



SISTEMAS E TECNOLOGIAS PARA USO DA LUZ NATURAL EM ABERTURAS ZENITAIS

Garrocho, Juliana Saiter ⁽¹⁾ / Amorim, Cláudia Nunes ⁽²⁾

- (1) Programa de Pós-Graduação – PPG, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo - FAU, Universidade de Brasília, SQN 316; Bl.H, apt° 317; Brasília-DF.CEP: 70775-080; tel. (61) 3036 9616; e-mail: jugarrocho@ibest.com.br.
(2) Programa de Pesquisa e Pós-Graduação - PPG - FAU, Universidade de Brasília - ICC Norte, Campus Universitário Darcy Ribeiro - Asa Norte. Caixa postal -04431 CEP: 70910-900 - Brasília – DF; e-mail: clamorim@unb.br

RESUMO

Atualmente, diversas tecnologias e sistemas avançados para a otimização do uso da luz natural no projeto de arquitetura têm se desenvolvido principalmente na Europa Central, nos Estados Unidos e Austrália. Dois sistemas similares, o *laser cut panel* (lcp) desenvolvido e patenteado pelo grupo de pesquisa de energia e iluminação coordenado por Ian Edmond da *Queensland University of Technology* - Brisbane - Austrália e o *Plexiglas Daylight* desenvolvido pela empresa Röhm /Alemanha, tem como principais características bloquear a entrada de luz solar direta e conduzir a luz difusa para o interior da edificação. Ambos são altamente transparentes e possuem, segundo seus fabricantes, uma excelente performance em aberturas zenitais. Este artigo descreve esses sistemas avançados e estuda a aplicação do *laser cut panel* em aberturas zenitais para a cidade de Brasília, latitude 15°52's, com clima tropical de altitude com dois períodos distintos: quente e úmido e outro seco, analisando as situações e posicionamentos mais favoráveis à aplicação destes elementos em projetos arquitetônicos.

ABSTRACT

Nowadays, many technologies and advanced systems aiming the optimization of daylight use in the architectural project have been developed, mainly to the climatic conditions of Central Europe, United States and Australia. Two similar systems, Laser Cut Panel (LCP) developed and patented by the research group of Energy and Illumination coordinated for Ian Edmonds of the Queensland University of Technology - Brisbane - Australia and the Plexiglas Daylight, developed by Röhm/Germany company, have as main characteristic block the entrance of direct solar light and lead diffuse light for the interior of the construction. Both are highly transparent and have excellent performance in skylights. This article describes the systems and studies the application of the laser cut panel in zenital openings for the city of Brasilia, latitude 15°52'S, tropical climate with two distinct periods: hot and humid and dry; optimizing situations and positions for application of these elements in architectural projects.

1. INTRODUÇÃO

O uso da iluminação através de aberturas zenitais possibilita uma maior uniformidade de distribuição da luz natural em relação à iluminação lateral e, principalmente permite maiores níveis de iluminância¹ sobre o plano de trabalho. Entretanto, torna-se necessário que a iluminação zenital seja controlada, sendo importante considerar fatores como: o clima local, as condições de céu, o índice de nebulosidade, a luminância², a iluminância e a tipologia e formato do zenital. E ainda, segundo VIANNA et al (2001) para evitar um aumento indesejável da carga térmica na edificação, a área iluminante zenital não deve ultrapassar 10% da área do piso.

Em estudo anterior realizado (LAAR, 2001) para a cidade do Rio de Janeiro (latitude 22°50' sul) em edifícios de escritórios considerou-se a aplicação dos sistemas avançados, tais como *laser cut panel* e *Plexiglas Daylight* para o uso da luz natural em aberturas laterais, juntamente com prateleiras de luz (*light shelf*); os resultados obtidos foram bastante favoráveis atingindo-se uma melhora significativa na distribuição da luz natural nos ambientes simulados e, sobretudo, um baixo nível no consumo de energia elétrica anual devido à redução do uso de iluminação e condicionamento artificial.

¹ Iluminância – a medida da intensidade da luz que atinge uma superfície (plano de trabalho). Fonte: VIANNA et al, 2001.

² Luminância - sensação de luminosidade decorrente da reflexão dos raios por uma superfície. Fonte: VIANNA et al, 2001.

