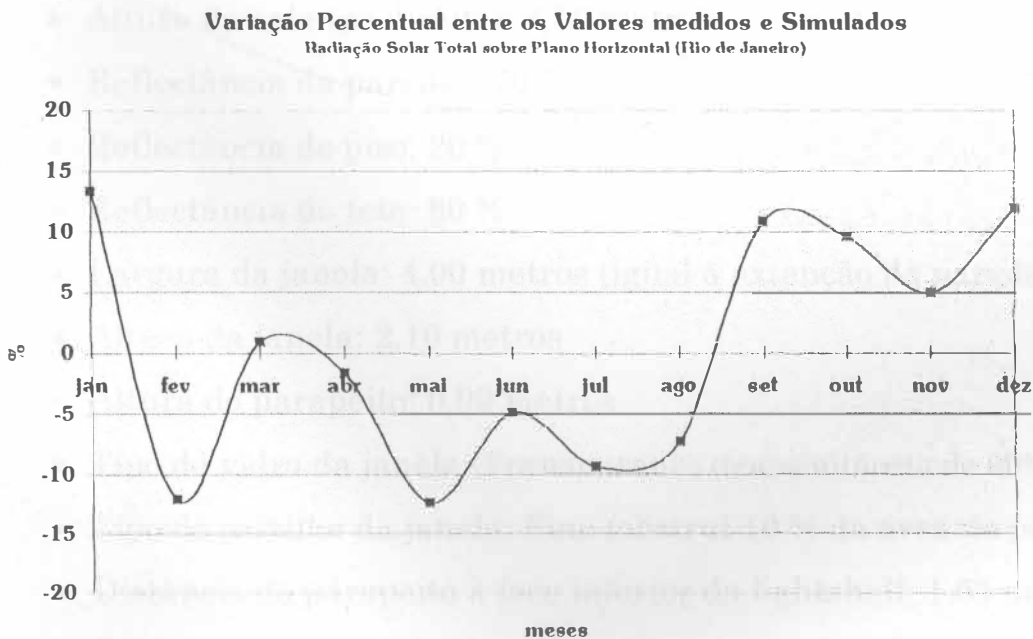


gráfico 4 - Variação entre os Dados de Cavalcanti e os Valores Obtidos por Simulação

6.2 - Iluminamento Interno sobre um Plano Horizontal

6.2.1 - O Ambiente Padrão de Estudo (APE)

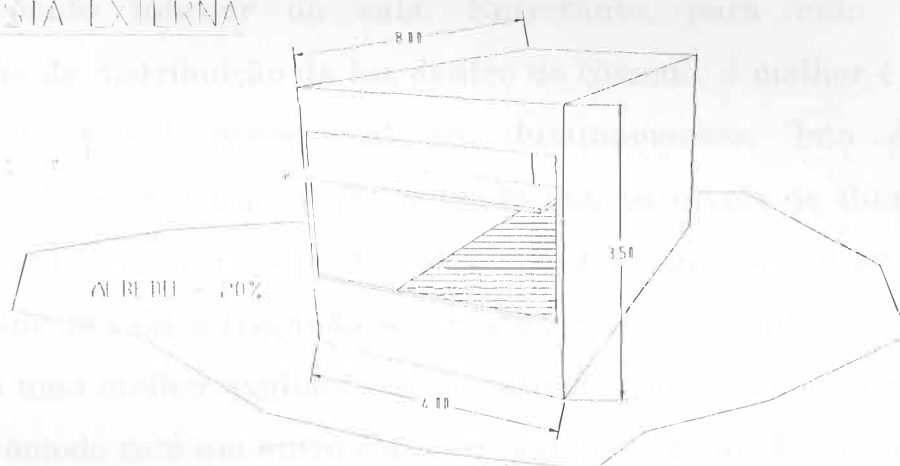
Visando uma coerência entre as simulações realizadas, foi estabelecido um ambiente padrão de estudo (APE), de dimensões e características físicas definidas. O estabelecimento deste APE permitiu uma comparação real entre as condições de iluminação neste ambiente teórico devido à presença de uma janela vertical sem lightshelf e com a utilização de lightshelf. Da mesma forma, pôde-se comparar os resultados obtidos com o programa de simulação desenvolvido com os encontrados com a utilização de software de terceiros.

Foram estabelecidos as seguintes características para o APE:

- Largura da sala: 4,00 metros
- Comprimento da sala: 8,00 metros
- Altura da sala (pé direito): 3,50 metros
- Reflectância da paredes: 70 %
- Reflectância do piso: 20 %
- Reflectância do teto: 80 %
- Largura da janela: 4,00 metros (igual à extensão da parede)
- Altura da janela: 2,10 metros
- Altura do parapeito: 0,90 metros
- Tipo de vidro da janela: Transparente (transmitância de 90%)
- Tipo de caixilho da janela: Fino (obstrui 10 % da área da janela)
- Distância do parapeito à face inferior da lightshelf: 1,55 metros
- Espessura da lightshelf: 0,05 metros
- Tamanho da Aba externa da lightshelf: 0,50 metros

- Tamanho da Aba interna da lightshelf: 0,50 metros
- Reflectância da superfície superior da lightshelf: 80 %
- Reflectância da superfície inferior da lightshelf: 80 %
- Albedo do ambiente externo: 20 %
- Ausência de qualquer obstrução externa ao APE
- Coeficiente de Turbidez de Link: 3,660 ($w = 3$, $\beta_a = 0.1$)

VISTA EXTERNA



VISTA EM CORTE

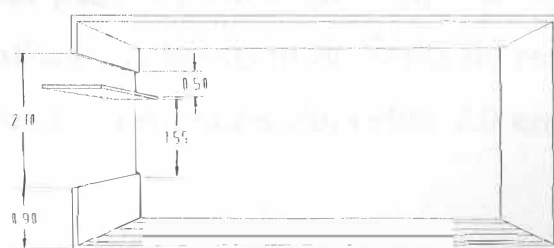


figura 23 - O Ambiente Padrão de Estudo

6.2.2 - Iluminamentos Internos devido à janela sem Lightshelf

Comprovada a confiabilidade do modelo no cálculo da radiação solar incidente na fachada da edificação e estabelecidas as dimensões do cômodo a ser estudado (ΔPE), pode-se proceder ao cálculo da iluminação no mesmo devido à uma janela vertical simples (sem lightshelf) existente na parede principal.

Utilizando-se das equações apresentadas no Capítulo V, o programa Radlite é capaz de calcular os iluminamentos horários para qualquer ponto interior da sala. Entretanto, para uma melhor visualização da distribuição da luz dentro do cômodo, o melhor é que se obtenha um perfil transversal de iluminamentos. Isto é feito determinando-se para uma certa hora do dia, os níveis de iluminação correspondentes à diversos pontos igualmente espaçados no sentido da profundidade da sala, e traçando-se o gráfico correspondente.

Para uma melhor avaliação dos resultados encontrados, simulou-se o mesmo cômodo com um outro software, este desenvolvido no Lawrence Berkeley Laboratory, da Universidade da Califórnia, denominado Superlite 2.0, e que pode ser executado em microcomputadores do tipo IBM-PC ou compatíveis. A listagem de saída de resultados encontrados para a simulação com o programa Superlite 2.0 encontra-se nos anexos deste trabalho.

As simulações executadas basearam-se nas seguintes condições:

- Local da Simulação: Localidade de latitude 30 graus Norte, longitude 40 graus Oeste, altitude 2,00 metros sobre o nível do mar. A razão da localidade estar situada no hemisfério norte se deveu ao fato de que o programa Superlite 2.0 só apresenta

resultados válidos para pontos situados em latitudes positivas. Uma tentativa de simulação para localidade do hemisfério sul apresentou valores irreais no cálculo dos azimutes e das alturas solares. O programa desenvolvido entretanto (Radlite) não apresenta esta limitação, o que permitiu uma comparação dos resultados.

- Ambiente Padrão de Estudo (APE) orientado para o Sul (0 graus). Optou-se pela orientação sul para o APE porque para um ponto com as coordenadas geográficas escolhidas, só uma fachada sul apresenta possibilidade de luz direta incidente dentro do ambiente, o que é essencial para simulações sob condição de céu claro.
- Pontos Simulados: Posicionados em linha perpendicular à parede da janela, passando pelo centro do cômodo, e distantes da janela 0,80m, 2,40m, 4,00m, 5,60m e 7,20m respectivamente. Altura de referência dos pontos igual a 0,75m.
- Horário de cálculo: 09:00h, 11:00h, 13:00 e 15:00h.
- Dois tipos de céu foram considerados: Céu Totalmente Encoberto e Céu Claro com possível incidência de luz solar direta no ponto.
- O mês escolhido para simulação foi o mês de março, devido ao fato de neste mês o sol apresentar uma declividade média no céu, e portanto representar um período de insolações médias sobre o APE.
- Considerou-se no Radlite um Clima Temperado em Região Urbana ($w = 3$, $\beta_a = 0.1$). Para o Superlite 2.0, utilizou-se $w = 4$, $\beta_a = 0.1$

Os valores encontrados (em lux) para as diversas simulações estão dispostos numericamente no quadro 1 e graficamente nos gráficos 5 a 12.

Fach. Sul 16 de Marco Céu Encob (lux) SUPERLITE 2.0

Distância	9:00 h	11:00 h	13:00 h	15:00 h
0,80	3224,19	4255,73	4145,82	2924,08
2,40	1325,64	1749,71	1704,58	1202,27
4,00	594,40	784,60	764,36	539,11
5,60	342,33	451,76	440,14	310,47
7,20	260,69	344,07	335,16	236,39

Fach. Sul 16 de Marco Céu Claro (lux) SUPERLITE 2.0

Distância	9:00 h	11:00 h	13:00 h	15:00 h
0,80	37257,64	62244,88	59559,41	30730,53
2,40	4687,35	5703,29	5720,82	4197,72
4,00	2563,06	3131,71	3134,81	2353,31
5,60	1611,80	1969,53	1967,98	1477,20
7,20	1251,27	1525,04	1519,90	1145,52

Fach. Sul 16 de Marco Céu Encob (lux) RADLITE

Distância	9:00 h	11:00 h	13:00 h	15:00 h
0,80	3106,00	4380,00	4242,00	2766,00
2,40	904,00	1276,00	1236,00	804,00
4,00	360,00	509,00	493,00	320,00
5,60	184,00	260,00	252,00	163,00
7,20	123,00	174,00	168,00	109,00

Fach. Sul 16 de Marco Céu Claro (lux) RADLITE

Distância	9:00 h	11:00 h	13:00 h	15:00 h
0,80	57977,00	81377,00	79036,00	51181,00
2,40	9861,00	10272,00	10063,00	8229,00
4,00	6006,00	6356,00	4843,00	2566,00
5,60	1529,00	1932,00	1898,00	1395,00
7,20	1148,00	1448,00	1422,00	1048,00

Quadro 1 - Resultados das Simulações de Janela sem Lightshelf para APE situado no hemisfério Norte

Fachada Sul 09:00h Céu Encoberto

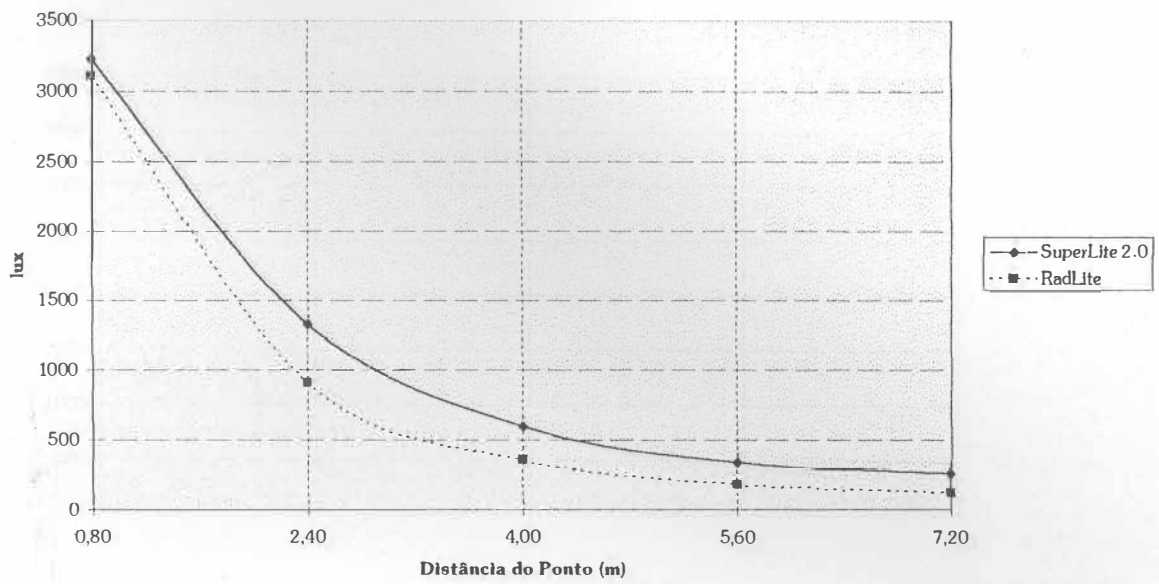


gráfico 5 - Perfil de Iluminamentos no Cômodo
(09:00 horas, Céu Encoberto)

Fachada Sul 11:00h Céu Encoberto

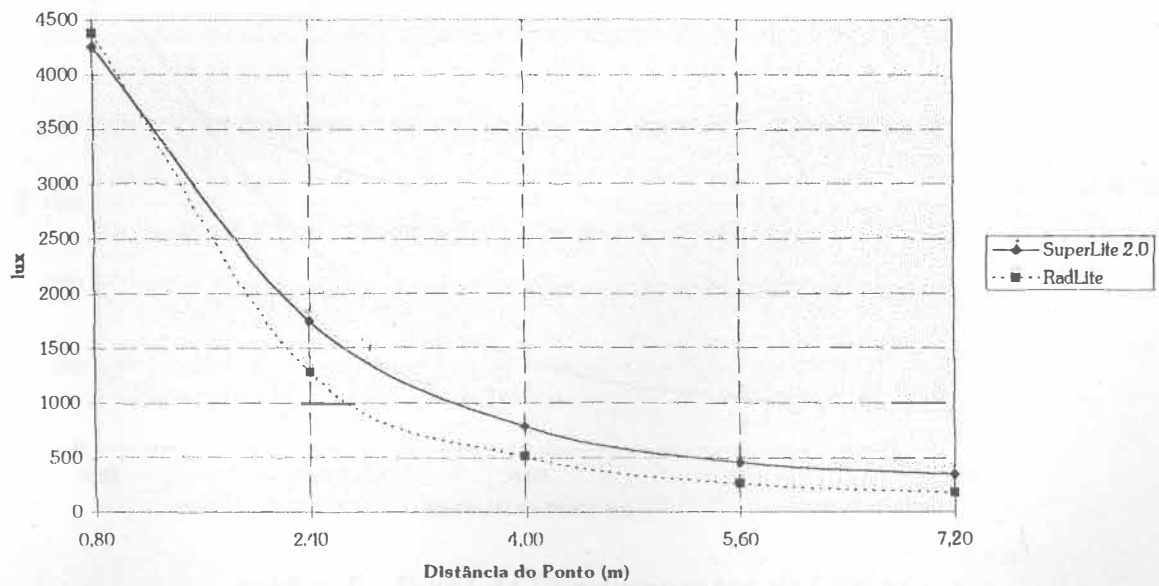


gráfico 6 - Perfil de Iluminamentos no Cômodo
(11:00 horas, Céu Encoberto)

Fachada Sul 13:00h Céu Encoberto

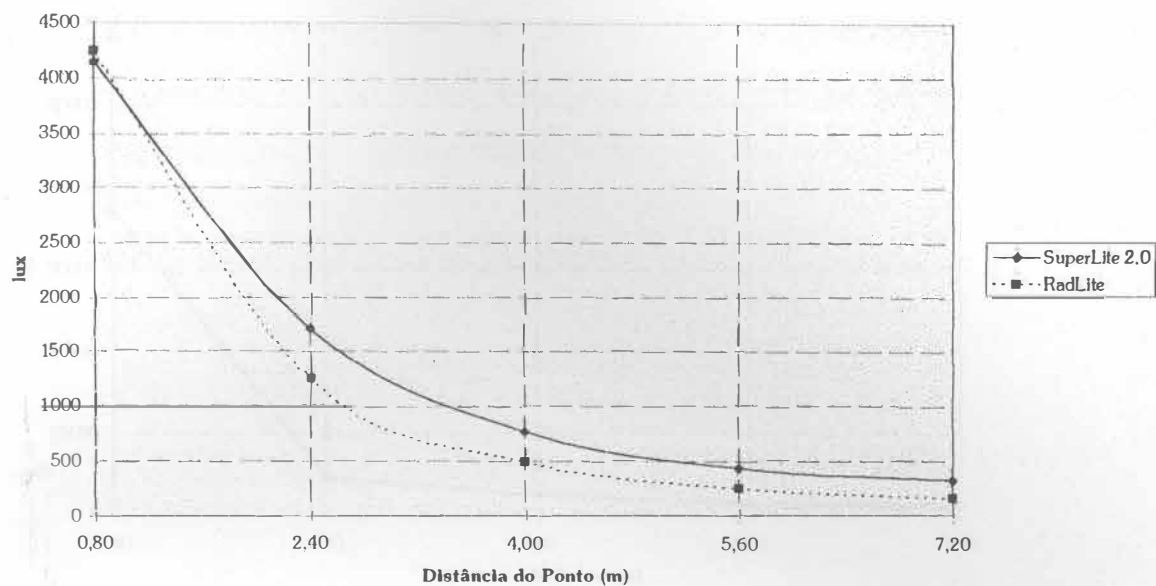


gráfico 7 - Perfil de Iluminamentos no Cômodo (13:00 horas, Céu Encoberto)

Fachada Sul 15:00h Céu Encoberto

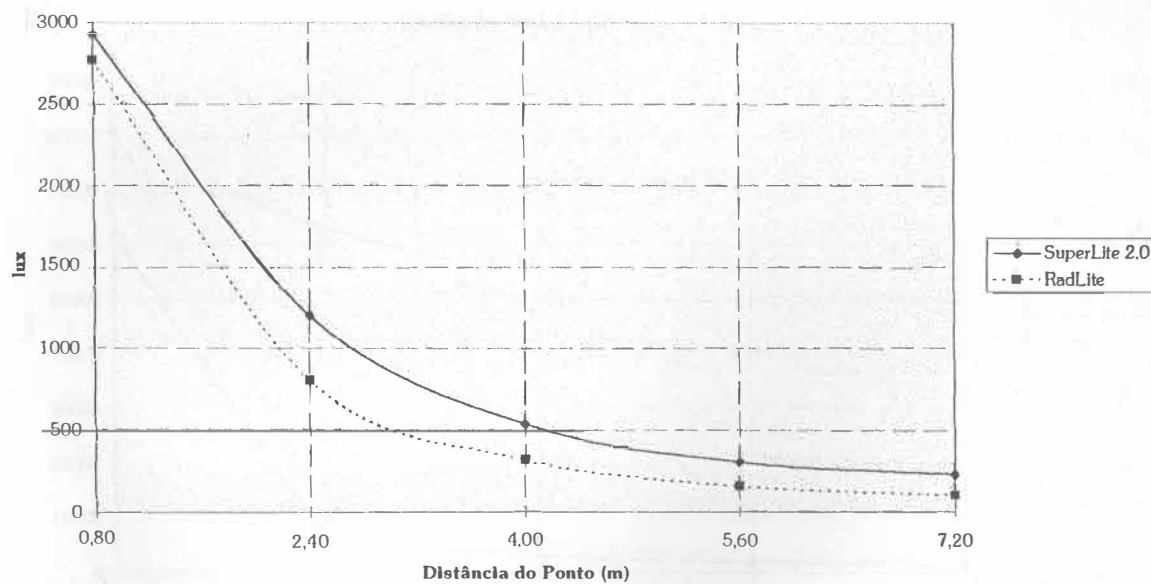


gráfico 8 - Perfil de Iluminamentos no Cômodo (15:00 horas, Céu Encoberto)

Fachada Sul 09:00h Céu Claro

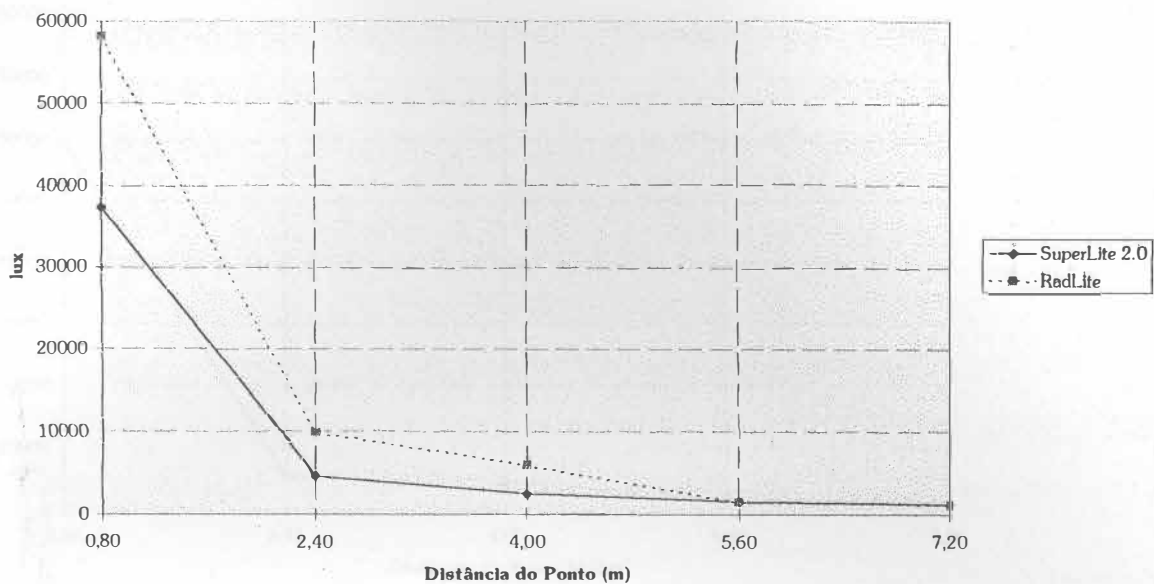


gráfico 9 - Perfil de Iluminamentos no Cômodo
(09:00 horas, Céu Claro)