Estes sistemas, no entanto, devem ser estudados com relação ao seu melhor posicionamento na construção, dependendo da latitude em que serão usados, buscando otimizar esta utilização, proporcionando maior conforto luminoso e térmico e eficiência energética na edificação.

2. SISTEMAS AVANÇADOS PARA O USO DA LUZ NATURAL

Um sistema avançado para a luz natural é uma adaptação na janela ou na abertura zenital que tem como objetivo melhorar e/ou otimizar a quantidade e a distribuição de luz natural em um espaço. Os sistemas avançados para a luz natural utilizam a luz do zênite e do céu de maneira eficiente, guiando-a com maior profundidade e uniformidade para o interior dos ambientes.

De acordo com AMORIM (2002b), podem ter o mesmo efeito de proteção solar que, normalmente, consegue-se com os dispositivos de sombreamento externo, reduzindo as temperaturas internas. Além disso, estes sistemas podem reduzir a ocorrência de ofuscamento causado pela luz direta ou pela luz difusa. Os sistemas avançados para a luz natural podem ser elementos fixos ou móveis. No caso de elementos móveis, estes podem ser controlados manual ou automaticamente; o controle automático pode ser baseado na disponibilidade de luz natural. É necessário, porém, que a utilização destes sistemas seja planejada juntamente com o sistema de iluminação artificial, para se obter uma maior economia energética.

2.1. Laser Cut Panel (LCP)

Laser Cut Panel é um painel fino de acrílico dividido por meio de cortes a *laser* em uma série de elementos retangulares. A superfície de cada corte a *laser* funciona como um pequeno espelho interno que deflete a luz que passa através do painel.

De acordo com *Internacional Energy Agency - IEA* (2000) suas principais características são a alta proporção da luz defletida pelo ângulo obtuso ($>120^\circ$), visibilidade através do painel e método de produção flexível, fabricado tanto para pequenas, quanto para grandes quantidades (ver **figuras 01 e 02**).