Fachada Sul 11:00h Céu Claro

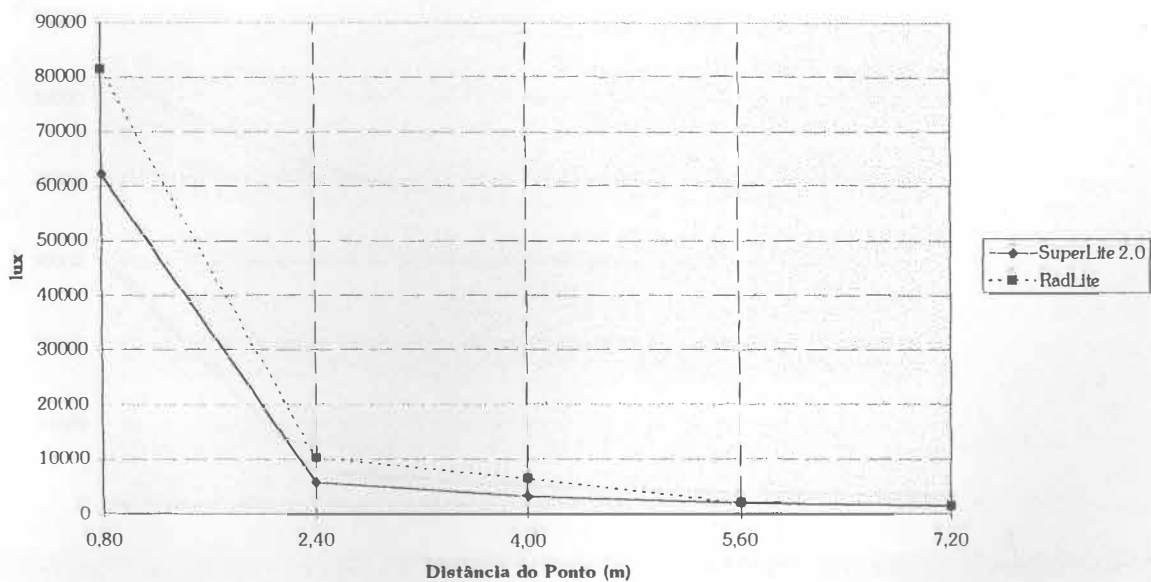


gráfico 10 - Perfil de Iluminamentos no Cômodo
(11:00 horas, Céu Claro)

Fachada Sul 13:00h Céu Claro

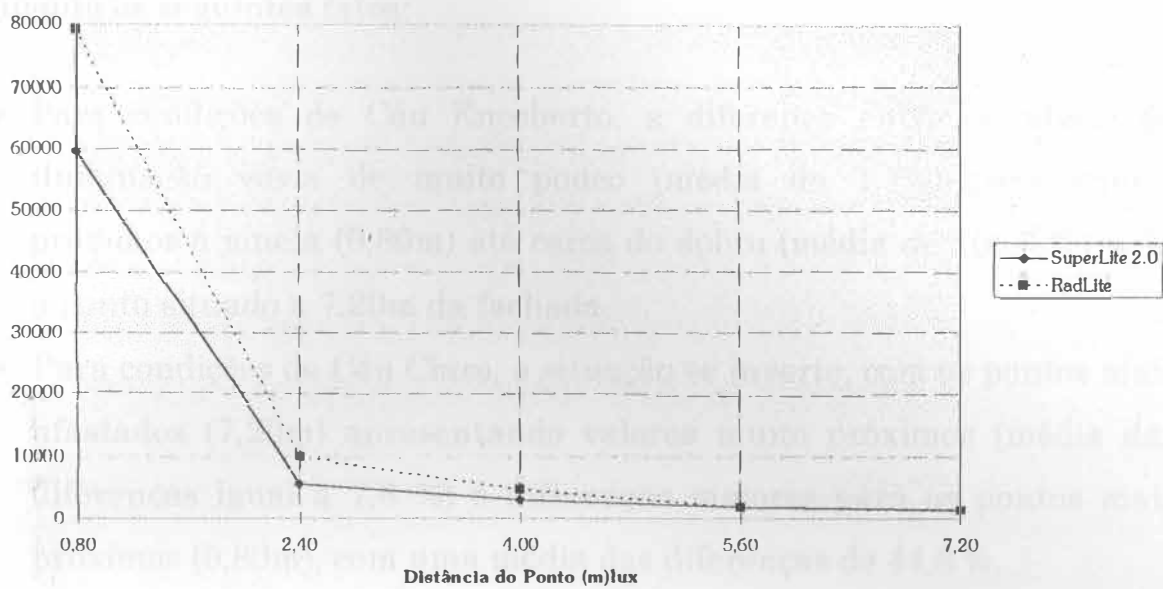


gráfico 11 - Perfil de Iluminamentos no Cômodo
(13:00 horas, Céu Claro)

Fachada Sul 15:00h Céu Claro

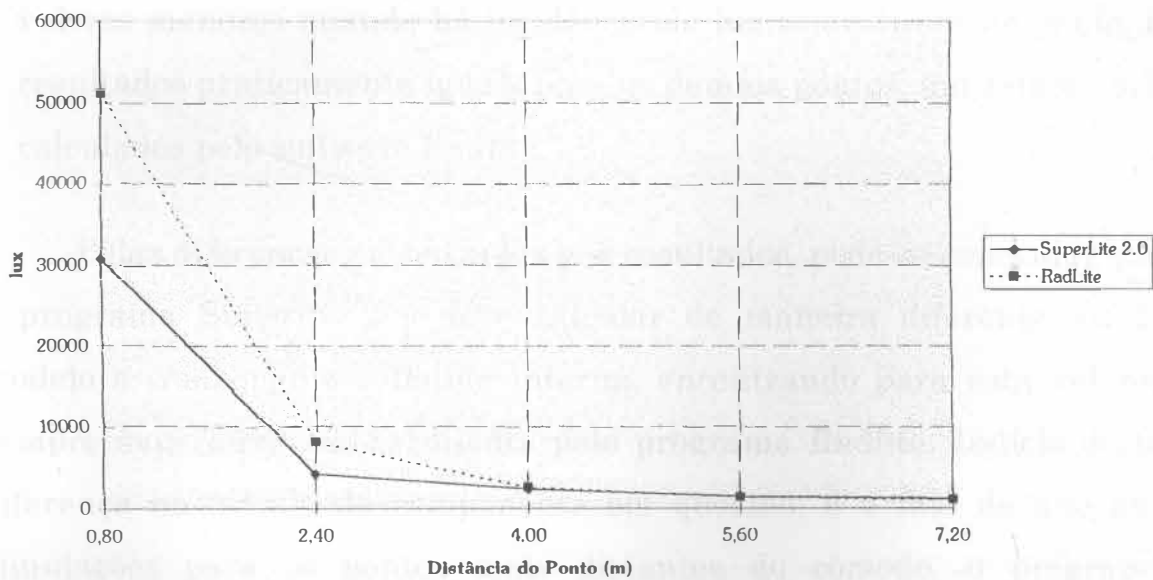


gráfico 12 - Perfil de Iluminamentos no Cômodo
(15:00 horas, Céu Claro)

Uma análise comparativa entre os resultados dos dois programas aponta os seguintes fatos:

- Para condições de Céu Encoberto, a diferença entre os níveis de iluminação varia de muito pouco (média de 1,1%) para pontos próximos à janela (0,80m) até cerca do dobro (média de 106,5 %) para o ponto situado a 7,20m da fachada.
- Para condições de Céu Claro, a situação se inverte, com os pontos mais afastados (7,20m) apresentando valores muito próximos (média das diferenças igual a 7,6 %) e diferenças maiores para os pontos mais próximos (0,80m), com uma média das diferenças de 44,8 %.
- Para condições de Céu Encoberto, o programa Superlite 2.0 encontra valores maiores de iluminamento (média de 66,2 %) para qualquer ponto do ambiente, em relação aos calculados pelo Software desenvolvido.
- Para condições de Céu Claro, o programa Superlite 2.0 encontra valores menores quando há incidência de luz solar direta no ponto, e resultados praticamente iguais para os demais pontos, em relação aos calculados pelo software Radlite.

Pelas diferenças encontradas nos resultados, pode-se especular que o programa Superlite 2.0 deve calcular de maneira diferente ao do modelo a componente refletida interna, encontrando para esta valores sempre superiores aos calculados pelo programa Radlite. Indício desta diferença no cálculo da componente em questão, é o fato de que nas simulações para os pontos mais distantes do cômodo, o programa Superlite 2.0 apresenta valores maiores tanto para condições de céu claro quanto encoberto. É exatamente nestes pontos que a componente

refletida interna se torna proporcionalmente mais significativa, já que o fator de céu é geralmente pequeno para distâncias afastadas da janela.

As diferenças encontradas devem-se também à utilização de um modelo talvez diferente daquele de Dogniaux nos cálculos de radiação solar, pelo programa Superlite 2.0. Isto explicaria o fato das grandes diferenças apresentadas nas simulações de pontos sob incidência de luz solar direta, em céu claro. Uma diferença de quase 21000 lux como pode ser observado às 09:00h no ponto distante 0,80m da janela, denota claramente a utilização de métodos diferenciados para o cálculo da componente solar direta entre os dois programas. Como a documentação incluída no software Superlite 2.0 não especifica qual modelo é utilizado nas simulações, torna-se impossível uma correção dos resultados encontrados, e dificulta a comparação dos mesmos.

Apesar disso, considerando-se que em nível de simulação de iluminação natural diferenças razoáveis nos resultados obtidos são comuns, dada a inerente variabilidade do fenômeno físico e do grande número de variáveis envolvidas, percebe-se claramente uma correspondência entre os resultados encontrados pelos dois programas, notadamente quando analisados em sua forma gráfica. As possíveis diferenças podem ser assim minimizadas, e consideradas válidas ambas as ferramentas de cálculo, desde que sejam conhecidas a performance de cada programa em relação a dados obtidos através de medições tomadas no local de estudo, como foi feito com o programa Radlite (ítem 6.1)

6.2.3 - Iluminamentos Internos devido à janela com Lightshelf

A verificação da eficiência de uma lightshelf num sistema de iluminação natural, pode ser obtida através de uma comparação entre os

cálculos resultantes de duas situações específicas de projeto. A primeira, constitui-se no perfil longitudinal de iluminamentos existente no APE, devido à presença de uma janela simples e de tamanho pré-determinado na fachada. A segunda, o mesmo perfil longitudinal, porém considerando-se além da janela, a presença de uma lightshelf de posição e geometria conhecidas. Mantêm-se inalteradas, para ambas as situações, as variáveis envolvidas nos cálculos como tipo de céu, reflectâncias das superfícies internas, etc.

Como critério para determinação da eficiência do elemento na comparação entre as duas situações, pode ser utilizada uma simples razão entre os iluminamentos obtidos com o uso da lightshelf e sem a sua presença, respectivamente. Neste trabalho denominou-se “*performance*” ao resultado obtido desta razão entre os iluminamentos. Desta forma, se as razões calculadas para diversos pontos apresentarem valores maiores que a unidade, significará um aumento de luz incidente nestes pontos com a utilização da lightshelf, e portanto uma performance positiva em termos de utilização do dispositivo. Entretanto, se isto é verdadeiro para pontos distantes do plano da janela, para pontos próximos à mesma, uma eficiência da lightshelf se traduz na diminuição dos iluminamentos (performance menor que 1), principalmente se ocorrer aí a incidência de luz solar direta. Isto porque o que se considera como boa distribuição de luz é a menor variação possível entre os níveis de iluminação de diversos pontos do ambiente.

Pode-se estabelecer assim, duas maneiras distintas de se verificar a eficiência do elemento arquitetônico. Caso o objetivo principal do projetista seja promover apenas um aumento dos iluminamentos na região do cômodo mais distante da janela, o cálculo da razão entre os iluminamentos com e sem a utilização da lightshelf (a “*performance*”) é suficiente para verificação da eficiência. Entretanto, se o objetivo for

promover uma redistribuição global da luz no interior, da parte frontal para a parte posterior do cômodo, então a análise deve ser baseada na performance e no cálculo dos desvios padrão dos iluminamentos levantados no perfil longitudinal. Um menor desvio padrão encontrado nos iluminamentos devido à lightshelf garante a existência de uma melhor distribuição de luz, mesmo que a média destes níveis de iluminação seja inferior à obtida com a presença de uma simples janela. Ambas as metodologias de análise foram utilizadas neste trabalho.

Quatro grupos de simulações foram executados como exemplo de análise de uma situação real de projeto, todas realizadas com a utilização do software Radlite desenvolvido.

O primeiro grupo visou verificar a *eficiência* da lightshelf na redistribuição de luz no APE, segundo o perfil longitudinal de níveis de iluminação (performance e distribuição de luz).

O segundo grupo teve como objetivo analisar a variação mensal da *performance* do elemento arquitetônico em questão, durante o período de um ano, para um determinado ponto do ambiente.

O terceiro grupo visou analisar a *performance* da lightshelf conforme a orientação do APE e o último grupo de simulações objetivou verificar a influência dos tamanhos das abas interna e externa na penetração da luz para o interior. O conjunto destas simulações abrangem a maioria das situações de projeto influenciadoras na eficácia do elemento, e traçam um perfil amplo da sua performance em diversas condições de uso, fornecendo ao arquiteto uma idéia global de como utilizar e o que esperar do mesmo.

As simulações, resultados e análise de cada um dos grupos é apresentada a seguir.

GRUPO I - SOMBREAMENTO E DISTRIBUIÇÃO DA LUZ NO INTERIOR DO APE

Para este grupo, as simulações foram executadas com o intuito de traçar o perfil longitudinal de iluminamentos ao longo de uma linha perpendicular à fachada da edificação, passando pelo centro geométrico do cômodo e na altura do plano de referência do APE. Nove pontos foram simulados com ausência e presença de lightshelf, em distâncias em relação à parede da janela que variavam de 0,80m até 7,20m. O local de estudo, ou seja, a estação meteorológica considerada, foi a Praça XV, no Rio de Janeiro. Considerou-se uma orientação norte do APE, ou seja, o cômodo tem sua fachada (e janela) direcionadas para o norte geográfico terrestre (180 graus). Como na simulação de janela sem lightshelf, o mês escolhido para as simulações foi o mês de março, pelo motivo de neste mês o sol apresentar uma declividade média no céu, e portanto representar um período de insolações médias sobre o APE. Além disso, a combinação “orientação norte - mês de março” apresenta uma variedade de condições de céu e insolação bastante variadas para a localidade do Rio de Janeiro, ideais para um estudo de simulação deste tipo.

Acrescenta-se a isto o fato de que para um conforto térmico ideal para o clima desta região, é consenso que as edificações sejam orientadas de modo a terem suas fachadas de maiores dimensões voltadas para norte e sul, com a menor exposição possível para leste e oeste. Desta forma, num possível projeto arquitetônico para o local, as lightshelves seriam utilizadas obviamente em uma das fachadas principais, e portanto a opção pela orientação norte é plenamente justificada para as simulações.

Foram executadas simulações para condições de céu encoberto e céu claro com incidência de luz solar direta, e em cada uma delas em dois horários diferentes, 09:00h e 12:00h.

Devido ao fato da lightshelf basear seu funcionamento em dois aspectos distintos (sombreamento e redistribuição de luz), simulou-se primeiramente a lightshelf com a geometria descrita no APE, porém com reflectâncias iguais a zero nas suas superfícies superior e inferior.

Objetivou-se com isso estudar o efeito de um elemento arquitetônico cuja única função seria evitar ou minimizar a incidência de raios diretos do sol dentro do ambiente, o que é de uso corrente em regiões tropicais como a cidade do Rio de Janeiro. Na prática, os elementos mais utilizados com este objetivo são beirais ou marquises. Entretanto, é claro que uma lightshelf com reflectâncias superficiais iguais a zero se comporta exatamente como um destes elementos diante da incidência solar, pois os efeitos de reflexão de luz para dentro do ambiente ficam anulados.

Os resultados de uma simulação executada para estas condições demonstram assim apenas os efeitos sombreadores da lightshelf, ou, em última análise, do efeito sombreador de uma marquise ou outro elemento cujo “cone de sombra” tenha a mesma geometria daquela da lightshelf. Os resultados destas primeiras simulações encontram-se nas quatro primeiras partes do quadro 2. As três outras partes do quadro 2, mostram os resultados dos cálculos das razões entre os iluminamentos devido à presença da lightshelf (com reflectâncias = 0) e sem sua presença, para cada uma das quatro primeiras partes citadas.

Os gráficos 13 a 19 apresentam de forma gráfica os resultados respectivos a cada uma das partes do quadro.

Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 9:00h Céu Claro									
Refletância das superfícies superior e inferior da lightshelf = 0									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Lightshelf	4216	3710	2879	2103	1501	1104	854	712	656
Janela	11318	8499	6767	2473	1692	1219	930	762	690
Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 9:00h Céu Encoberto									
Refletância das superfícies superior e inferior da lightshelf = 0									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Lightshelf	952	1057	733	498	339	240	179	143	125
Janela	3327	1740	969	589	386	268	197	155	132
Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 12:00h Céu Claro									
Refletância das superfícies superior e inferior da lightshelf = 0									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Lightshelf	5476	5647	4379	3197	2280	1677	1297	1082	998
Janela	90985	11286	5800	3761	2572	1852	1412	1158	1048
Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 12:00h Céu Encoberto									
Refletância das superfícies superior e inferior da lightshelf = 0									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Lightshelf	1454	1613	1118	758	516	365	273	218	190
Janela	5085	2658	1478	897	588	407	300	236	201
Performance da lightshelf em pontos internos do APE Fachada Norte 9:00h Céu Claro									
Refletância das superfícies superior e inferior da lightshelf = 0									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Perform.	0,373	0,437	0,425	0,850	0,887	0,906	0,918	0,934	0,951
Performance da lightshelf em pontos internos do APE Fachada Norte 12:00h Céu Claro									
Refletância das superfícies superior e inferior da lightshelf = 0									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Perform.	0,060	0,500	0,755	0,850	0,886	0,906	0,919	0,934	0,952
Performance da lightshelf em pontos internos do APE Fachada Norte Céu Encoberto									
Refletância das superfícies superior e inferior da lightshelf = 0									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
09:00h	0,286	0,607	0,756	0,846	0,878	0,896	0,909	0,923	0,947
12:00h	0,286	0,607	0,756	0,845	0,878	0,897	0,910	0,924	0,945

quadro 2 - Resultados dos Iluminamentos no APE e Performance da lightshelf (com refletâncias superior e inferior = 0)

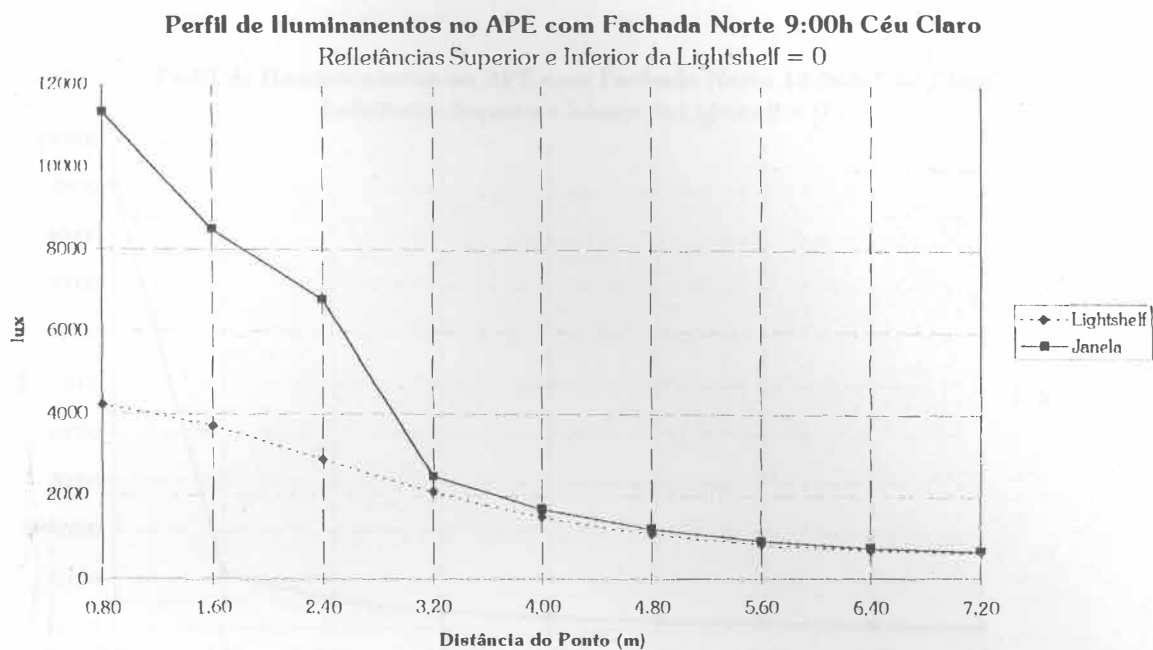


gráfico 13 - Perfil de Iluminamentos no APE (09:00 horas, Céu Claro)
Lightshelf de superfícies superior e inferior com Reflectância = 0

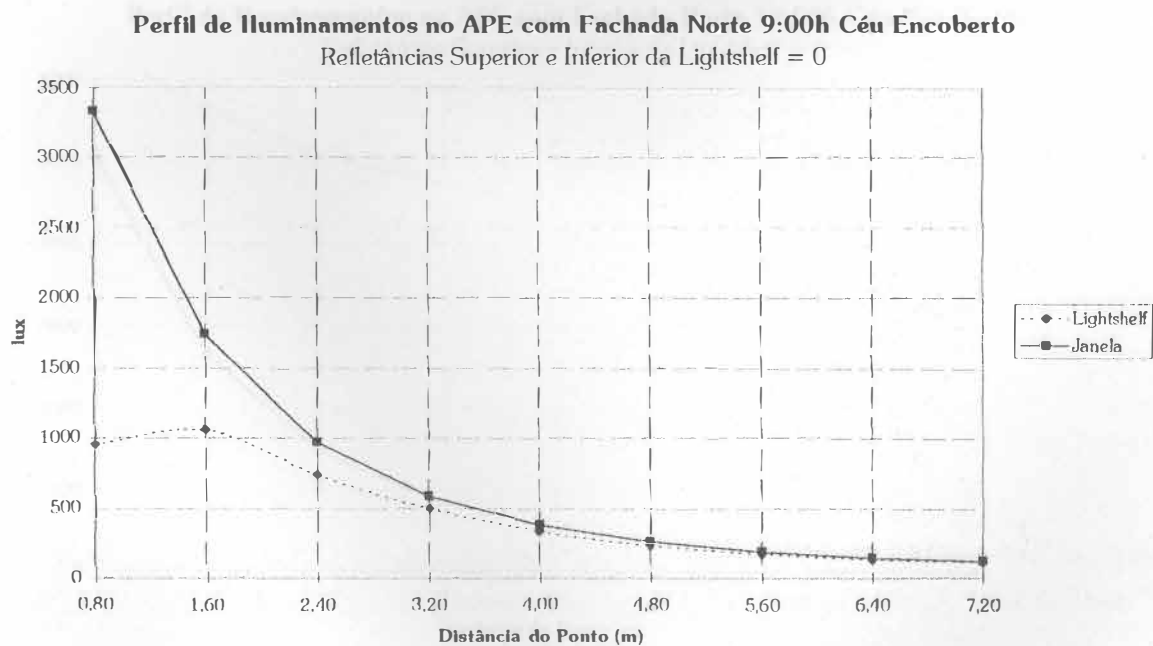


gráfico 14 - Perfil de Iluminamentos no APE (09:00 horas, Céu Encoberto)
Lightshelf de superfícies superior e inferior com Reflectância = 0