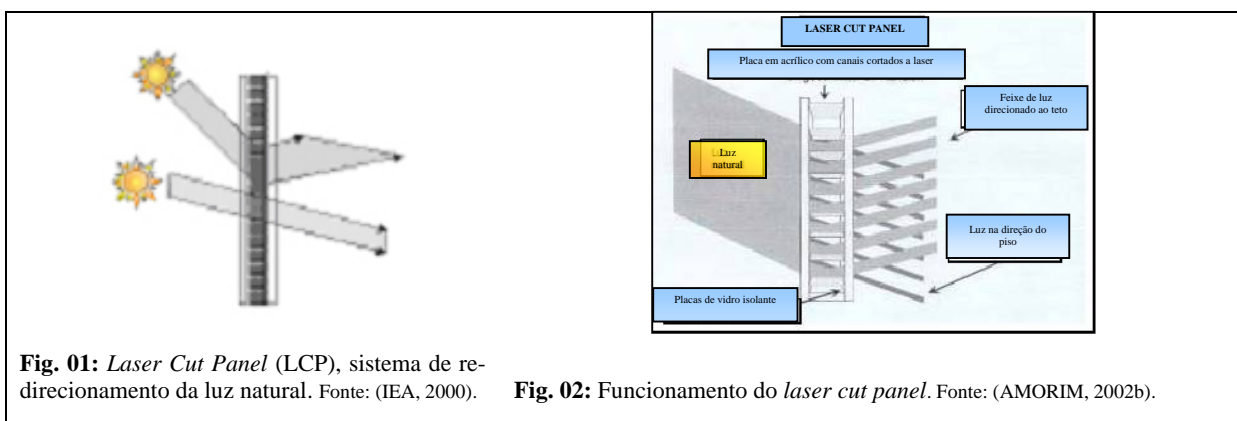


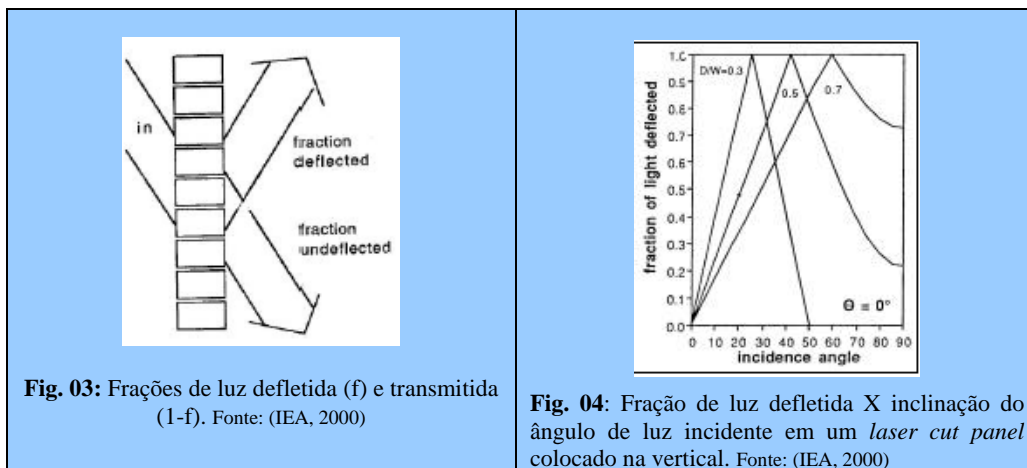
Fig. 01: *Laser Cut Panel* (LCP), sistema de redirecionamento da luz natural. Fonte: (IEA, 2000).

Fig. 02: Funcionamento do *laser cut panel*. Fonte: (AMORIM, 2002b).

O *laser cut panel* colocado na vertical (em janelas, por exemplo) deflete o raio de luz incidente com inclinações superiores a 30° , enquanto transmite a luz próxima à normal incidente com um pequeno distúrbio, mas mantendo a visão. Esse painel possui um brilho muito baixo porque a luz defletida é direcionada para cima (para o teto) enquanto a luz transmitida permanece no mesmo sentido (descendente) do raio de luz incidente.

Primeiramente, a luz é defletida quando incide no meio do acrílico pelo princípio da refração, depois é refletida internamente e na saída defletida novamente (ver **figura 03**). Como toda luz defletida está na mesma direção, a deflexão é altamente eficiente. A fração de luz defletida, f , depende do ângulo incidente, i , e o espaçamento entre os cortes dependem da relação de profundidade, D/W , como visualiza-se na **figura 04**. Por exemplo, um *laser cut panel* com espaçamento entre os cortes numa relação de profundidade $(D/W) = 0,7$ fixado em uma janela vertical deflexionará quase toda luz incidente acima de 45° de inclinação e transmitirá grande parte da luz incidente abaixo dos 20° (ver **figura 04**). Assim, uma fração alta de luz é deflexionada pelo painel para o teto agindo como uma fonte secundária de luz refletida difusa, similar ao funcionamento da prateleira de luz (*light shelf*).

São produzidos a partir de cortes a *laser* em uma lâmina de acrílico transparente (denominado PMMA) e projetados com uma borda contínua capaz de suportar seções. O corte a *laser* é programado de acordo com cada projeto. Geralmente os cortes são feitos perpendiculares ao painel, pois este método requer menos controle na velocidade e no acionamento do *laser*, mas é possível efetuar os cortes em ângulos diferentes de acordo com a direção e deflexão da luz. É necessário projetar o painel com bordas contínuas de 10-20 mm de largura de modo a suportar as seções cortadas (IEA, 2000).