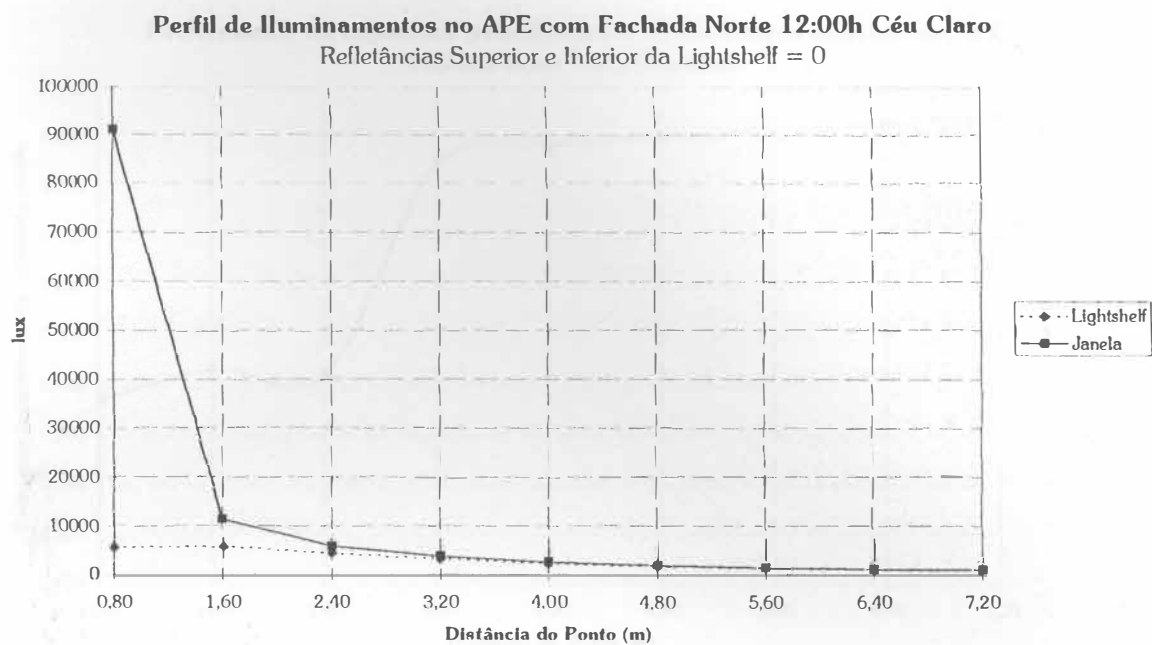


gráfico 15 - Perfil de Iluminamentos no APE (12:00 horas, Céu Claro)
Lightshelf de superfícies superior e inferior com Refletância = 0

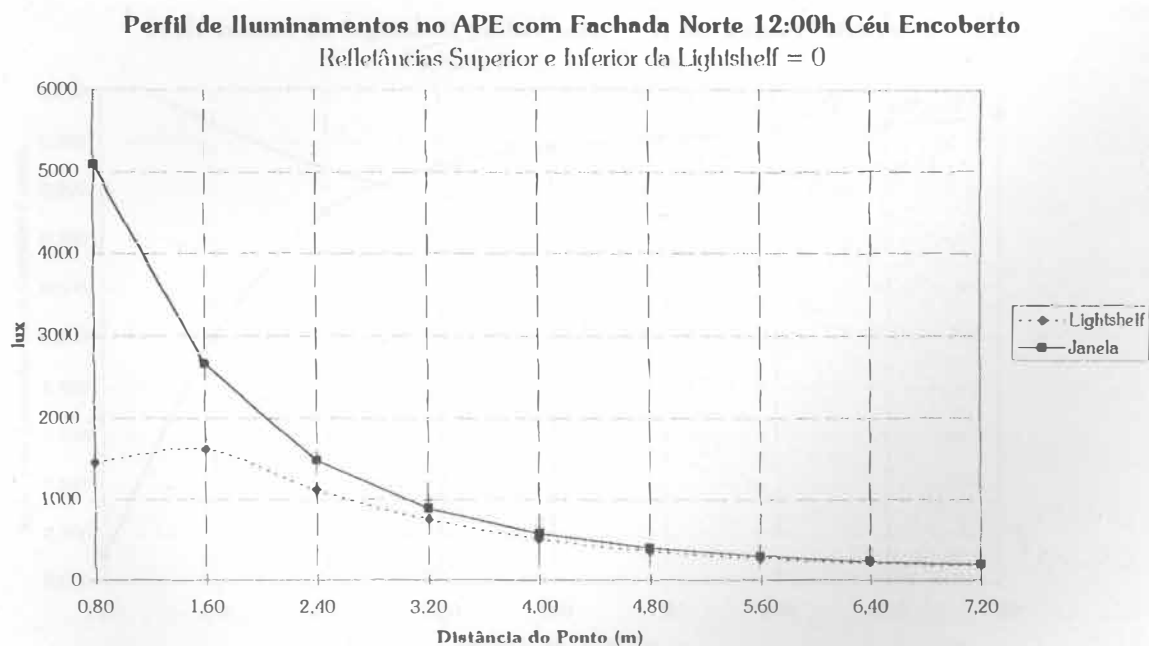


gráfico 16 - Perfil de Iluminamentos no APE (12:00 horas, Céu Encoberto)
Lightshelf de superfícies superior e inferior com Refletância = 0

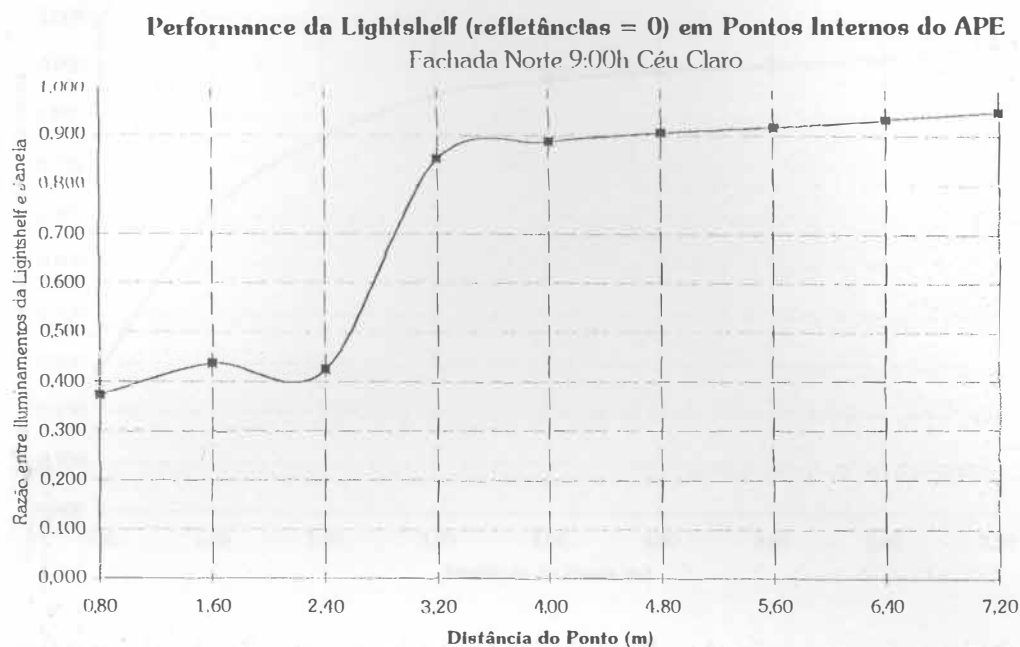


gráfico 17 - Performance da Lightshelf (reflectâncias superior e inferior = 0) em Relação à Distância da Janela (09:00 horas, Céu Claro)

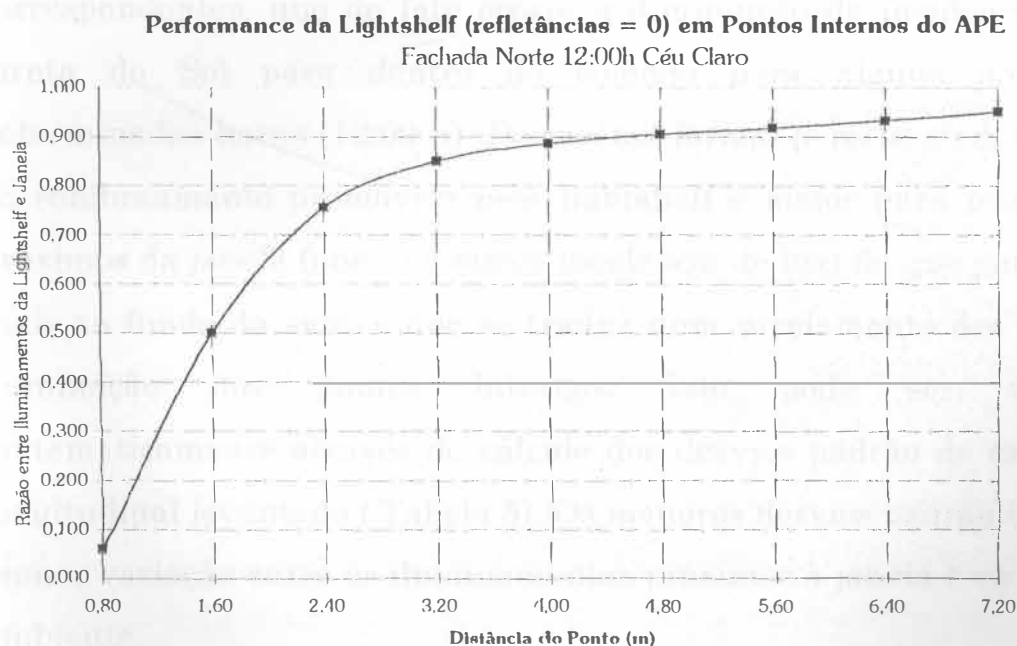


gráfico 18 - Performance da Lightshelf (reflectâncias superior e inferior = 0) em Relação à Distância da Janela (12:00 horas, Céu Claro)

Performance da Lightshelf (refletâncias = 0) em Pontos Internos do APE
 Fachada Norte 09:00h e 12:00h Céu Encoberto

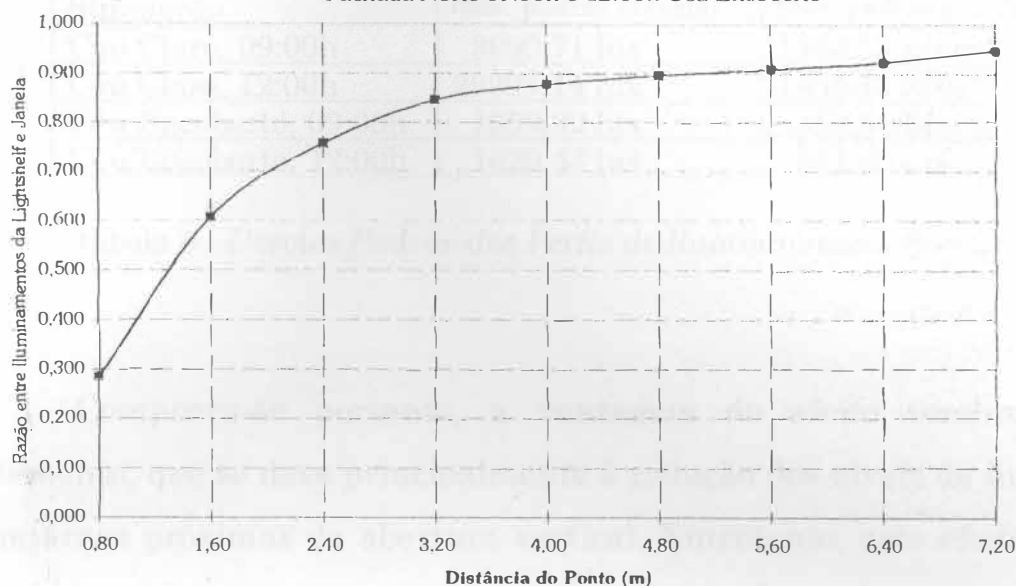


gráfico 19 - Performance da Lightshelf (reflectâncias superior e inferior = 0) em Relação à Distância da Janela (09:00 e 12:00 horas, Céu Encoberto)

Percebe-se pelos valores apresentados no quadro 2 e pelos gráficos correspondentes, que de fato ocorre a diminuição da incidência de luz direta do Sol para dentro do cômodo para alguns pontos em determinadas horas (12:00 h). Da mesma forma, percebe-se que o efeito do sombreamento promovido pela lightshelf é maior para pontos mais próximos da janela (onde há maior incidência de luz) do que para pontos mais ao fundo da sala, o que se traduz num nivelamento dos níveis de iluminação dos pontos internos. Isto pode ser verificado matematicamente através do cálculo dos desvios padrão de cada perfil longitudinal levantado (Tabela 5). Os menores desvios padrão indicam a menor variação entre os iluminamentos próximos à janela e no fundo do ambiente.

Simulação	desv. padrão (Janela)	desv. padrão (Lightshelf)
Céu Claro, 09:00h	3990,71 lux	1343,53 lux
Céu Claro, 12:00h	29307,14 lux	1865,12 lux
Céu Encoberto, 09:00h	1059,92 lux	358,36 lux
Céu Encoberto, 12:00h	1620,43 lux	547,30 lux

tabela 5 - *Desvios Padrão dos Perfis de Iluminamentos Simulados*

Comprova-se portanto, a vantagem do efeito sombreador do elemento, que se deve principalmente à redução dos níveis de iluminação em áreas próximas da abertura vertical. Entretanto, este efeito redutor se dá também nos pontos distantes da sala (performance menor que 1), o que é extremamente ruim, já que aí os iluminamentos são quase sempre inferiores aos desejáveis em termos de conforto lumínico. Para estes pontos mais afastados, o efeito sombreador é negativo, e deve ser compensado com o direcionamento da luz incidente no plano da janela para estas regiões.

Esta compensação pode ser conseguida com o aumento do fator de reflexão das superfícies superior e inferior da lightshelf. Para verificar este efeito, procedeu-se à execução de novas simulações, mantendo-se os mesmos parâmetros das anteriores, exceto os valores para as reflectâncias das superfícies da lightshelf, que assumiram o valor de 80% (valor padrão estabelecido para o APE). Os resultados destas simulações encontram-se nas quatro primeiras partes do quadro 3. As três outras partes do quadro 3, mostram os resultados dos cálculos das razões entre os iluminamentos devido à presença da lightshelf (com reflectâncias = 0,8) e sem sua presença, para cada uma das quatro primeiras partes citadas.

Os gráficos 20 a 26 apresentam de forma gráfica os resultados respectivos a cada uma das partes do quadro.

Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 9:00h Céu Claro									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Janela	11318	8499	6767	2473	1692	1219	930	762	690
Lightshelf	5012	5015	3852	2720	1882	1346	1012	819	729
Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 9:00h Céu Encoberto									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Janela	3327	1740	969	589	386	268	197	155	132
Lightshelf	1089	1282	904	608	410	286	210	164	139
Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 12:00h Céu Claro									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Janela	90985	11286	5800	3761	2572	1852	1412	1158	1048
Lightshelf	6358	7095	5460	3885	2707	1948	1475	1202	1080
Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 12:00h Céu Encoberto									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Janela	5085	2658	1478	897	588	407	300	236	201
Lightshelf	1663	1957	1379	927	624	435	320	250	212
Performance da lightshelf em pontos internos do APE Fachada Norte 9:00h Céu Claro									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Perform.	0,443	0,590	0,569	1,100	1,112	1,104	1,088	1,075	1,057
Performance da lightshelf em pontos internos do APE Fachada Norte 12:00h Céu Claro									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Perform.	0,070	0,629	0,941	1,033	1,052	1,052	1,045	1,038	1,031
Performance da lightshelf em pontos internos do APE Fachada Norte Céu Encoberto									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
09:00h	0,327	0,736	0,933	1,033	1,061	1,069	1,067	1,059	1,055
12:00h	0,327	0,736	0,933	1,033	1,061	1,069	1,067	1,059	1,055

quadro 3 - Resultados dos Iluminamentos no APE e Performance da lightshelf

Percebe-se pelos valores encontrados que a lightshelf apresenta agora uma curva de eficiência (em relação ao aumento do nível de iluminação no ponto) que atinge o seu máximo próximo ao ao centro do cômodo, ou seja:

- 11,2 % para céu claro às 09:00h da manhã
- 5,2 % para céu claro às 12:00h
- 6,1 % para o céu encoberto

Verifica-se também que até um ponto situado entre 2,40m e 3,20m, para ambas as condições de céu, a lightshelf reduz a luz incidente no ponto (atuando como elemento sombreador, já visto anteriormente), e que para pontos além desta distância, o efeito de redistribuição de luz se torna atuante, aumentando a incidência de luz nestas regiões (performance maior que 1), e compensando o efeito sombreador indesejavel para esta região da sala. Comprova-se portanto a eficiência do elemento, o que também pode ser verificado pelo cálculo dos desvios padrão para cada perfil longitudinal traçado, que são, respectivamente (tabela 6):

Simulação	desv. padrão (Janela)	desv. padrão (Lightshelf)
Céu Claro, 09:00h	3990,71 lux	1746,43 lux
Céu Claro, 12:00h	29307,14 lux	2727,77 lux
Céu Encoberto, 09:00h	1059,92 lux	429,48 lux
Céu Encoberto, 12:00h	1620,43 lux	655,93 lux

tabela 6 - *Desvios Padrão dos Perfis de Iluminamentos Simulados*

Novamente, os menores desvios em todas as situações de presença da lightshelf denotam matematicamente a maior uniformidade da distribuição da luz dentro do ambiente, em relação aos perfis longitudinais do mesmo.

Comprovada a eficácia da utilização de altos valores para as reflectâncias das superfícies da lightshelf, manteve-se o valor de 80% para as mesmas no restante das simulações executadas neste trabalho (conforme previamente estabelecido no APE, ítem 6.2.1)

Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 9:00h Céu Claro

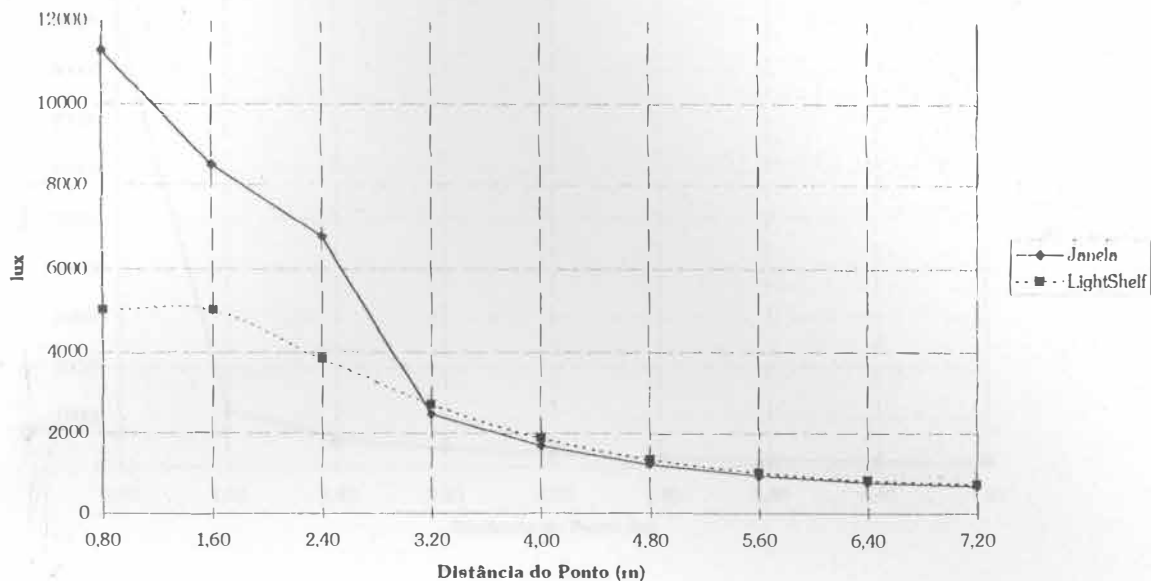


gráfico 20 - Perfil de Iluminamentos no APE (09:00 horas, Céu Claro)

Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 9:00h Céu Encoberto

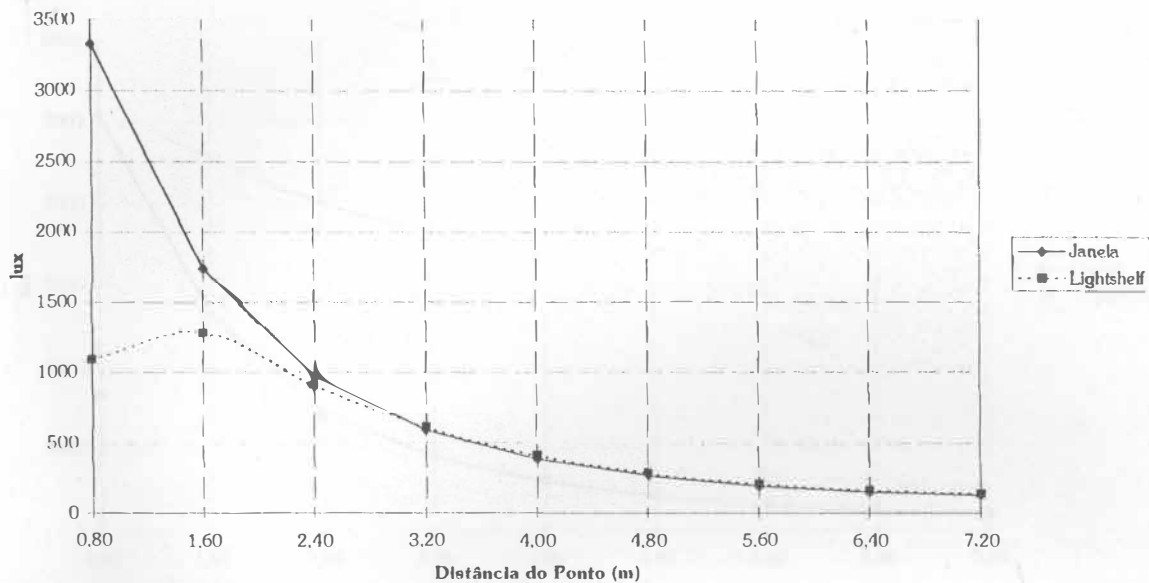


gráfico 21 - Perfil de Iluminamentos no APE (09:00 horas, Céu Encoberto)

Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 12:00h Céu Claro

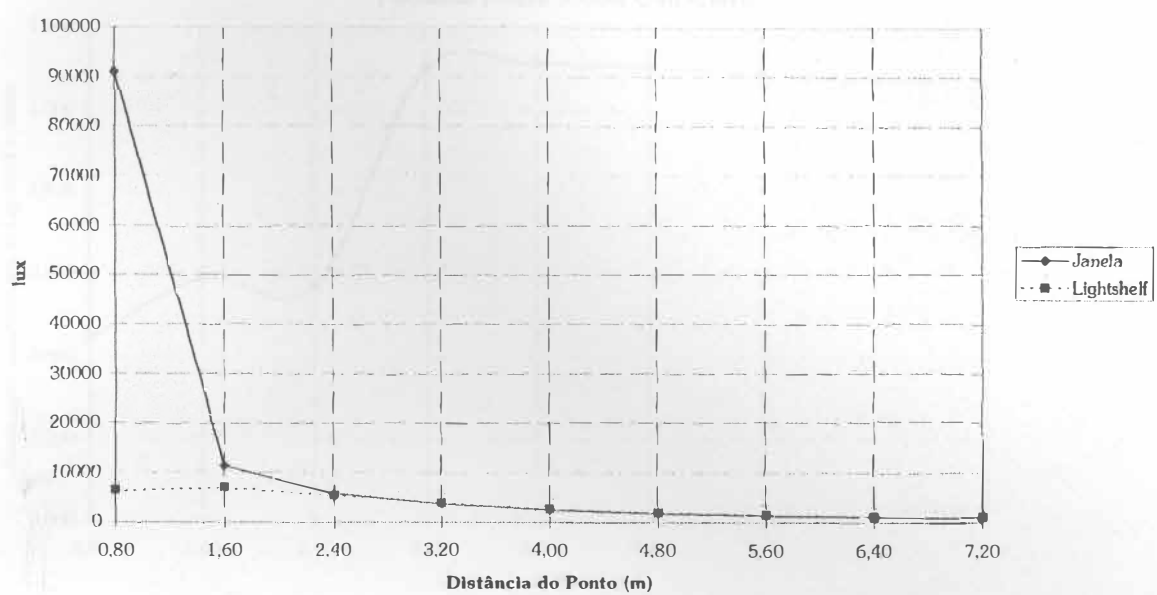


gráfico 22 - Perfil de Iluminamentos no APE (12:00 horas, Céu Claro)

Perfil de Iluminamentos no APE com Fachada Norte 12:00h Céu Encoberto

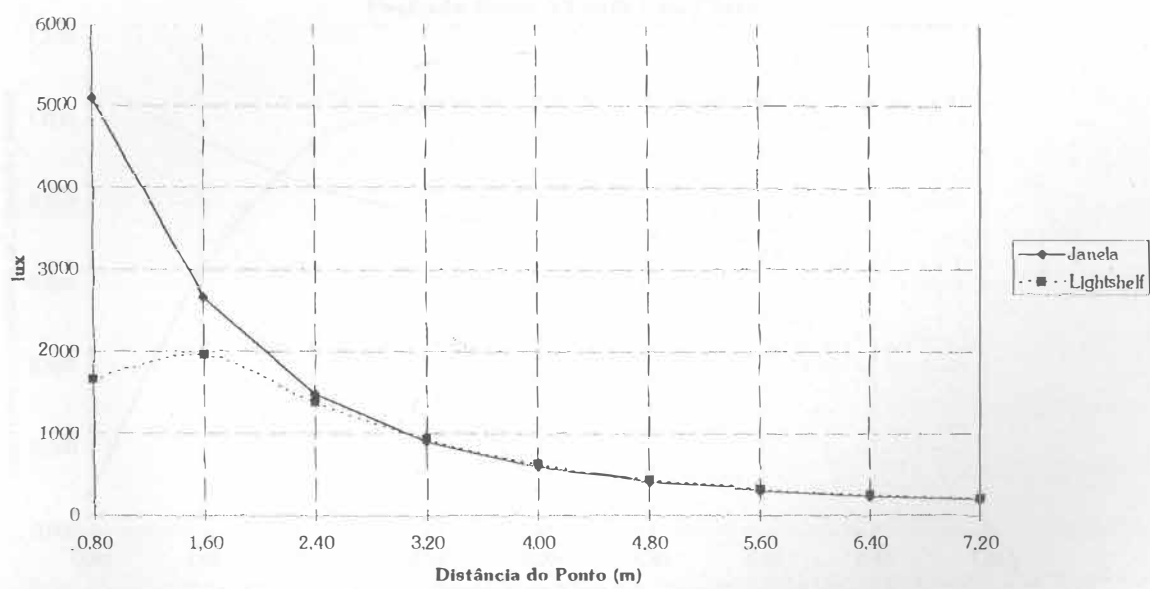


gráfico 23 - Perfil de Iluminamentos no APE (12:00 horas, Céu Encoberto)

Performance da Lightshelf em Pontos Internos do APE
Fachada Norte 9:00h Céu Claro

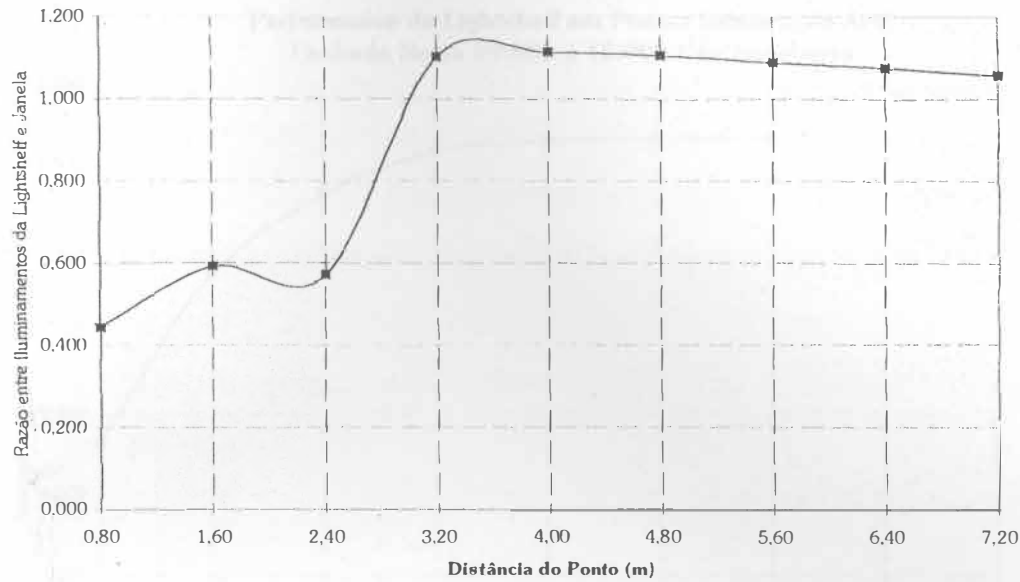


gráfico 24 - Performance da Lightshelf em Relação à Distância da Janela
(09:00 horas, Céu Claro)

Performance da Lightshelf em Pontos Internos do APE
Fachada Norte 12:00h Céu Claro

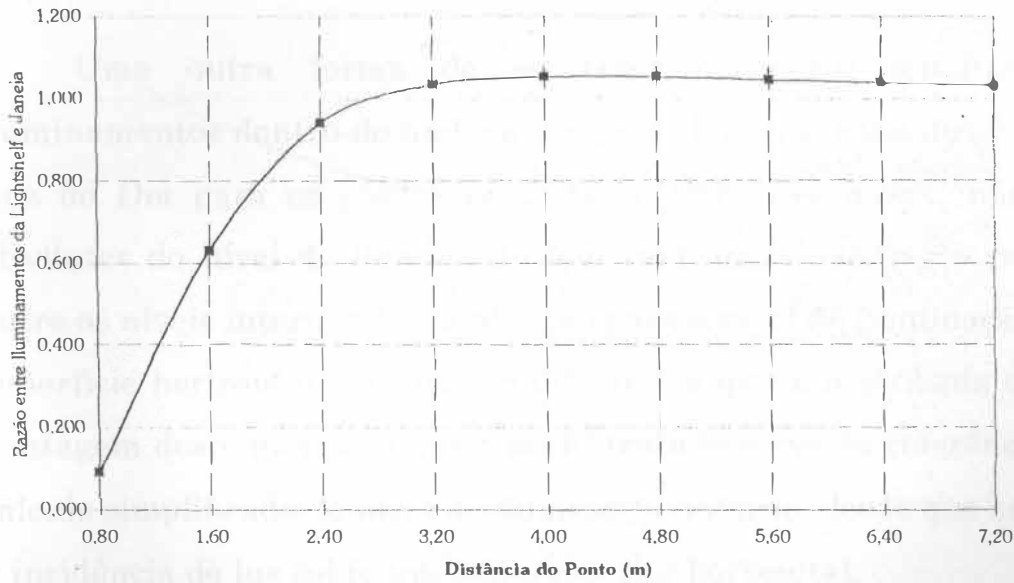
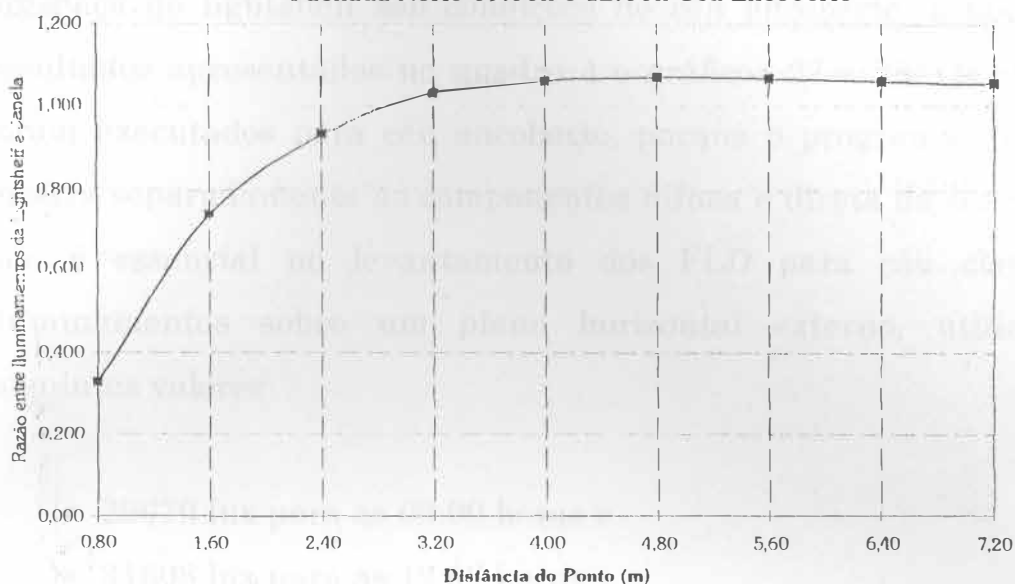


gráfico 25 - Performance da Lightshelf em Relação à Distância da Janela
(12:00 horas, Céu Claro)

Performance da Lightshelf em Pontos Internos do APE
Fachada Norte 09:00h e 12:00h Céu Encoberto



*gráfico 26 - Performance da Lightshelf em Relação à Distância da Janela
 (09:00 e 12:00 horas, Céu Encoberto)*

Uma outra forma de se traçar o perfil longitudinal de iluminamentos dentro do ambiente é proceder ao calculo dos Fatores de Luz do Dia para os pontos em estudo. Obtem-se assim, não valores absolutos do nível de iluminação (em lux), mas uma razão percentual entre os níveis internos de iluminação para o nível de iluminação de uma superfície horizontal externa e totalmente exposta à abóbada celeste. A vantagem deste método é que o perfil traçado serve de referência para o cálculo simplificado do nível de iluminação interno, desde que se conheça a incidência de luz sobre um plano exterior horizontal.

Por outro lado, a desvantagem é que por não fornecer diretamente os níveis de iluminação dentro do cômodo, o FLID dificulta a percepção, por parte do projetista, das reais condições da luz interior.

De qualquer forma, como exemplo do método, calculou-se os FLD para os valores simulados anteriormente para janela com e sem a presença de lightshelf sob condições de céu encoberto, e obteve-se os resultados apresentados no quadro 4 e gráficos 27 e 28. Os cálculos só foram executados para céu encoberto, porque o programa Radlite não mostra separadamente as componentes difusa e direta da luz natural, o que é essencial no levantamento dos FLD para céu claro. Como iluminamentos sobre um plano horizontal externo, utilizou-se os seguintes valores:

- 20670 lux para as 09:00 horas e
- 31608 lux para as 12:00 horas,

calculados também com o programa RadLite.

Observando-se o quadro e os gráficos correspondentes, percebe-se claramente a absoluta igualdade entre os valores encontrados para as 09:00 h e 12:00h. Ou seja, em termos de FLD, para qualquer hora do dia, em qualquer dia do ano, e qualquer orientação do APE, sob condições de céu encoberto, a iluminação natural dentro do ambiente apresentará uma relação com os níveis externos de iluminação conforme as porcentagens encontradas nos cálculos. Apenas variam os níveis absolutos, dados em lux, da luz incidente na sala, mas não sua proporção relativa.

Perfil de FATORES DE LUZ DO DIA no APE com Fachada Norte 9:00h Céu Encoberto									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Janela	16,10%	8,42%	4,69%	2,85%	1,87%	1,30%	0,95%	0,75%	0,64%
Lightshelf	5,27%	6,20%	4,37%	2,94%	1,98%	1,38%	1,02%	0,79%	0,67%

Perfil de FATORES DE LUZ DO DIA no APE com Fachada Norte 12:00h Céu Encoberto									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
Janela	16,09%	8,41%	4,68%	2,84%	1,86%	1,29%	0,95%	0,75%	0,64%
Lightshelf	5,26%	6,19%	4,36%	2,93%	1,97%	1,38%	1,01%	0,79%	0,67%

Performance da lightshelf em pontos internos do APE Fachada Norte Céu Encoberto									
Distância	0,80	1,60	2,40	3,20	4,00	4,80	5,60	6,40	7,20
09:00h	0,327	0,736	0,933	1,033	1,061	1,069	1,067	1,059	1,055
12:00h	0,327	0,736	0,933	1,033	1,061	1,069	1,067	1,059	1,055

quadro 4 - Perfil de Iluminamentos no APE em termos de Fator de Luz do Dia (FLD)

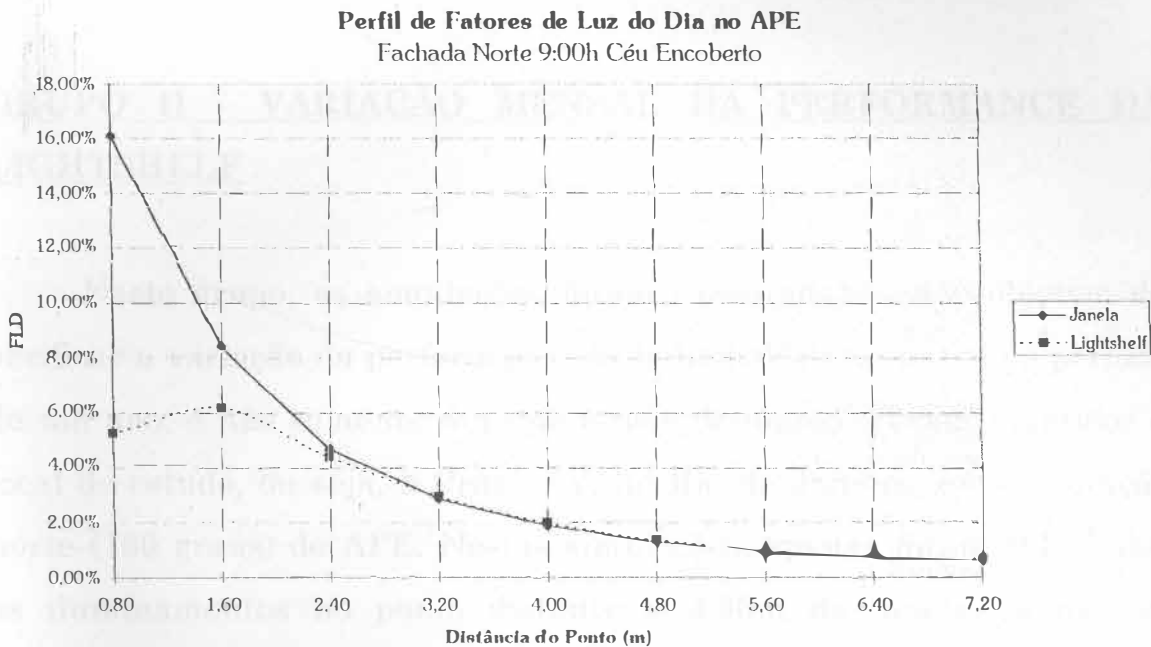


gráfico 27 - Perfil Longitudinal de Iluminamentos do APE (dados em FLD) (09:00 horas, Céu Encoberto)

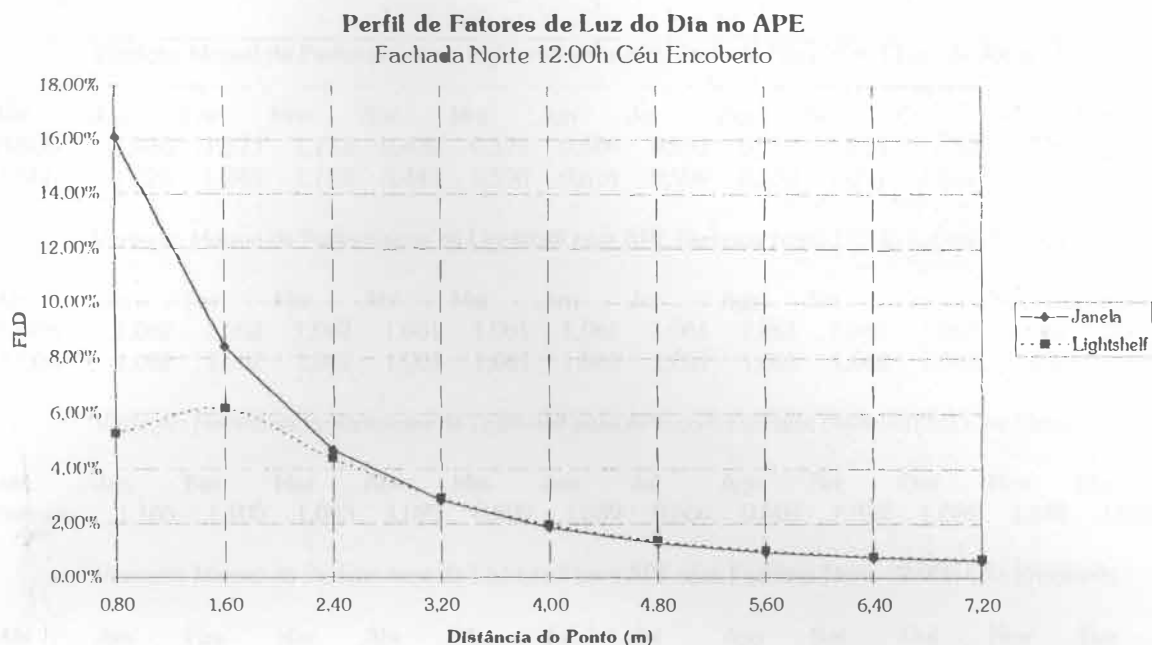


gráfico 28 - Perfil Longitudinal de Iluminamentos do APE (dados em FLD)
 (12:00 horas, Céu Encoberto)

GRUPO II - VARIAÇÃO MENSAL DA PERFORMANCE DA LIGHTSHELF

Neste grupo, as simulações foram executadas com o objetivo de verificar a variação da performance da lightshelf durante todo o período de um ano, e não somente durante o mês de março. Foram mantidos o local de estudo, ou seja, a Praça XV, no Rio de Janeiro, e a orientação norte (180 graus) do APE. Nestas simulações, apenas foram calculados os iluminamentos no ponto distante a 4,00m da janela, já que se verificou nas simulações do grupo I que o centro geométrico do cômodo é aproximadamente o ponto onde é máxima a performance da lightshelf considerada. Os resultados das simulações e os gráficos correspondentes são apresentados no quadro 5 e gráficos 29 a 32.

Variação Mensal da Performance da Lightshelf para APE Fachada Norte Céu Claro 09:00h e 15:00h												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
09:00h	1,026	1,273	1,113	0,439	0,579	0,604	0,597	0,557	1,075	1,166	1,026	1,026
15:00h	1,026	1,245	1,113	0,445	0,590	0,614	0,599	0,559	1,071	1,202	1,026	1,026
Variação Mensal da Performance da Lightshelf para APE Fachada Norte Céu Encoberto 09:00h e 15:00h												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
09:00h	1,062	1,062	1,062	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,062	1,062	1,062	1,062
15:00h	1,062	1,062	1,062	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,062	1,062	1,062	1,062
Variação Mensal da Performance da Lightshelf para APE com Fachada Norte 12:00h Céu Claro												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Perform.	1,165	1,100	1,053	1,023	0,590	1,039	0,606	0,560	1,039	1,081	1,148	1,026
Variação Mensal da Performance da Lightshelf para APE com Fachada Norte 12:00h Céu Encoberto												
Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Perform.	1,062	1,061	1,061	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,061	1,061	1,061	1,060

quadro 5 - Performance Mensal da Lightshelf

Verifica-se que para condições de céu claro a variação mensal na performance da lightshelf é bastante grande, sendo positiva ou negativa dependendo dos meses e do horário considerado. Sua avaliação portanto, deve ser feita para cada ponto e momento especificamente, não sendo possível uma descrição genérica da mesma. Para condições de céu encoberto, entretanto, a performance é praticamente fixa e sempre muito próxima de 6 %. Isto seria esperado, já que a distribuição relativa de luminâncias do céu encoberto é constante para qualquer dia do ano e hora considerados, o que não acontece com o céu claro, cujas luminâncias dependem da posição do Sol na abóboda, além da presença da componente solar na iluminação dos pontos internos e da própria superfície da lightshelf.