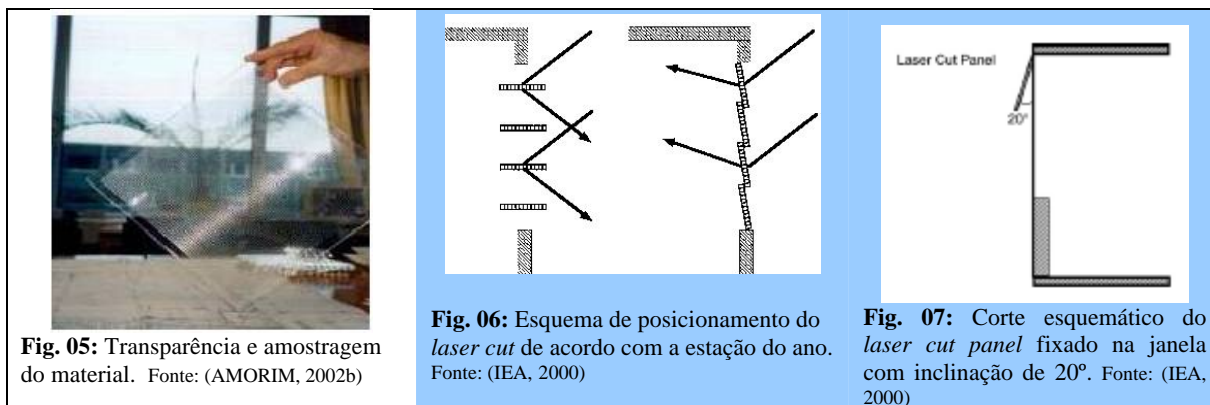


Os painéis de acrílico são geralmente fixados entre folhas de vidro, mas também podem ser utilizados em áreas externas se os cortes a *laser* possuírem proteção por meio das lâminas. Podem ser empregados em janelas com sistema fixo ou móvel.

São transparentes, porém, distorcem um pouco a visão do exterior devendo ser usados mais nas aberturas cuja função é a entrada de luz e não a visão externa (ver **figura 05**). Os painéis redirecionam a luz que vem de cima para baixo na direção de baixo para cima. Isso pode ocasionar brilho, portanto, recomenda-se sua instalação na altura acima do nível dos olhos. Pode ser usado ainda em aberturas zenitais, devendo estar combinado com outros elementos de proteção solar, como as prateleiras de luz, por exemplo, que dependendo de sua fixação em relação ao seu ângulo de inclinação, possibilita segundo LAAR (2001), eliminar a problemática referente ao brilho.

Os painéis podem ser instalados também em forma de brise móvel com funcionamento diferenciado nas diferentes estações do ano. Por exemplo, no inverno na posição vertical para admitir a luz ou no verão, na posição horizontal para refletir a luz (ver **figura 06**).

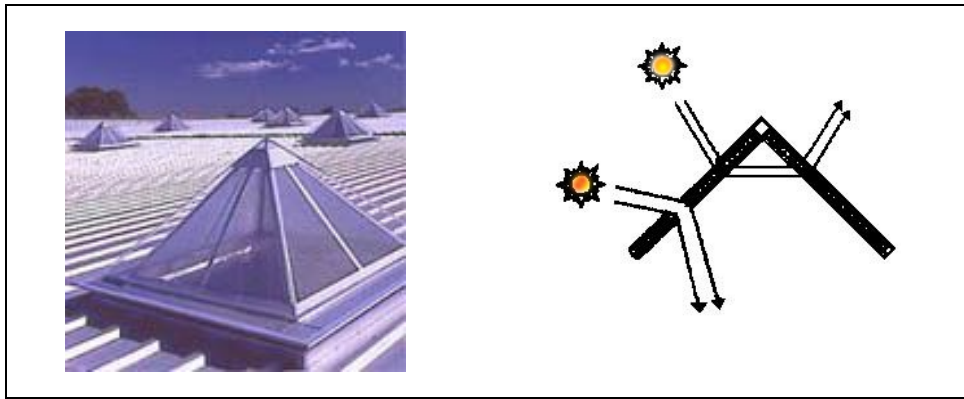
Quanto à economia de energia a ser obtida com a utilização do painel, esta dependerá da aplicação dos mesmos. Por exemplo, painéis fixos na parte superior da janela que redirecionam a luz para o fundo do espaço interno podem aumentar a luz natural de 10 a 30%, dependendo das condições do céu. Inclinação para fora da janela tem efeito maior ainda (ver **figura 07**).



A principal desvantagem deste sistema é o custo, aproximadamente 100€m². Para pequenas quantidades (<20 m²) o custo é de 130 €m². Com relação à manutenção e limpeza do material, se forem instalados em uma janela entre folhas de vidro ou em um zenital, a manutenção é dispensada. Mas, se forem instalados como uma lâmina ou somente com uma folha de vidro, a manutenção requerida é similar ao do vidro comum.

2.2. Zenital Angular Seletivo (*Laser Cut Panel*)

O zenital angular seletivo (ver **figuras 08 e 09**) incorpora uma configuração piramidal ou triangular do *laser cut panel* dentro de uma cobertura zenital transparente proporcionando a transmissão angular seletiva.



Figs. 08 e 09: *Laser cut panel* - a luz incidente com ângulos elevados é refletida quando difusa; enquanto os raios solares com baixa inclinação penetram através do zenital. Fonte: (IEA, 2000).

São produzidos a partir de cortes a *laser* em uma lâmina fina de acrílico transparente, onde quatro painéis, cortados no formato triangular, são colocados dentro de uma pirâmide-tipo zenital. Para um zenital triangular, os painéis são cortados no formato retangular e aparados no interior do quadro do zenital. Os painéis de acrílico são cortados geralmente com espessura de 6 mm, e o espaçamento entre os cortes é de 4 mm. Os zenitais angulares seletivos são fabricados nos tamanhos que variam de 0,8 m² a 2,4 m².

Sugere-se que o ângulo de inclinação do zenital para colocação dos painéis seja entre 45° e 55° para os trópicos e o subtropicais, latitudes do hemisfério sul (caso do Brasil), pois nestas situações torna-se de suma importância rejeitar a luz do sol com ângulos de inclinação altos evitando o superaquecimento ao meio-dia (IEA, 2000). Desta forma, o zenital deve possuir painéis com ângulo de inclinação igual ou superior a 45°, como na **figura 10**. Para as latitudes do hemisfério norte onde o raio de luz incidente com baixa inclinação é mais importante, os ângulos de inclinação do zenital devem estar entre 25° e 35°. Em um zenital triangular (ângulo de inclinação do painel = 55°), a transmissão diminui enquanto a luz direta incidente aproxima-se dos 90°, ou seja, esse tipo de zenital admite a entrada da luz difusa e rejeita a luz solar direta.

Segundo o IEA (2000) o desempenho do zenital angular seletivo depende dos seguintes fatores: espaçamento dos cortes a *laser* dentro do painel, ângulo de inclinação dos painéis piramidais ou triangulares, profundidade do zenital, hora e estação do ano e condições do céu. Quanto maior a profundidade do zenital, melhor será o desempenho da luz difusa através dele.

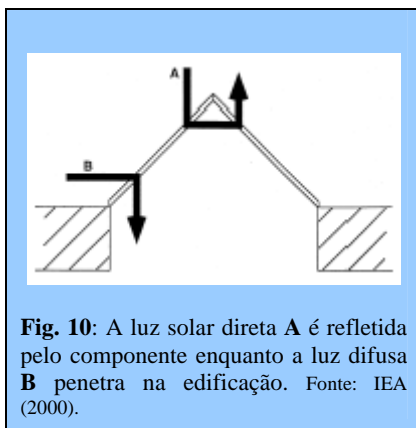


Fig. 10: A luz solar direta A é refletida pelo componente enquanto a luz difusa B penetra na edificação. Fonte: IEA (2000).



Fig. 11: *Laser cut panel* colocado num zenital invertido - voltado para o interior da edificação. Exemplo de alpicção na Biblioteca da *Mont Cootha Herbarium*, Brisbane - Austrália. Fonte: (QUT, 2003)

Os zenitais angulares seletivos foram projetados especificamente para climas de baixa latitude (hemisfério sul) com céu claro, pois não são apropriados para climas com céu predominantemente encoberto por rejeitarem a luz solar direta.

São sempre usados como sistemas fixos e não requerem nenhuma manutenção específica, além da manutenção normal do zenital. De acordo com dados do IEA (2000), o custo de um zenital piramidal convencional de 0,8 m² instalado é de aproximadamente 500 €, no entanto, um zenital angular seletivo piramidal de 0,8m² instalado custa em torno de 600 €.

Com relação à economia de energia, esta pode ser bastante significativa, visto que os zenitais angulares seletivos bloqueiam a entrada de luz solar direta, evitando ganhos térmicos indesejáveis e o uso de ar condicionado. Já a utilização de iluminação artificial também pode ser reduzida se comparado a um edifício com nenhum zenital ou edifícios com zenitais sem algum controle da carga térmica adquirida.