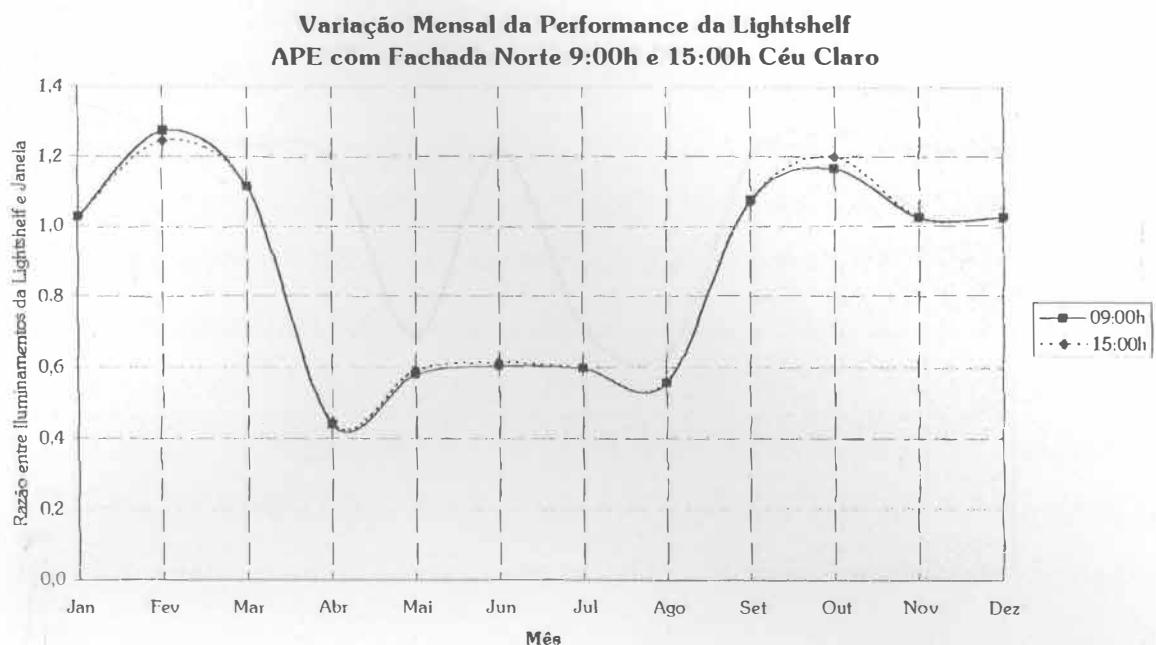


gráfico 29 - *Variação Mensal da Performance da Lightshelf*
(09:00 e 15:00 horas com Céu Claro)

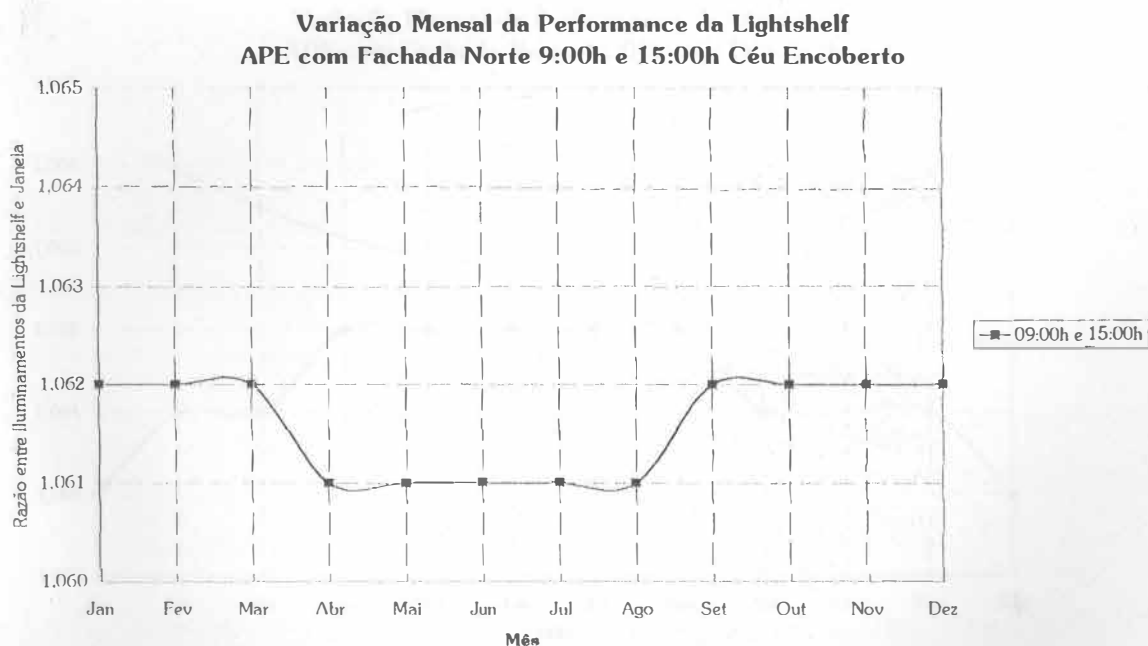


gráfico 30 - *Variação Mensal da Performance da Lightshelf*
(09:00 e 15:00 horas com Céu Encoberto)

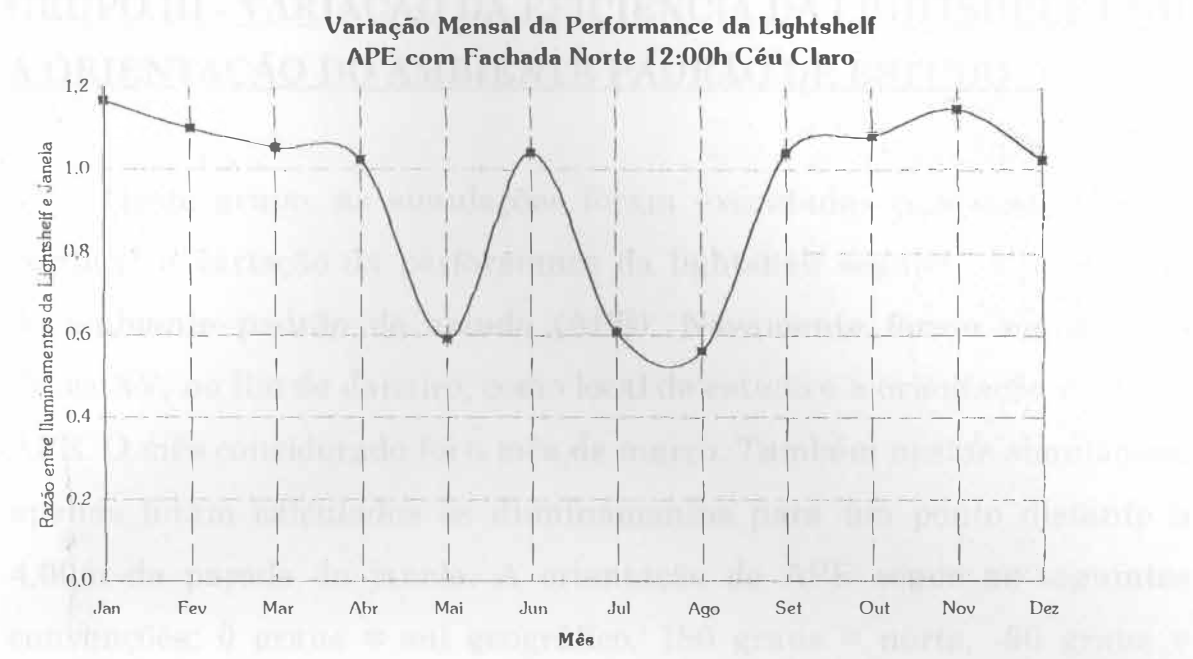


gráfico 31 - *Variação Mensal da Performance da Lightshelf
(12:00 horas com Céu Claro)*

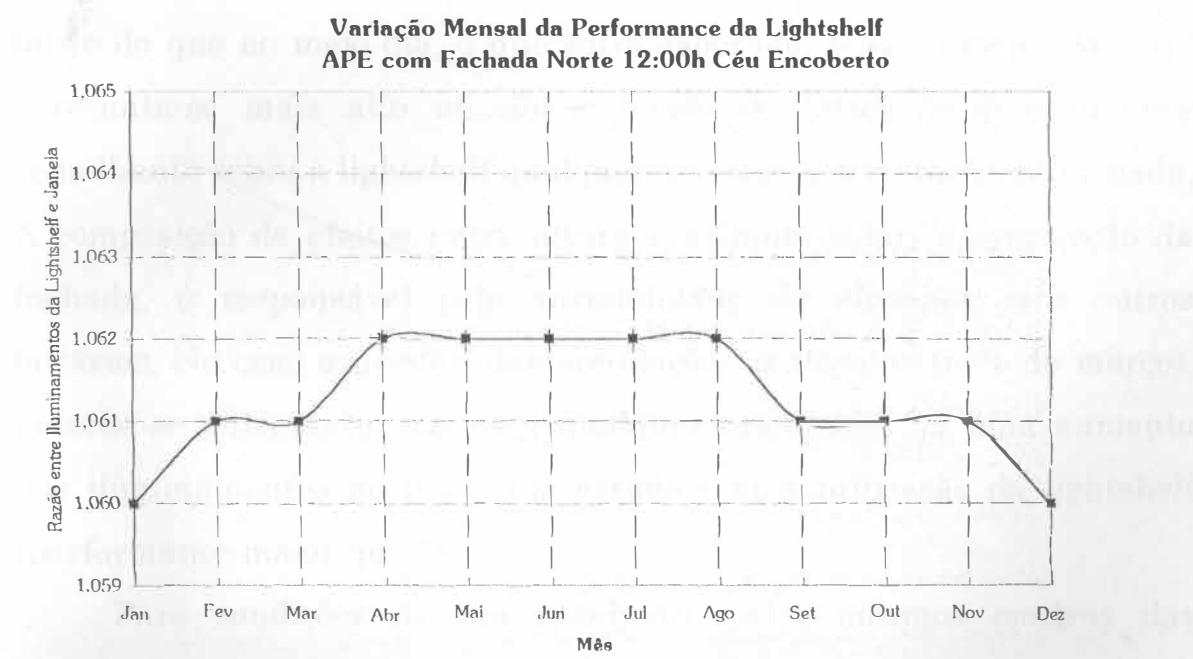


gráfico 32 - *Variação Mensal da Performance da Lightshelf
(12:00 horas com Céu Encoberto)*

GRUPO III - VARIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA LIGHTSHELF COM A ORIENTAÇÃO DO AMBIENTE PADRÃO DE ESTUDO

Neste grupo, as simulações foram executadas com o objetivo de verificar a variação da performance da lightshelf segundo a orientação do ambiente padrão de estudo (APE). Novamente foram mantidos a Praça XV, no Rio de Janeiro, como local de estudo e a orientação norte do APE. O mês considerado foi o mês de março. Também nestas simulações, apenas foram calculados os iluminamentos para um ponto distante a 4,00m da parede da janela. A orientação do APE segue as seguintes convenções: 0 graus = sul geográfico, 180 graus = norte, -90 graus = oeste, +90 graus = leste. Os resultados das simulações e os gráficos correspondentes são apresentados no quadro 6 e gráficos 33 e 34.

Verifica-se que para condições de céu claro, a variação da performance da lightshelf é maior para horários do meio da manhã e da tarde do que ao meio-dia, o que seria esperado, pois ao meio dia o sol apresenta-se mais alto no céu e incide de forma mais ou menos semelhante sobre a lightshelf qualquer que seja a orientação da fachada. A composição de efeitos entre altura e azimuth solar, e orientação da fachada, é responsável pela variabilidade da eficiência nos outros horários. No caso específico das simulações realizadas (mês de março), percebe-se entretanto que para qualquer orientação há uma aumento nos iluminamentos no ponto em estudo com a utilização da lightshelf (performance maior que 1).

Para condições de céu encoberto, pelos mesmos motivos das simulações do grupo II, a performance do elemento apresenta-se perfeitamente constante e próxima de 6 %.

Variação da Performance da Lightshelf com a Orientação do APE Céu Claro													
Orientação	-180	-150	-120	-90	-60	-30	0	30	60	90	120	150	180
09:00 h	1,113	1,025	1,025	1,023	1,021	1,020	1,020	1,124	1,050	1,041	1,037	1,036	1,113
15:00h	1,113	1,038	1,038	1,042	1,052	1,130	1,020	1,020	1,021	1,023	1,025	1,026	1,113

Variação da Performance da Lightshelf com a Orientação do APE 9:00h Céu Encoberto													
Orientação	-180	-150	-120	-90	-60	-30	0	30	60	90	120	150	180
Perform.	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062	1,062

Variação da Performance da Lightshelf com a Orientação do APE 12:00h Céu Claro													
Orientação	-180	-150	-120	-90	-60	-30	0	30	60	90	120	150	180
Perform.	1,053	1,019	1,021	1,025	1,024	1,023	1,023	1,023	1,024	1,230	1,113	1,065	1,053

Variação da Performance da Lightshelf com a Orientação do APE 12:00h Céu Encoberto													
Orientação	-180	-150	-120	-90	-60	-30	0	30	60	90	120	150	180
Perform.	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061	1,061

quadro 6 - Performance da Lightshelf em Relação à Orientação do APE

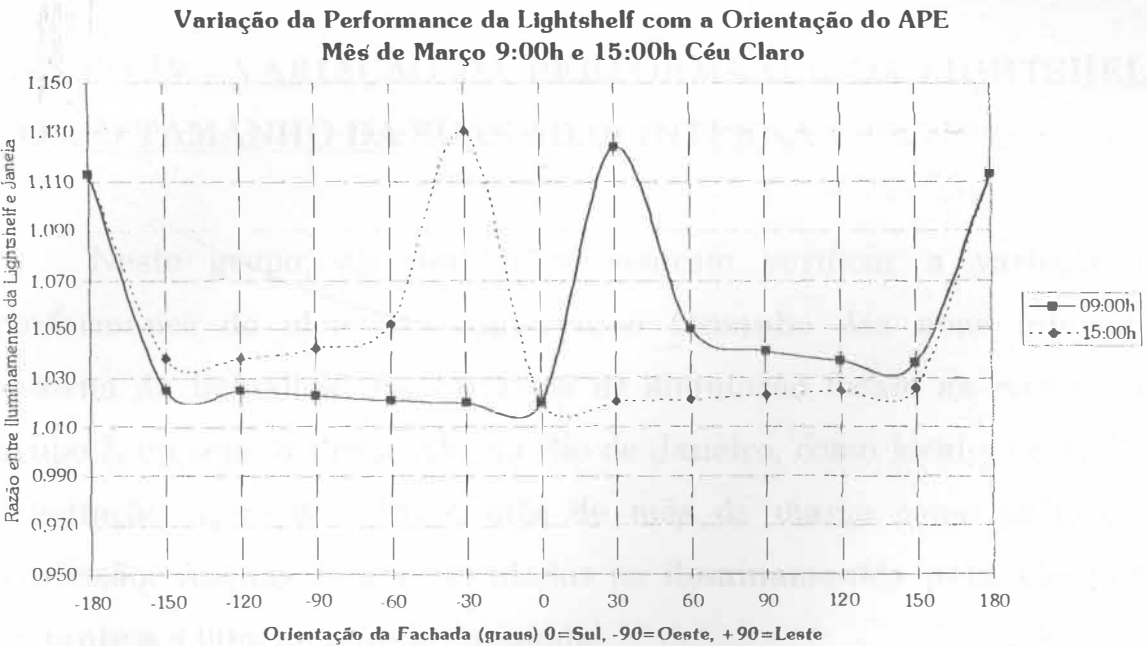


gráfico 33 - Performance da Lightshelf em Relação à Orientação do APE
(09:00 e 15:00 horas, Céu Claro)

Variação da Performance da Lightshelf com a Orientação do APE
Mês de Março 12:00h Céu Claro

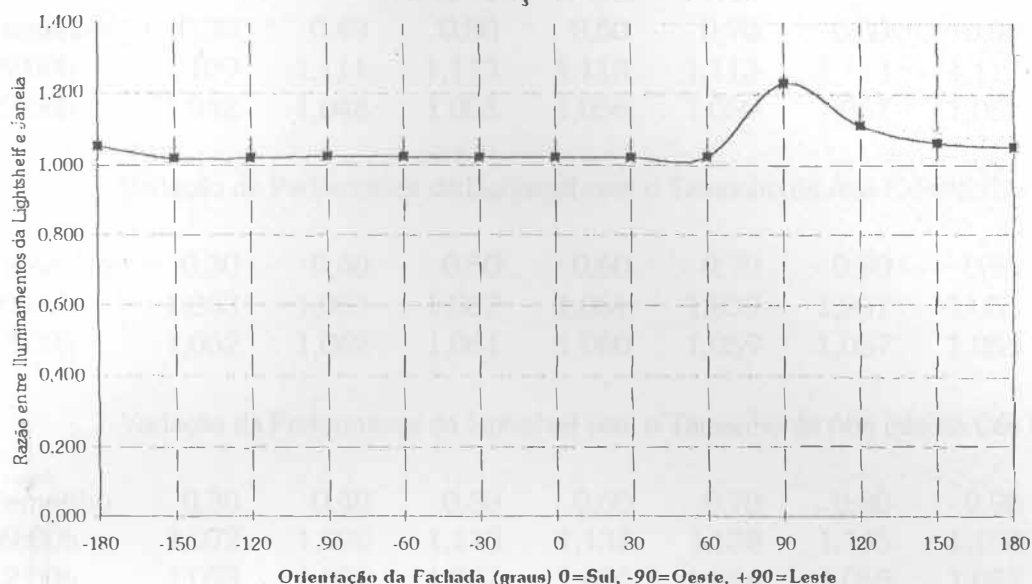


gráfico 34 - Performance da Lightshelf em Relação à Orientação do APE
(12:00 horas, Céu Claro)

GRUPO IV - VARIAÇÃO DA PERFORMANCE DA LIGHTSHELF **COM O TAMANHO DA SUAS ABAS INTERNA E EXTERNA**

Neste grupo, as simulações visaram verificar a variação da performance do elemento conforme o tamanho das abas interna e externa da lightshelf. As variáveis de simulação foram as mesmas do grupo I, ou seja, a Praça XV, no Rio de Janeiro, como local de estudo, a orientação norte do APE e mês de março como período de avaliação. Apenas foram calculados os iluminamentos para um ponto distante a 4,00m da parede da janela.

Fez-se variar separadamente os tamanhos das abas entre 0,3m a 1,0m, e procedeu-se às simulações, tendo-se o cuidado de manter a outra aba sempre com 0,5m. Os resultados das simulações e os gráficos correspondentes são apresentados no quadro 7 e gráficos 35 a 38.

Variação da Performance da Lightshelf com o Tamanho da Aba Externa Céu Claro								
Tamanho	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
09:00h	1,109	1,111	1,113	1,113	1,113	1,113	1,112	1,110
12:00h	1,042	1,048	1,053	1,056	1,059	1,061	1,062	1,063
Variação da Performance da Lightshelf com o Tamanho da Aba Externa Céu Encoberto								
Tamanho	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
09:00h	1,063	1,063	1,062	1,061	1,059	1,057	1,055	1,053
12:00h	1,062	1,062	1,061	1,060	1,059	1,057	1,055	1,053
Variação da Performance da Lightshelf com o Tamanho da Aba Interna Céu Claro								
Tamanho	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
09:00h	1,072	1,090	1,113	1,132	1,138	1,145	1,154	1,182
12:00h	1,053	1,052	1,053	1,054	1,054	1,055	1,057	1,077
Variação da Performance da Lightshelf com o Tamanho da Aba Interna Céu Encoberto								
Tamanho	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
09:00h	1,033	1,045	1,062	1,080	1,101	1,124	1,151	1,197
12:00h	1,032	1,044	1,061	1,080	1,101	1,124	1,151	1,197

quadro 7 - Performance de Lightshelf com relação ao Tamanho das Abas Interna e Externa

Os resultados das simulações suportam análises diferenciadas para a aba externa e interna. Enquanto uma variação no tamanho da aba externa resultou numa variação da performance do elemento sempre menor que 2 % (tanto para céu claro ou encoberto), a mesma variação no tamanho da aba interna implicou em diferenças de performance muito mais significativas.

Assim, para condições de céu claro e às 09:00h, a performance pulou de 7,2 % para uma aba de 30 cm para 18,2 % para uma aba de 1,0 metro. Para o céu encoberto, a diferença foi ainda maior, variando entre 3,2% para uma aba de 30 cm, até 19,7 % para uma aba interna de 1,0 metro. Somente na simulação para o céu claro às 12:00h, a performance se manteve constante com a variação do tamanho da aba interna. Isto

pode ser explicado pelo fato de que neste horário, a incidência dos raios solares diretos sobre a aba interna é limitada ao ângulo de altura solar.

Neste último caso, o aproveitamento da luz direta do sol fica portanto fixo, enquanto que o restante da aba interna aproveita a luz proveniente do céu incidente na lightshelf. Esta parcela entretanto, é muito inferior ao da luz direta, influenciando a eficiência relativa do elemento arquitetônico. Porém, mesmo neste caso a diferença entre o menor valor (5,3 %) e o maior valor (7,7 %) é superior às diferenças encontradas para a variação no tamanho da aba externa (sob quaisquer condições de céu e hora).