2.3. Plexiglas Daylight (Inglas-Y)

O sistema *Plexiglas* é baseado no mesmo princípio do *laser cut panel*; onde pequenas fendas de ar são integradas como refletores durante o processo de extrusão do painel de *Plexiglas*. É fixado entre duas placas de vidro sendo que a visão externa não é comprometida, pois o sistema é altamente transparente. Foi desenvolvido pelo *Fraunhofer Institut* em cooperação com a companhia *Röhm/Alemanha*.

O efeito da entrada de luz no *InglasY* varia de acordo com o ângulo de incidência, onde quase toda a luz difusa é transmitida diretamente para o interior da edificação. Geralmente esse sistema é indicado, segundo LAAR (2001), para uso em zenitais, na parte superior das janelas (acima do nível do olho) ou também pode ser utilizado como uma prateleira de luz (*light shelf*), refletindo seletivamente a luz solar direta (ver **figuras 13 e 14**). Os elementos possuem 4mm de largura e 8mm de espessura e são fabricados em diferentes comprimentos. É apropriado para uso em climas com céu encoberto e também em latitudes do hemisfério norte.



Fig.13: *Plexiglas* colocado na parte superior da janela – luz difusa direcionada para o fundo da edificação. Croquis esquemáticos: comportamento da luz nos sistema fixado na vertical e horizontal.

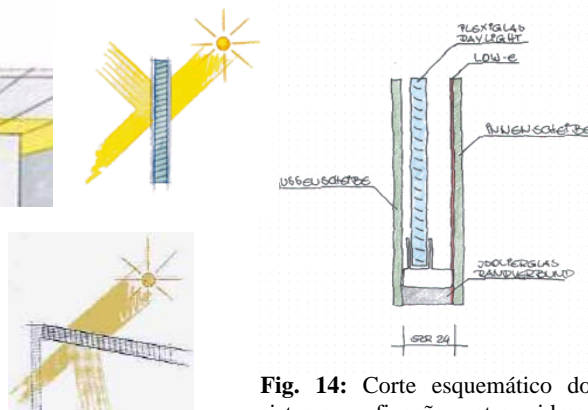


Fig. 14: Corte esquemático do sistema – fixação entre vidros. Fonte: Röhm- Inglas (2004)

A título de comparação dos materiais geralmente empregados em aberturas zenitais, a tabela a seguir apresenta alguns valores relativos a propriedades termo-físico, como Fator Solar (porcentagem da energia total transmitida pelo sistema), a transmissão luminosa (porcentagem de luz visível transmitida) e o valor de K (coeficiente global de transmissão térmica).

Tabela 01: Comparativo de materiais empregados em aberturas zenitais.

Material	Fator Solar (%)	Transmissão Luminosa (%)	K (W/m ² k)
Vidro comum (6mm)*	83	89	5,8
Polycarbonato (incolor-6mm)**	86	83	3,6
Laser Cut Panel (LCP)	56	92	1,5
Plexiglas Daylight	56	92	1,5

Fonte: * AMORIM (2002b) ** Catálogo Day Brasil S/A.

3. APLICAÇÃO DO LASER CUT PANEL PARA A CIDADE DE BRASÍLIA

Primeiramente, faz-se uma breve caracterização do clima da cidade de Brasília, utilizando-se dados do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) com base no período de 1960 a 1990, e de pesquisa realizada por MACIEL (2002). Em seguida, apresentam-se os estudos e análises feitas, traçando algumas conclusões com relação ao clima local, da eficácia deste sistema.

3.1 Caracterização do clima de Brasília

A cidade de Brasília, construída na década de 60 para ser a capital do Brasil, está localizada à 15° 52' de latitude sul, apresentando altitude média de 1100 metros. Seu clima é classificado como Tropical de Altitude, caracterizado por um período quente e úmido, de outubro a abril, com predominância de céu parcialmente encoberto e um período seco, de maio a setembro, com céu claro.