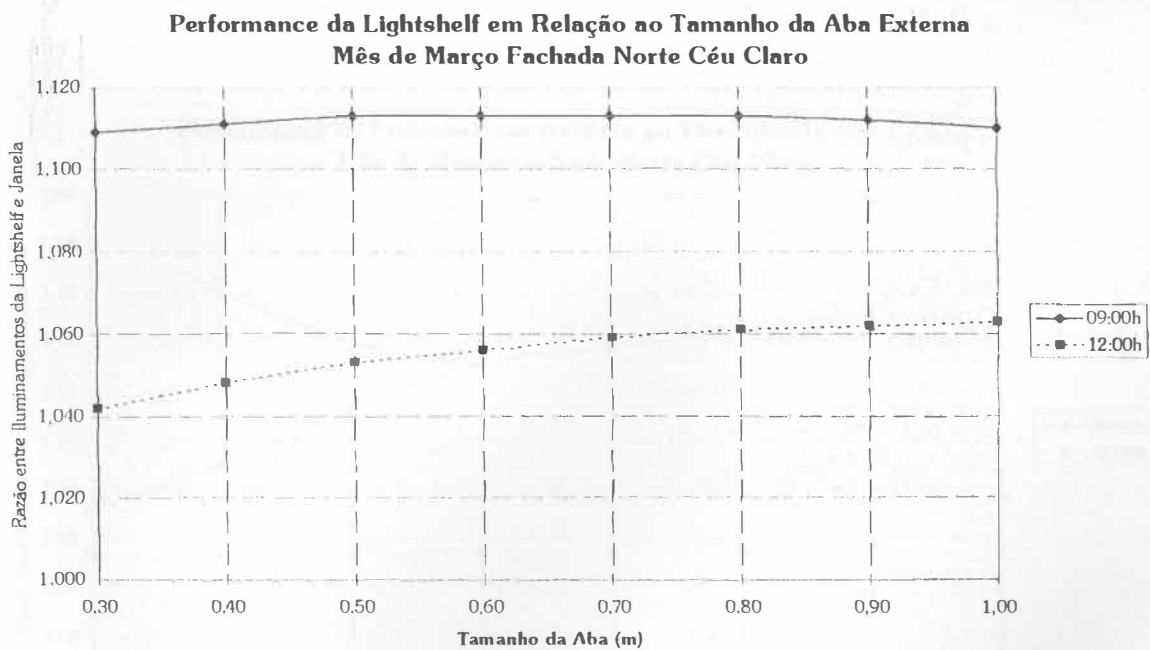


gráfico 35 - Performance da Lightshelf em Relação ao Tamanho da Aba Externa para condições de Céu Claro

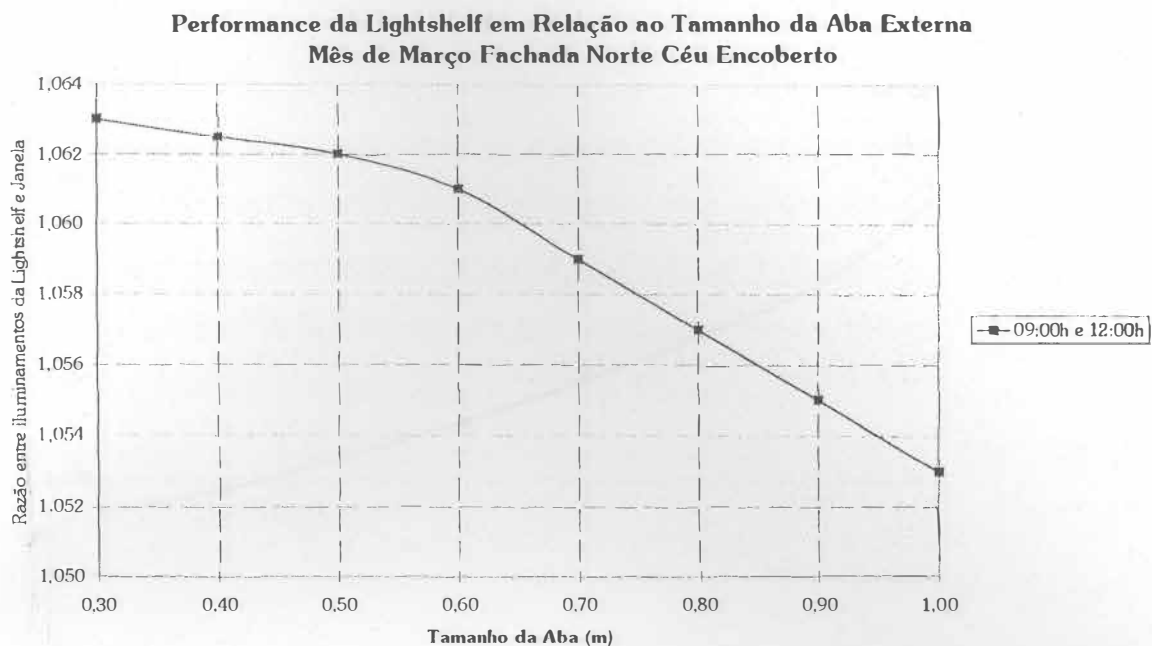


gráfico 36 - *Performance da Lightshelf em Relação ao Tamanho da Aba Externa para condições de Céu Encoberto*

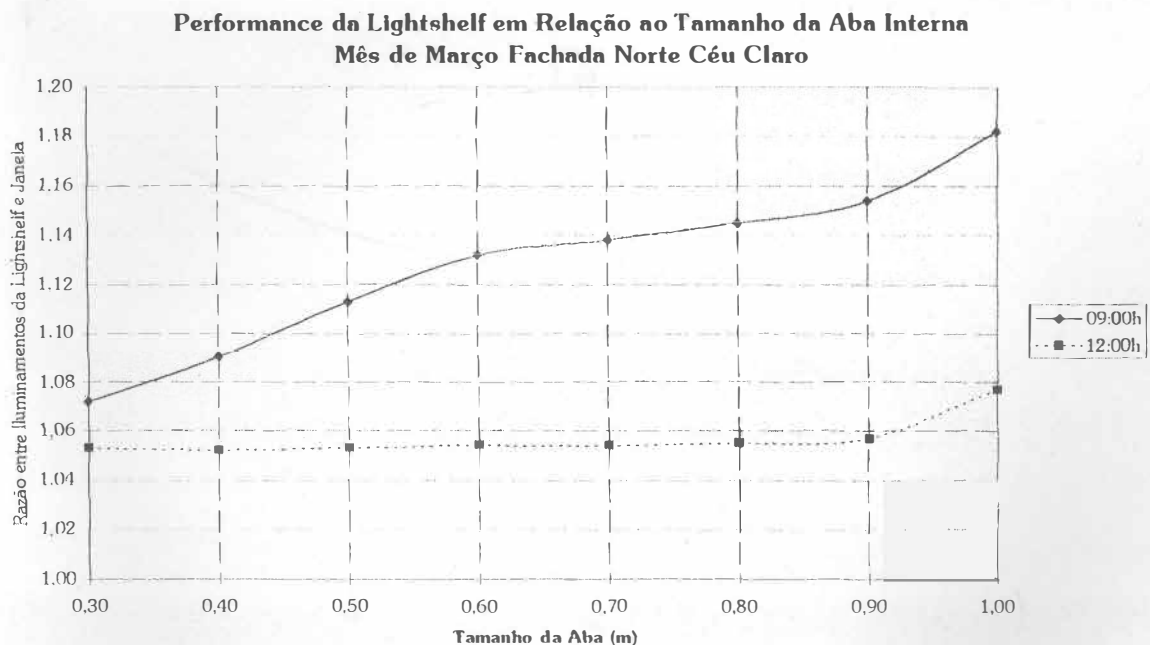


gráfico 37 - *Performance da Lightshelf em Relação ao Tamanho da Aba Interna para condições de Céu Claro*

Performance da Lightshelf em Relação ao Tamanho da Aba Interna
Mês de Março Fachada Norte Céu Encoberto

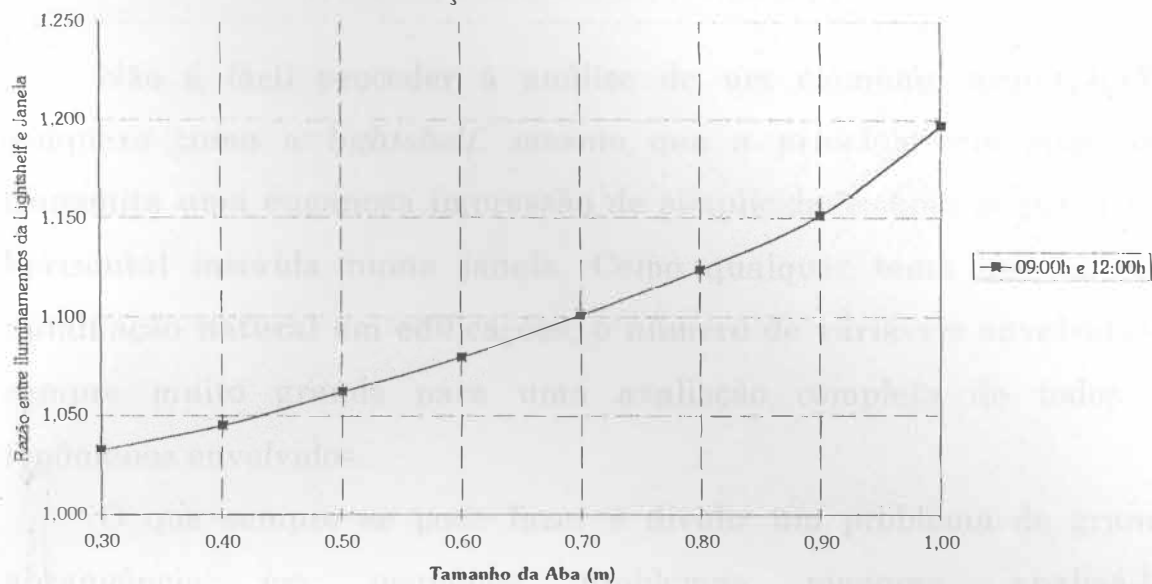


gráfico 38 - Performance da Lightshelf em Relação ao Tamanho da Aba Interna para condições de Céu Encoberto



CONCLUSÃO

Não é fácil proceder à análise de um elemento arquitetônico complexo como a *lightshelf*, mesmo que a princípio sua aparência transmita uma enganosa impressão de simplicidade: uma pequena laje horizontal inserida numa janela. Como qualquer tema que envolva iluminação natural em edificações, o número de variáveis envolvidas é sempre muito grande para uma avaliação completa de todos os fenômenos envolvidos.

O que sempre se pode fazer é dividir um problema de grande abrangência em pequenos problemas menores, analisá-los separadamente e, depois, tentar formar uma teoria explicativa para todo conjunto. Este tem sido invariavelmente o caminho seguido pela ciência, e só assim temos obtido algum sucesso na compreensão do mundo que nos cerca. Nem sempre as respostas obtidas respondem às perguntas, e na maioria das vezes apenas acrescentam outras indagações às questões iniciais.

Não foi diferente com este trabalho. Certamente as questões respondidas são apenas uma pequena fração do trabalho a ser realizado para uma total compreensão do dispositivo *lightshelf*. No volume destas 147 páginas não foram tocados temas como *lightshelves* de reflexão especular, a influência da inclinação das superfícies da *lightshelf* na eficiência lumínica, o estudo dos efeitos térmicos das mesmas para com a edificação, e outros. São questões que se deixa para próximos trabalhos. Da mesma forma, sabemos que os resultados encontrados são limitados a umas poucas simulações realizadas com o auxílio de computadores, e que uma verificação com dados obtidos através de medições reais num estudo de caso, podem corrigir as imperfeições que porventura possam

existir no modelo teórico utilizado. Espera-se sinceramente que alguém possa executar esta tarefa.

Ao mesmo tempo, e dentro deste contexto, tem-se confiança que um significativo avanço foi empreendido, principalmente pelo fato de que o programa computacional desenvolvido se constitui numa ferramenta de fundamental importância para o arquiteto. Seria humana e economicamente impossível executar todos os cálculos envolvidos com a precisão e rapidez necessárias ao estudo, sem ajuda de equipamentos eletrônicos.

Que este software possa ser utilizado amplamente por profissionais dispostos a melhorar a “eficiência arquitetônica” de suas obras, sempre foi também um objetivo deste estudo. A disseminação do conhecimento obtido é um desejo inerente a todo pesquisador, que só sente a realização plena do seu trabalho ao perceber um aproveitamento real de suas descobertas. Acredita-se que as simulações apresentadas no Capítulo VI, exclusivamente voltadas para a utilização de um único elemento arquitetônico, sejam uma amostra do que pode e deve ser realizado por todo arquiteto, em todas as etapas de projetos e sistemas de uma edificação. Não pensando jamais em desfazer da importância da arte no fazer arquitetônico, compreende-se contudo que neste final de século XX, a arquitetura possui um compromisso irrevogável com a preservação de recursos em geral, e a busca de novos conceitos e tecnologias faz parte deste esforço. Nunca em toda a história da humanidade, o arquiteto teve ao seu dispor uma tão vasta gama de materiais, processos, métodos e ferramentas de criação e avaliação, como hoje o tem. É de sua responsabilidade o dever e a esperança de criar cada vez melhor, lembrando-se sempre que por trás de todo este processo se encontra a única e verdadeira razão de toda sua dedicação: o ser humano.

BIBLIOGRAFIA

1. ARIÈS, P. História da Vida Privada. Vol II, III e IV. Companhia das Letras, São Paulo, 1992.
2. BITTENCOURT, L. Uso das Cartas Solares. Diretrizes para Arquitetos. Editora da Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 1988.
3. CARVALHO, L. Simulação e Análise da Iluminação Natural em Interiores. FAU-UFRJ, 1992.
4. CASTRO, L. T. Análise Lumínica Natural de Edificações. Uma Aplicação Computacional. COPPE-UFRJ, 1995.
5. CAVALCANTI, E. S. C. Analysis of experimental Solar Radiation Data for Rio de Janeiro, Brazil. Solar Energy, vol 47, No. 3, 1991.
6. CORBELLA, O. Reconstrução e Análise de Dados de Radiação Solar e Horas de Brilho Solar para a Cidade de Rio de Janeiro. Anais do III Encontro Nacional / I Encontro Latino-americano de "Conforto no Ambiente Construido". Ed. da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construido, Porto Alegre, 1995.
7. DOGNIAUX, R. Programme General de Calcul des Eclairments Solaires Energetiques et Lumineux des Surfaces Orientees et Inclinees. Ed. Institute Royal Météreologique de Belgique, Belgique, 1985.

8. HOPKINSON, R. G. Iluminação Natural. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1966.
9. HOWELL, J. R. Radiation Configuration Factors. McGraw-Hill Book Company, 1982.
10. JANSON, H. W. História da Arte. Martins Fontes, São Paulo, 1992.
11. LAM, W. M. C. Sunlighting as Formgiver for Architecture. Van Nostrand Reinhold Inc., New York, 1986.
12. MASCARÓ, L. R. Energia na Edificação/Estratégia para minimizar o consumo. Ed. Projeto, São Paulo, 1991.
13. ROBBINS, C. L. Daylighting. Design and Analysis. Van Nostrand Reinhold Inc., New York, 1986.
14. SILVÉRIO, C. S. Dispositivos de Sombreamento/Redirecionamento. A Conservação de Energia e a Manutenção do Conforto. FAU-UFRJ, 1995.
15. Superlite 2.0 - Predicting Daylighting and Lighting Performance. Lawrence Berkeley Laboratory, 1994.



ANEXOS

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE JANELA CÉU CLARO / PROGRAMA SUPERLITE 2.0

1

```
*****
*
*      ILLUMINATION IN A RECTANGULAR ROOM      *
*
*****

ROOM HAS A WIDTH (WINDOW WALL) OF  4.0 UNITS
                        A DEPTH OF  8.0 UNITS
                        AND A HEIGHT OF  3.5 UNITS
ROOM ORIENTATION (FROM OUTWARD WINDOW NORMAL) =  .0 DEG. OFF SOUTH

ROOM HAS 1 WINDOW(S) IN THE FRONT WALL

WINDOW NO. 1 IS  4.00 UNITS WIDE BY  2.10 UNITS HIGH
WINDOW CENTER IS  .00 UNITS TO RIGHT OF WALL CENTER
                        2.05 UNITS FROM FLOOR
WINDOW DISCRETIZATION IS 10 BY 10
WINDOW TYPE IS "1" (CLEAR WINDOW)
MAINTENANCE FACTOR      =1.00
WINDOW THICKNESS        = .00
WINDOW TRANSMISSIVITY   = .90
WINDOW REFLECTANCE      =  .10

FRONT WALL..      DISCRETIZATION  3 BY  3, REFLECTANCE  =  .70
LEFT SIDE..       DISCRETIZATION  5 BY  3, REFLECTANCE  =  .70
REAR WALL..       DISCRETIZATION  3 BY  3, REFLECTANCE  =  .70
RIGHT SIDE..      DISCRETIZATION  5 BY  3, REFLECTANCE  =  .70
CEILING..         DISCRETIZATION  3 BY  5, REFLECTANCE  =  .80
FLOOR..           DISCRETIZATION  3 BY  5, REFLECTANCE  =  .20
WORKING SURFACE.. DISCRETIZATION  3 BY  5, ELEVATION =  .75 UNITS

SUBJECT BUILDING..
BUILDING WIDTH (FRONT WALL)  =  4.0 UNITS
BUILDING HEIGHT              =  3.5 UNITS
OFFSET TO RIGHT OF ROOM CENTER =  .0 UNITS
REFLECTANCE                  =  .50

SKY LUMINANCE DETERMINED BY GEOGRAPHICAL DATA
LATITUDE                    30.0 DEG.
LONGITUDE                   40.0 DEG.
TIME ZONE                    3
ALTITUDE                    2.0 METERS
SKY MODEL                   2
GROUND REFLECTANCE          .20
FIRST MONTH                  3
LAST MONTH                   9
INCREMENT BETWEEN MONTHS    6
DAY OF MONTH                 16
FIRST TIME OF DAY            9.0 HRS.
LAST TIME OF DAY             15.0 HRS.
TIME INCREMENT               2.0 HRS.
MONTHLY VALUES FOR TURBIDITY AND COND.WATER..
      MONTH  C.W.  TURB.
        3  4.0000  .1000
        9  4.0000  .1000
```

MONTH = 3 TIME = 9.0 HRS.

SUN ALTITUDE ANGLE = 38.8
SUN AZIMUTH ANGLE = 59.5 DEG. OFF SOUTH TOWARDS EAST

DIRECT-SUN TRANSMISSION FRACTION, ALPHA
WINDOW 1 ALPHA=1.000

LUMINANCE OF SURFACE I IN SURROUNDING NO. 1 (FT-LAMBERT)

I 1 2
2434. 1290.

DAYLIGHT ILLUMINANCE ON HORIZONTAL OUTDOOR SURFACE
SOLAR COMPONENT= 4594. FT-CANDLE
SKY COMPONENT= 1671. FT-CANDLE
ZENITH LUMINANCE= 948. FT-LAMBERT

1

* ILLUMINATION DATA FOR WORKING SURFACE *
* NODES; I=SURFACE, K=NODE-NO. X,Y,Z=COORDINATES *
* E-D=ELECTRIC DIRECT COMPONENTET (FT-CANDLE) *
* E-R=ELECTRIC REFLECTED COMPONENT *
* D-D=DAYLIGHT DIRECT COMPONENT *
* D-R=DAYLIGHT REFLECTED COMPONENT *
* I=TOTAL ILLUMINANCE D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT) *

X = DISTANCE FROM FRONT WALL (PARALLEL TO FRONT WALL)
Y = DISTANCE FROM ROOM CENTER LINE (PERPENDICULAR TO FRONT WALL)
POSITIVE VALUES (LEFT OF CENTER LINE)
NEGATIVE VALUES (RIGHT OF CENTER LINE)
Z = HEIGHT OF WORK PLANE

*K		1	2	3
I*				
8	X	-.80	-.80	-.80
	Y	1.33	.00	-1.33
	Z	.75	.75	.75
	E-D	.00	.00	.00
	E-R	.00	.00	.00
	D-D	311.50	3471.78	3461.83
	D-R	302.43	375.56	870.48
	I	613.92	3847.33	4332.31
	D	36.74	53.19	82.21

*K		4	5	6
I*				
8	X	-2.40	-2.40	-2.40
	Y	1.33	.00	-1.33
	Z	.75	.75	.75
	E-D	.00	.00	.00
	E-R	.00	.00	.00
	D-D	111.69	185.74	209.59
	D-R	268.62	298.28	317.38
	I	380.31	484.03	526.98
	D	22.76	28.97	31.54

*K		7	8	9
I*				
8	X	-4.00	-4.00	-4.00
	Y	1.33	.00	-1.33
	Z	.75	.75	.75

E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	48.35	68.39	78.58
D-R	186.99	196.27	185.39
I	235.34	264.67	263.97
D	14.08	15.84	15.80

*K	10	11	12
I*			
8 X	-5.60	-5.60	-5.60
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	24.54	31.52	35.59
D-R	128.43	134.92	126.31
I	152.97	166.44	161.90
D	9.15	9.96	9.69

*K	13	14	15
I*			
8 X	-7.20	-7.20	-7.20
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	13.96	16.91	18.74
D-R	106.43	112.29	106.80
I	120.38	129.21	125.55
D	7.20	7.73	7.51

MONTH = 3 TIME = 11.0 HRS.

SUN ALTITUDE ANGLE = 56.2
SUN AZIMUTH ANGLE = 22.3 DEG. OFF SOUTH TOWARDS EAST

DIRECT-SUN TRANSMISSION FRACTION, ALPHA
WINDOW 1 ALPHA=1.000

LUMINANCE OF SURFACE I IN SURROUNDING NO. 1 (FT-LAMBERT)

I 1 2
3332. 1845.

DAYLIGHT ILLUMINANCE ON HORIZONTAL OUTDOOR SURFACE
SOLAR COMPONENT= 6982. FT-CANDLE
SKY COMPONENT= 1887. FT-CANDLE
ZENITH LUMINANCE= 1651. FT-LAMBERT

1

* ILLUMINATION DATA FOR WORKING SURFACE *
* NODES; I=SURFACE, K=NODE-NO. X,Y,Z=COORDINATES *
* E-D=ELECTRIC DIRECT COMPONENT (FT-CANDLE) *
* E-R=ELECTRIC REFLECTED COMPONENT *
* D-D=DAYLIGHT DIRECT COMPONENT *
* D-R=DAYLIGHT REFLECTED COMPONENT *
* I=TOTAL ILLUMINANCE D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT) *

X = DISTANCE FROM FRONT WALL (PARALLEL TO FRONT WALL)
Y = DISTANCE FROM ROOM CENTER LINE (PERPENDICULAR TO FRONT WALL)
POSITIVE VALUES (LEFT OF CENTER LINE)
NEGATIVE VALUES (RIGHT OF CENTER LINE)
Z = HEIGHT OF WORK PLANE

*K	1	2	3
I*			
8 X	-.80	-.80	-.80
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	5946.20	6059.06	6013.36
D-R	366.43	368.54	602.77
I	6312.63	6427.60	6616.12
D	50.12	56.21	66.20

*K	4	5	6
I*			
8 X	-2.40	-2.40	-2.40
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	193.35	266.76	242.38
D-R	306.30	322.18	326.98
I	499.65	588.94	569.36
D	26.47	31.20	30.17

*K	7	8	9
I*			
8 X	-4.00	-4.00	-4.00
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	75.51	96.02	91.72
D-R	214.72	227.38	216.09
I	290.23	323.39	307.81
D	15.38	17.13	16.31

*K	10	11	12
I*			
8 X	-5.60	-5.60	-5.60
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	36.30	43.11	42.41
D-R	149.93	160.27	151.45
I	186.23	203.38	193.86
D	9.87	10.78	10.27

*K	13	14	15
I*			
8 X	-7.20	-7.20	-7.20
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	19.95	22.67	22.61
D-R	126.16	134.81	128.89
I	146.10	157.48	151.50
D	7.74	8.34	8.03

MONTH = 3 TIME = 13.0 HRS.

SUN ALTITUDE ANGLE = 54.0
 SUN AZIMUTH ANGLE = -31.3 DEG. OFF SOUTH TOWARDS EAST

DIRECT-SUN TRANSMISSION FRACTION, ALPHA
 WINDOW 1 ALPHA=1.000

LUMINANCE OF SURFACE 1 IN SURROUNDING NO. 1 (FT-LAMBERT)

I 1 2
3214. 1781.

DAYLIGHT ILLUMINANCE ON HORIZONTAL OUTDOOR SURFACE
SOLAR COMPONENT= 6719. FT-CANDLE
SKY COMPONENT= 1862. FT-CANDLE
ZENITH LUMINANCE= 1527. FT-LAMBERT

1

* ILLUMINATION DATA FOR WORKING SURFACE *
* NODES; I=SURFACE, K=NODE-NO. X,Y,Z=COORDINATES *
* E-D=ELECTRIC DIRECT COMPONENT (FT-CANDLE) *
* E-R=ELECTRIC REFLECTED COMPONENT *
* D-D=DAYLIGHT DIRECT COMPONENT *
* D-R=DAYLIGHT REFLECTED COMPONENT *
* I=TOTAL ILLUMINANCE D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT) *

X = DISTANCE FROM FRONT WALL (PARALLEL TO FRONT WALL)
Y = DISTANCE FROM ROOM CENTER LINE (PERPENDICULAR TO FRONT WALL)
POSITIVE VALUES (LEFT OF CENTER LINE)
NEGATIVE VALUES (RIGHT OF CENTER LINE)
Z = HEIGHT OF WORK PLANE

*K		1	2	3
I*				
8	X	-.80	-.80	-.80
	Y	1.33	.00	-1.33
	Z	.75	.75	.75
	E-D	.00	.00	.00
	E-R	.00	.00	.00
	D-D	5720.60	5759.76	5629.74
	D-R	700.99	390.53	375.65
	I	6421.59	6150.29	6005.39
	D	71.56	56.99	49.21

*K		4	5	6
I*				
8	X	-2.40	-2.40	-2.40
	Y	1.33	.00	-1.33
	Z	.75	.75	.75
	E-D	.00	.00	.00
	E-R	.00	.00	.00
	D-D	244.04	257.39	175.91
	D-R	337.19	333.36	316.79
	I	581.22	590.75	492.70
	D	31.21	31.72	26.46

*K		7	8	9
I*				
8	X	-4.00	-4.00	-4.00
	Y	1.33	.00	-1.33
	Z	.75	.75	.75
	E-D	.00	.00	.00
	E-R	.00	.00	.00
	D-D	92.20	92.37	69.97
	D-R	215.55	231.34	222.26
	I	307.74	323.71	292.23
	D	16.53	17.38	15.69

*K	10	11	12
I*			
8 X	-5.60	-5.60	-5.60
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	42.33	41.53	34.01
D-R	148.78	161.69	155.15
I	191.11	203.22	189.16
D	10.26	10.91	10.16

*K	13	14	15
I*			
8 X	-7.20	-7.20	-7.20
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	22.44	21.88	18.82
D-R	125.41	135.07	129.98
I	147.85	156.95	148.81
D	7.94	8.43	7.99

MONTH = 3 TIME = 15.0 HRS.

SUN ALTITUDE ANGLE = 34.5
SUN AZIMUTH ANGLE = -64.0 DEG. OFF SOUTH TOWARDS EAST

DIRECT-SUN TRANSMISSION FRACTION, ALPHA
WINDOW 1 ALPHA=1.000

LUMINANCE OF SURFACE I IN SURROUNDING NO. 1 (FT-LAMBERT)

I	1	2
	2118.	1144.

DAYLIGHT ILLUMINANCE ON HORIZONTAL OUTDOOR SURFACE
SOLAR COMPONENT= 3932. FT-CANDLE
SKY COMPONENT= 1600. FT-CANDLE
ZENITH LUMINANCE= 842. FT-LAMBERT

1

* ILLUMINATION DATA FOR WORKING SURFACE *
* NODES; I=SURFACE, K=NODE-NO. X,Y,Z=COORDINATES *
* E-D=ELECTRIC DIRECT COMPONENT (FT-CANDLE) *
* E-R=ELECTRIC REFLECTED COMPONENT *
* D-D=DAYLIGHT DIRECT COMPONENT *
* D-R=DAYLIGHT REFLECTED COMPONENT *
* I=TOTAL ILLUMINANCE D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT) *

X = DISTANCE FROM FRONT WALL (PARALLEL TO FRONT WALL)
Y = DISTANCE FROM ROOM CENTER LINE (PERPENDICULAR TO FRONT WALL)
POSITIVE VALUES (LEFT OF CENTER LINE)
NEGATIVE VALUES (RIGHT OF CENTER LINE)
Z = HEIGHT OF WORK PLANE

*K	1	2	3
I*			
8 X	-.80	-.80	-.80
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00

E-R	.00	.00	.00
D-D	2818.70	2822.06	272.50
D-R	830.26	351.28	282.64
I	3648.96	3173.33	555.14
D	80.54	50.82	34.69

*K	4	5	6
I *			
8 X	-2.40	-2.40	-2.40
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	192.00	166.64	101.13
D-R	293.68	276.82	251.52
I	485.69	443.47	352.65
D	30.35	27.71	22.03

*K	7	8	9
I *			
8 X	-4.00	-4.00	-4.00
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	72.42	62.38	44.41
D-R	167.86	180.64	175.25
I	240.29	243.01	219.67
D	15.01	15.18	13.72

*K	10	11	12
I *			
8 X	-5.60	-5.60	-5.60
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	32.96	29.02	22.70
D-R	112.78	123.52	120.62
I	145.74	152.54	143.32
D	9.11	9.53	8.95

*K	13	14	15
I *			
8 X	-7.20	-7.20	-7.20
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	17.42	15.66	12.96
D-R	94.76	102.63	100.14
I	112.18	118.29	113.10
D	7.01	7.39	7.07

RESULTADOS DA SIMULAÇÃO DE JANELA CÉU ENCOBERTO / PROGRAMA SUPERLITE 2.0

1

```
*****
*
*      ILLUMINATION IN A RECTANGULAR ROOM
*
*****
```

ROOM HAS A WIDTH (WINDOW WALL) OF 4.0 UNITS
A DEPTH OF 8.0 UNITS
AND A HEIGHT OF 3.5 UNITS
ROOM ORIENTATION (FROM OUTWARD WINDOW NORMAL) = .0 DEG. OFF SOUTH

ROOM HAS 1 WINDOW(S) IN THE FRONT WALL

WINDOW NO. 1 IS 4.00 UNITS WIDE BY 2.10 UNITS HIGH
WINDOW CENTER IS .00 UNITS TO RIGHT OF WALL CENTER
2.05 UNITS FROM FLOOR

WINDOW DISCRETIZATION IS 10 BY 10
WINDOW TYPE IS "1" (CLEAR WINDOW)
MAINTENANCE FACTOR = 1.00
WINDOW THICKNESS = .00
WINDOW TRANSMISSIVITY = .90
WINDOW REFLECTANCE = .10

FRONT WALL..	DISCRETIZATION	3 BY 3,	REFLECTANCE	=	.70
LEFT SIDE..	DISCRETIZATION	5 BY 3,	REFLECTANCE	=	.70
REAR WALL..	DISCRETIZATION	3 BY 3,	REFLECTANCE	=	.70
RIGHT SIDE..	DISCRETIZATION	5 BY 3,	REFLECTANCE	=	.70
CEILING..	DISCRETIZATION	3 BY 5,	REFLECTANCE	=	.80
FLOOR..	DISCRETIZATION	3 BY 5,	REFLECTANCE	=	.20
WORKING SURFACE..	DISCRETIZATION	3 BY 5,	ELEVATION	=	.75 UNITS

SUBJECT BUILDING..

BUILDING WIDTH (FRONT WALL)	=	4.0 UNITS
BUILDING HEIGHT	=	3.5 UNITS
OFFSET TO RIGHT OF ROOM CENTER	=	.0 UNITS
REFLECTANCE	=	.50

SKY LUMINANCE DETERMINED BY GEOGRAPHICAL DATA

LATITUDE	30.0 DEG.
LONGITUDE	40.0 DEG.
TIME ZONE	3
ALTITUDE	2.0 METERS
SKY MODEL	1
GROUND REFLECTANCE	.20
FIRST MONTH	3
LAST MONTH	9
INCREMENT BETWEEN MONTHS	6
DAY OF MONTH	16
FIRST TIME OF DAY	9.0 HRS.
LAST TIME OF DAY	15.0 HRS.
TIME INCREMENT	2.0 HRS.

MONTH = 3 TIME = 9.0 HRS.

DAYLIGHT ILLUMINANCE ON HORIZONTAL OUTDOOR SURFACE

SOLAR COMPONENT= 0. FT-CANDLE

SKY COMPONENT= 1356. FT-CANDLE

ZENITH LUMINANCE= 1730. FT-LAMBERT

1

```
*****
*      ILLUMINATION DATA FOR WORKING SURFACE      *
*      NODES: I=SURFACE, K=NODE-NO.  X,Y,Z=COORDINATES  *
*      E-D=ELECTRIC DIRECT COMPONENT (FT-CANDLE)      *
*      E-R=ELECTRIC REFLECTED COMPONENT              *
*      D-D=DAYLIGHT DIRECT COMPONENT                *
*      D-R=DAYLIGHT REFLECTED COMPONENT              *
*      I=TOTAL ILLUMINANCE  D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT)  *
*****
```

X = DISTANCE FROM FRONT WALL (PARALLEL TO FRONT WALL)
Y = DISTANCE FROM ROOM CENTER LINE (PERPENDICULAR TO FRONT WALL)
POSITIVE VALUES (LEFT OF CENTER LINE)
NEGATIVE VALUES (RIGHT OF CENTER LINE)
Z = HEIGHT OF WORK PLANE

*K	1	2	3
I*			
8 X	-.80	-.80	-.80
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	248.34	290.10	248.34
D-R	53.24	42.85	53.55
I	301.58	332.94	301.89
D	22.24	24.56	22.27

*K	4	5	6
I*			
8 X	-2.40	-2.40	-2.40
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	79.38	96.38	79.38
D-R	42.88	40.51	43.27
I	122.26	136.89	122.65
D	9.02	10.10	9.05

*K	7	8	9
I*			
8 X	-4.00	-4.00	-4.00
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	27.26	31.04	27.26
D-R	30.05	30.35	30.46
I	57.31	61.38	57.72
D	4.23	4.53	4.26

*K	10	11	12
I*			
8 X	-5.60	-5.60	-5.60
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	11.50	12.53	11.50

D-R	21.92	22.82	22.34
I	33.42	35.35	33.84
D	2.46	2.61	2.50

*K	13	14	15
I*			
8 X	-7.20	-7.20	-7.20
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	5.71	6.06	5.71
D-R	19.95	20.86	20.37
I	25.66	26.92	26.08
D	1.89	1.99	1.92

MONTH = 3 TIME = 11.0 HRS.

DAYLIGHT ILLUMINANCE ON HORIZONTAL OUTDOOR SURFACE
SOLAR COMPONENT= 0. FT-CANDLE
SKY COMPONENT= 1789. FT-CANDLE
ZENITH LUMINANCE= 2284. FT-LAMBERT

* ILLUMINATION DATA FOR WORKING SURFACE *
* NODES; I=SURFACE, K=NODE-NO. X,Y,Z=COORDINATES *
* E-D=ELECTRIC DIRECT COMPONENT (FT-CANDLE) *
* E-R=ELECTRIC REFLECTED COMPONENT *
* D-D=DAYLIGHT DIRECT COMPONENT *
* D-R=DAYLIGHT REFLECTED COMPONENT *
* I=TOTAL ILLUMINANCE D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT) *

X = DISTANCE FROM FRONT WALL (PARALLEL TO FRONT WALL)
Y = DISTANCE FROM ROOM CENTER LINE (PERPENDICULAR TO FRONT WALL)
POSITIVE VALUES (LEFT OF CENTER LINE)
NEGATIVE VALUES (RIGHT OF CENTER LINE)
Z = HEIGHT OF WORK PLANE

*K	1	2	3
I*			
8 X	-.80	-.80	-.80
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	327.79	382.90	327.79
D-R	70.27	56.55	70.68
I	398.06	439.46	398.46
D	22.24	24.56	22.27

*K	4	5	6
I*			
8 X	-2.40	-2.40	-2.40
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	104.77	127.21	104.77
D-R	56.60	53.47	57.11
I	161.37	180.68	161.88
D	9.02	10.10	9.05

*K	7	8	9
I*			
8 X	-4.00	-4.00	-4.00

Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	35.99	40.97	35.99
D-R	39.66	40.05	40.20
I	75.65	81.02	76.18
D	4.23	4.53	4.26

*K	10	11	12
I*			
8 X	-5.60	-5.60	-5.60
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	15.18	16.54	15.18
D-R	28.93	30.12	29.49
I	44.11	46.65	44.67
D	2.46	2.61	2.50

*K	13	14	15
I*			
8 X	-7.20	-7.20	-7.20
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	7.53	7.99	7.53
D-R	26.34	27.53	26.89
I	33.87	35.53	34.42
D	1.89	1.99	1.92

MONTH = 3 TIME = 13.0 HRS.
=====

DAYLIGHT ILLUMINANCE ON HORIZONTAL OUTDOOR SURFACE
SOLAR COMPONENT= 0. FT-CANDLE
SKY COMPONENT= 1743. FT-CANDLE
ZENITH LUMINANCE= 2225. FT-LAMBERT

1

```

*****
*      ILLUMINATION DATA FOR WORKING SURFACE      *
*      NODES; I=SURFACE, K=NODE-NO.  X,Y,Z=COORDINATES      *
*      E-D=ELECTRIC DIRECT COMPONENT (FT-CANDLE)      *
*      E-R=ELECTRIC REFLECTED COMPONENT      *
*      D-D=DAYLIGHT DIRECT COMPONENT      *
*      D-R=DAYLIGHT REFLECTED COMPONENT      *
*      I=TOTAL ILLUMINANCE      D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT)      *
*****

```

X = DISTANCE FROM FRONT WALL (PARALLEL TO FRONT WALL)
Y = DISTANCE FROM ROOM CENTER LINE (PERPENDICULAR TO FRONT WALL)
POSITIVE VALUES (LEFT OF CENTER LINE)
NEGATIVE VALUES (RIGHT OF CENTER LINE)
Z = HEIGHT OF WORK PLANE

*K	1	2	3
I*			
8 X	-.80	-.80	-.80
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	319.32	373.02	319.32
D-R	68.46	55.09	68.85
I	387.78	428.11	388.18
D	22.24	24.56	22.27

*K	4	5	6
I*			
8 X	-2.40	-2.40	-2.40
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	102.06	123.93	102.06
D-R	55.14	52.09	55.64
I	157.20	176.02	157.70
D	9.02	10.10	9.05

*K	7	8	9
I*			
8 X	-4.00	-4.00	-4.00
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	35.06	39.91	35.06
D-R	38.64	39.02	39.16
I	73.69	78.93	74.22
D	4.23	4.53	4.26

*K	10	11	12
I*			
8 X	-5.60	-5.60	-5.60
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	14.79	16.11	14.79
D-R	28.18	29.34	28.73
I	42.97	45.45	43.52
D	2.46	2.61	2.50

*K	13	14	15
I*			
8 X	-7.20	-7.20	-7.20
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	7.34	7.79	7.34
D-R	25.66	26.82	26.20
I	32.99	34.61	33.54
D	1.89	1.99	1.92

MONTH = 3 TIME = 15.0 HRS.
=====

DAYLIGHT ILLUMINANCE ON HORIZONTAL OUTDOOR SURFACE
SOLAR COMPONENT= 0. FT-CANDLE
SKY COMPONENT= 1230. FT-CANDLE
ZENITH LUMINANCE= 1569. FT-LAMBERT

1

```

*****
*      ILLUMINATION DATA FOR WORKING SURFACE      *
*      NODES; I=SURFACE, K=NODE-NO.  X,Y,Z=COORDINATES *
*      E-D=ELECTRIC DIRECT COMPONENTET (FT-CANDLE) *
*      E-R=ELECTRIC REFLECTED COMPONENT *
*      D-D=DAYLIGHT DIRECT COMPONENT *
*      D-R=DAYLIGHT REFLECTED COMPONENT *
*      I=TOTAL ILLUMINANCE      D=DAYLIGHT FACTOR (PERCENT) *
*****

```

X = DISTANCE FROM FRONT WALL (PARALLEL TO FRONT WALL)

Y = DISTANCE FROM ROOM CENTER LINE (PERPENDICULAR TO FRONT WALL)
 POSITIVE VALUES (LEFT OF CENTER LINE)
 NEGATIVE VALUES (RIGHT OF CENTER LINE)
 Z = HEIGHT OF WORK PLANE

*K	1	2	3
I*			
8 X	-.80	-.80	-.80
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	225.22	263.09	225.22
D-R	48.28	38.86	48.56
I	273.50	301.95	273.78
D	22.24	24.56	22.27

*K	4	5	6
I*			
8 X	-2.40	-2.40	-2.40
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	71.99	87.41	71.99
D-R	38.89	36.74	39.24
I	110.88	124.15	111.23
D	9.02	10.10	9.05

*K	7	8	9
I*			
8 X	-4.00	-4.00	-4.00
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	24.73	28.15	24.73
D-R	27.25	27.52	27.62
I	51.98	55.67	52.35
D	4.23	4.53	4.26

*K	10	11	12
I*			
8 X	-5.60	-5.60	-5.60
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	10.43	11.36	10.43
D-R	19.88	20.69	20.26
I	30.30	32.06	30.69
D	2.46	2.61	2.50

*K	13	14	15
I*			
8 X	-7.20	-7.20	-7.20
Y	1.33	.00	-1.33
Z	.75	.75	.75
E-D	.00	.00	.00
E-R	.00	.00	.00
D-D	5.18	5.49	5.18
D-R	18.10	18.92	18.48
I	23.27	24.41	23.65
D	1.89	1.99	1.92

EXEMPLO DE IMPRESSÃO DE RESULTADOS DO PROGRAMA RADLITE

RadLite

Programa para Cálculo de Radiações sobre Superfícies e Simulação de Janelas
Mestrado em Arquitetura FAU/UFRJ - Eduardo B P de Castro, 1996

pag 1

*** DADOS DE ENTRADA DA SIMULAÇÃO ***

Estação Metereológica de: Praça XV, RJ
Latitude -22,90 e Longitude -43,17
Altitude de: 26 metros
Fuso: -3
Albedo: 0,20
Correção de hora: 0
Mês da Simulação: Março
Método utilizado: Dogniaux
Região de Clima Temperado em Ambiente Urbano
Orientação: 135 graus: 0=sul/-90=oeste/+90=leste/180=norte
Inclinação: 90 graus: 0=horizontal/90=vertical

*** DADOS DA SALA, JANELA, PONTO e LIGHTSHELF ***

Dimensões da Sala: L=4,00 x C=8,00 x H=3,50 metros
Refletâncias das paredes: 1=70 % 2=70 % 3=70 % 4=70 %
Refletância do teto: 80 %
Refletância do piso: 20 %

Dimensões da Janela: L=4,00 x H=2,10 metros
Altura do Parapeito: 0,90 metros
Tipo de Vidro: Transparente Normal
Tipo de Caixilho: Perfil Fino

Distância de Referência: 0,80 metros
Altura de Referência: 0,75 metros
Deslocamento: 0,00 metros

Distância Parapeito/LightShelf: 1,55 metros
Espessura da Lightshelf: 0,05 metros
Tamanho da Aba Externa: 0,50 metros
Tamanho da Aba Interna: 0,50 metros
Refletância da Sup.Superior da Lightshelf: 80 %
Refletância da Sup.Inferior da Lightshelf: 80 %

*** VARIÁVEIS PARA CÁLCULO DA ILUMINAÇÃO ***

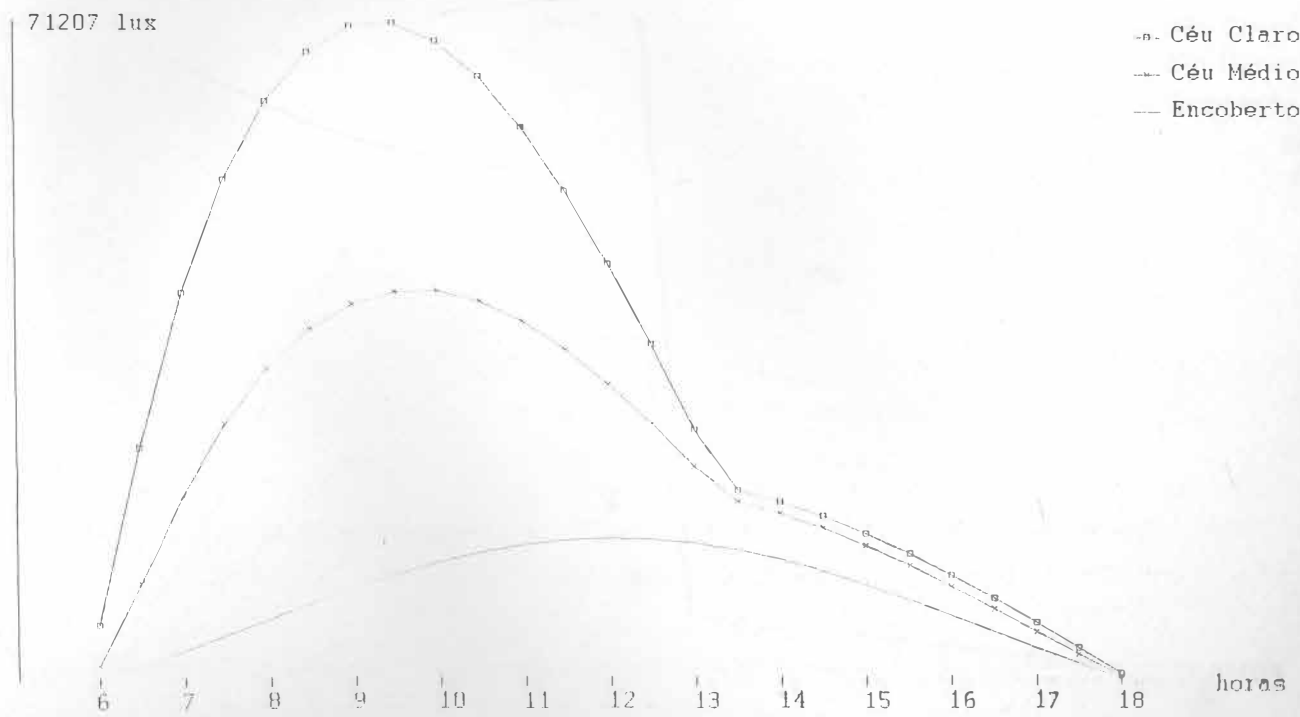
Rendimento Luminoso do Céu Claro: 106,97 lm/W
Rendimento Luminoso do Céu Encoberto: 126,08 lm/W

*** RESULTADOS NUMÉRICOS DA SIMULAÇÃO DE RADIAÇÃO INCIDENTE ***

Hora	EtCLA	EtMED	EtCOB	LtCLA	LtMED	LtCOB	Alt.Solar	Azimuth
6,0	58	15	1	6175	1717	85	0,4	88,0
6,5	239	97	13	25551	10715	1668	7,3	90,9
7,0	394	186	27	42096	20265	3353	14,2	93,9
7,5	508	260	40	54298	28113	5101	21,1	97,0
8,0	587	315	54	62796	34020	6868	27,9	100,4
8,5	638	355	68	68196	38199	8604	34,7	104,2
9,0	663	380	81	70908	40874	10255	41,3	108,7
9,5	666	392	93	71207	42193	11767	47,7	114,1
10,0	648	393	104	69309	42253	13090	53,9	120,9
10,5	612	382	112	65441	41143	14177	59,5	129,9
11,0	560	362	119	59881	38984	14990	64,3	142,2
11,5	495	334	123	52969	35947	15497	67,8	158,6
12,0	421	300	124	45066	32230	15681	69,1	178,8
12,5	341	260	123	36453	27980	15535	68,0	-160,8
13,0	255	216	119	27284	23266	15064	64,8	-143,8
13,5	193	182	113	20693	19588	14286	60,1	-131,1
14,0	183	170	105	19542	18326	13228	54,5	-121,8
14,5	168	155	95	17970	16671	11930	48,4	-114,8
15,0	150	137	83	16037	14697	10437	42,0	-109,2
15,5	129	116	70	13834	12500	8800	35,4	-104,7
16,0	107	94	56	11449	10170	7071	28,7	-100,8
16,5	84	72	42	8936	7764	5305	21,9	-97,4
17,0	59	49	28	6308	5310	3552	15,0	-94,2
17,5	33	26	15	3563	2841	1858	8,1	-91,2
18,0	7	4	2	748	482	262	1,2	-88,3

Energia em W/m² - Iluminamentos em LUX - Alt.Solares e Azimutes em GRAUS / EtMED Total Diária: 2.621

*** GRÁFICO DA RADIAÇÃO LUMINOSA INCIDENTE NA SUPERFÍCIE ***

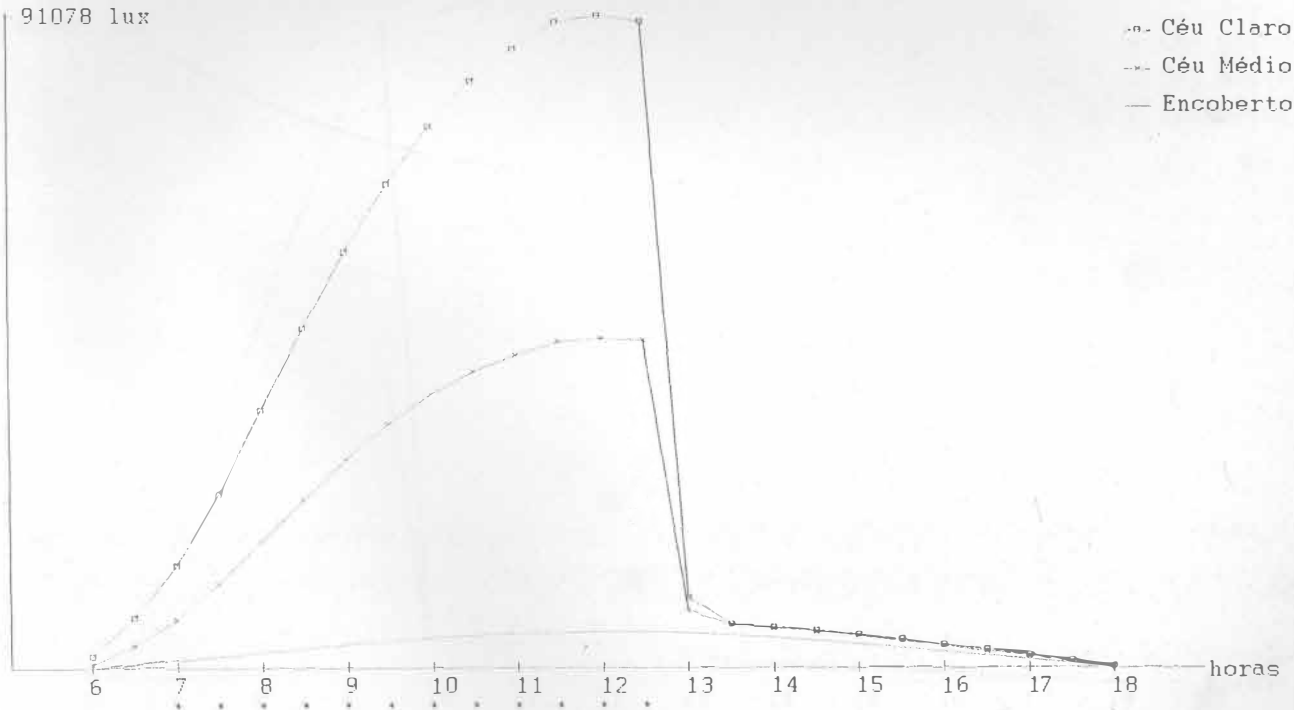


*** RESULTADOS NUMÉRICOS DA SIMULAÇÃO DE JANELA ***

Hora	LtCLA	LtMED	LtCOB	Alt.Solar	Azimute
6,0	1707	507	28	0,4	88,0
6,5	7182	3209	538	7,3	90,9
7,0	14775	6872	1084	14,2	93,9
7,5	24912	12153	1652	21,1	97,0
8,0	36503	18218	2226	27,9	100,4
8,5	47887	24185	2790	34,7	104,2
9,0	58499	29731	3327	41,3	108,7
9,5	67926	34641	3810	47,7	114,1
10,0	75064	38764	4247	53,9	120,9
10,5	82102	41997	4599	59,5	129,9
11,0	86526	44286	4862	64,3	142,2
11,5	90192	46139	5026	67,8	158,6
12,0	91078	46598	5085	69,1	178,8
12,5	90259	46179	5038	68,0	-160,8
13,0	10006	8033	4886	64,8	-143,8
13,5	6017	5912	4634	60,1	-131,1
14,0	5680	5531	4292	54,5	-121,8
14,5	5221	5031	3871	48,4	-114,8
15,0	4656	4435	3386	42,0	-109,2
15,5	4011	3772	2854	35,4	-104,7
16,0	3314	3068	2292	28,7	-100,0
16,5	2580	2342	1718	21,9	-97,4
17,0	1815	1602	1149	15,0	-94,2
17,5	1020	857	600	8,1	-91,2
18,0	213	145	84	1,2	-88,3

Iluminamentos em LUX - Alt.Solares e Azimutes em GRAUS

*** GRÁFICO DA RADIAÇÃO LUMINOSA INCIDENTE NO PONTO ***

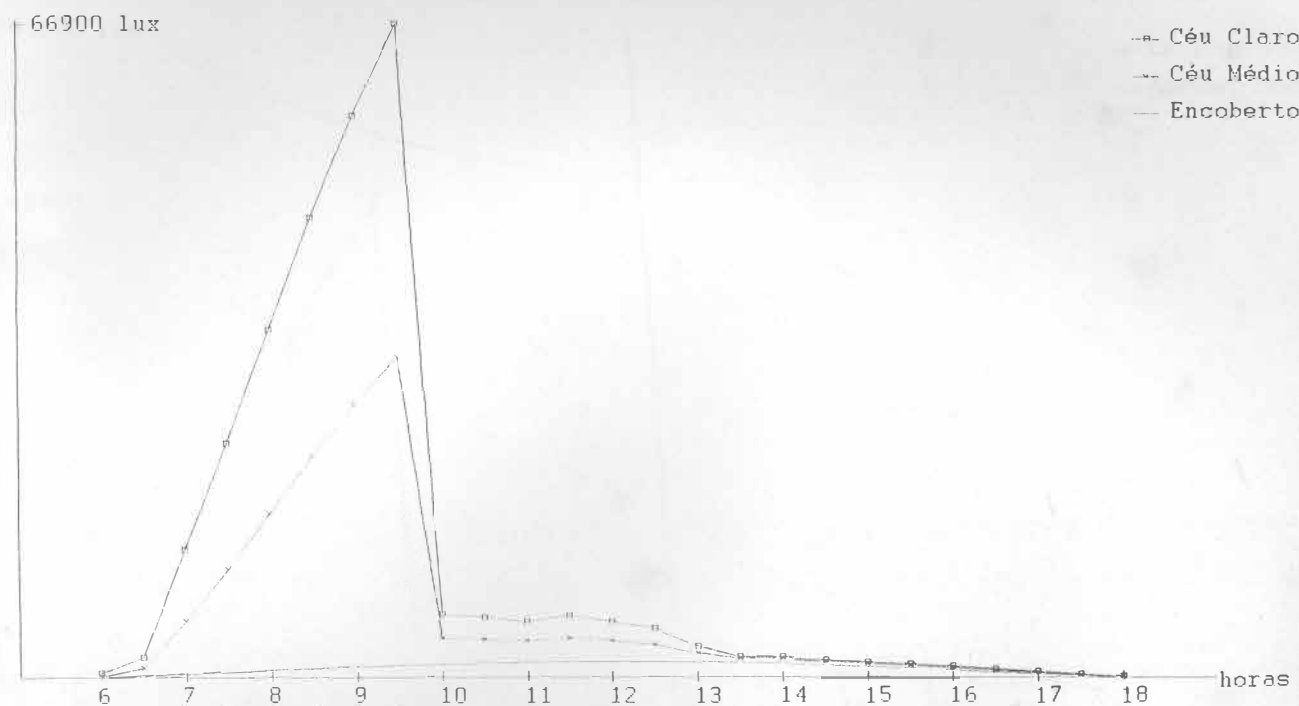


*** RESULTADOS NUMÉRICOS DA SIMULAÇÃO DE LIGHTSHELF ***

Hora	LtCLA	LtMED	LtCOB	Alt.Solar	Azimuth
6,0	458	136	9	0,4	88,0
6,5	2075	923	174	7,3	90,9
7,0	13305	5808	352	14,2	93,9
7,5	24146	11177	539	21,1	97,0
8,0	35659	17005	727	27,9	100,4
8,5	46984	22749	913	34,7	104,2
9,0	57547	28084	1089	41,3	108,7
9,5	66900	32784	1250	47,7	114,1
10,0	6454	4035	1390	53,9	120,9
10,5	6175	3957	1505	59,5	129,9
11,0	5748	3784	1591	64,3	142,2
11,5	6324	4073	1644	67,8	158,6
12,0	5723	3773	1663	69,1	178,8
12,5	5053	3421	1648	68,0	-160,8
13,0	3235	2495	1598	64,8	-143,8
13,5	2087	1906	1517	60,1	-131,1
14,0	1969	1783	1405	54,5	-121,8
14,5	1808	1622	1267	48,4	-114,8
15,0	1609	1429	1108	42,0	-109,2
15,5	1383	1215	934	35,4	-104,7
16,0	1139	989	749	28,7	-100,8
16,5	882	754	560	21,9	-97,4
17,0	616	516	373	15,0	-94,2
17,5	342	276	194	8,1	-91,2
18,0	70	47	27	1,2	-88,3

Iluminamentos em LUX - Alt.Solares e Azimutes em GRAUS

*** GRÁFICO DA RADIAÇÃO LUMINOSA INCIDENTE NO PONTO ***

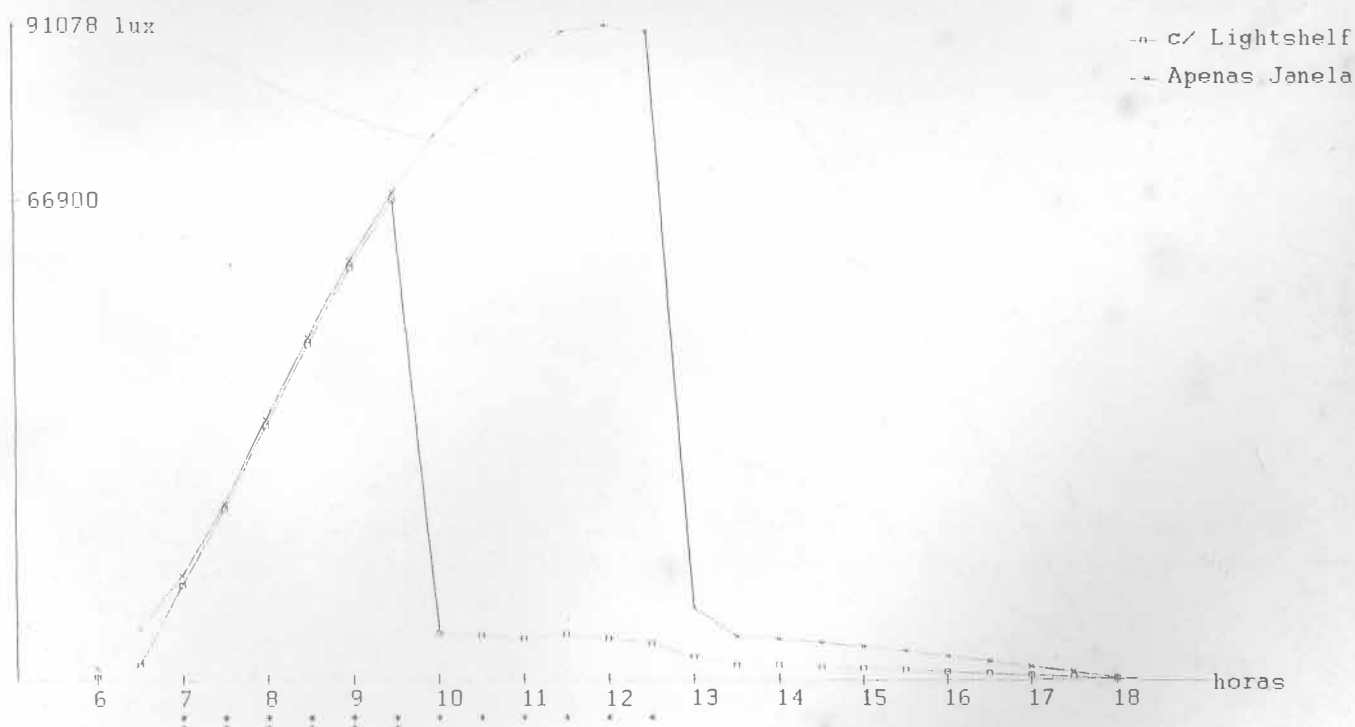


*** RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE AS SIMULAÇÕES DE JANELA E LIGHTSHELF ***

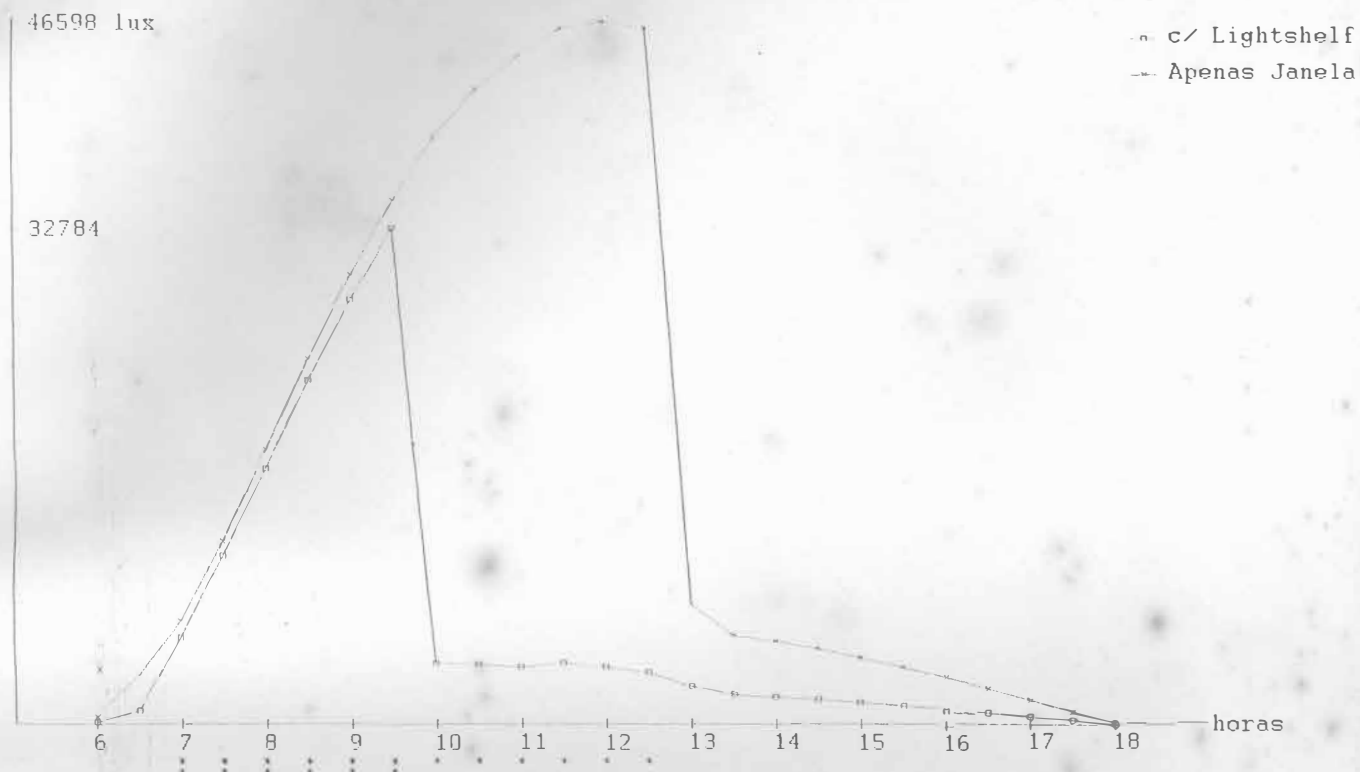
Hora	jaCLA	jaMED	jaCOB	lsCLA	lsMED	lsCOB	ls/jaCLA	ls/jaMED	ls/jaCOB
6,0	1707	507	28	458	136	9	0,268	0,269	0,327
6,5	7182	3209	538	2075	923	174	0,289	0,288	0,323
7,0	14775	6872	1084	13305	5808	352	0,900	0,845	0,325
7,5	24912	12153	1652	24146	11177	539	0,969	0,920	0,326
8,0	36503	18218	2226	35659	17005	727	0,977	0,933	0,327
8,5	47887	24185	2790	46984	22749	913	0,981	0,941	0,327
9,0	58499	29731	3327	57547	28084	1089	0,984	0,945	0,327
9,5	67926	34641	3818	66900	32784	1250	0,985	0,946	0,327
10,0	75864	38764	4247	6454	4035	1390	0,085	0,104	0,327
10,5	82102	41997	4599	6175	3957	1505	0,075	0,094	0,327
11,0	86526	44286	4862	5748	3784	1591	0,066	0,085	0,327
11,5	90192	46139	5026	6324	4073	1644	0,070	0,088	0,327
12,0	91078	46598	5085	5723	3773	1663	0,063	0,081	0,327
12,5	90259	46179	5038	5053	3421	1648	0,056	0,074	0,327
13,0	10006	8033	4886	3235	2495	1598	0,323	0,311	0,327
13,5	6017	5912	4634	2087	1906	1517	0,347	0,322	0,327
14,0	5680	5531	4292	1969	1783	1405	0,347	0,322	0,327
14,5	5221	5031	3871	1808	1622	1267	0,346	0,322	0,327
15,0	4656	4435	3386	1609	1429	1108	0,346	0,322	0,327
15,5	4011	3772	2854	1383	1215	934	0,345	0,322	0,327
16,0	3314	3068	2292	1139	989	749	0,344	0,322	0,327
16,5	2580	2342	1718	882	754	560	0,342	0,322	0,326
17,0	1815	1602	1149	616	516	373	0,339	0,322	0,325
17,5	1020	857	600	342	276	194	0,336	0,322	0,323
18,0	213	145	84	70	47	27	0,330	0,321	0,323

Iluminamentos em LUX

*** GRÁFICO DA RADIAÇÃO LUMINOSA INCIDENTE NO PONTO (SEM E COM LIGHTSHELF) P/ CÉU CLARO ***



*** GRÁFICO DA RADIAÇÃO LUMINOSA INCIDENTE NO PONTO (SEM E COM LIGHTSHELF) P/ CÉU MÉDIO ***



*** GRÁFICO DA RADIAÇÃO LUMINOSA INCIDENTE NO PONTO (SEM E COM LIGHTSHELF) P/ CÉU ENCOBERTO ***