Em sua pesquisa (MACIEL, 2002) definiu o ano de 1987 como o Ano Climático de Referência (ACR)³ onde ressalta-se algumas características climáticas: os meses com temperaturas mais elevadas são setembro (22,45°C)

³ Ano Climático de Referência (ACR) - a determinação do TRY (*test reference year*) para um local específico é baseada na eliminação de anos de dados que contenham temperaturas médias mensais extremas, altas ou baixas, até que reste somente um ano. Os meses são classificados em ordem de importância para as comparações de energia. Fonte: STAMPER (1977) apud MACIEL (2002).

e outubro ($22,95^{\circ}\text{C}$)⁴, e agosto e setembro são os meses mais secos⁵. Junho ($18,9^{\circ}\text{C}$) e julho (19°C) são os meses que apresentam as temperaturas mais baixas. Os períodos de maior umidade relativa acontecem em março e novembro. É importante salientar que o mês de setembro também possui valores elevados de radiação solar, principalmente com relação à radiação direta, por ser um período seco, índice de nebulosidade igual a 3.0 com céu claro; o céu azul profundo nestas condições tem uma luminância muito baixa na altura do horizonte até 30° , em torno de meio dia, e por este motivo pode não ser suficientemente luminoso para ser a principal fonte de iluminação interna (ver **figura 15**).

Nos climas quentes úmidos, ao contrário, na presença de nuvens (índice de nebulosidade entre 7.0 e 8.0), a abóbada celeste é muito luminosa. Pode-se visualizar na **figura 15** que o mês de fevereiro, com valores de temperaturas semelhantes a setembro, possui radiação global aproximando-se dos 7000 Wh/m^2 , e, sobretudo, tem também valores elevados de radiação solar direta. Conseqüentemente, os usuários dos edifícios devem ser protegidos dos efeitos da luz direta (através dos elementos do edifício) e da visão do céu. A única estratégia suficiente para atender a estas duas exigências é ter elementos de proteção solar reguláveis que possam ser usados de forma inteligente dependendo das condições prevalentes no período.

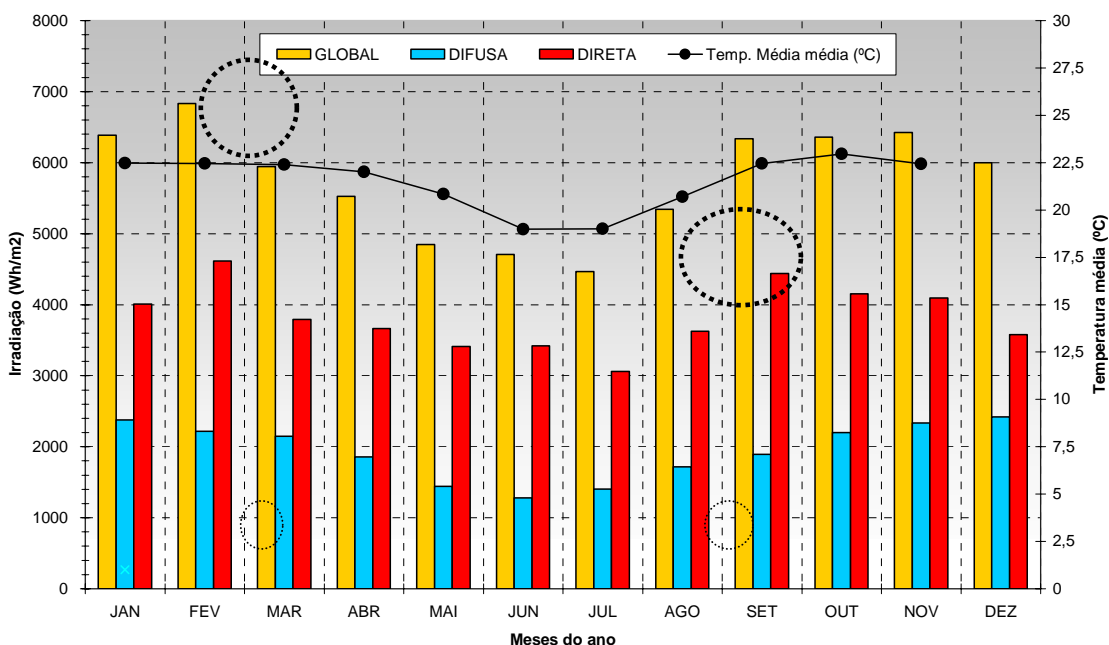


Fig. 15: Dados de Radiação Solar mensal num plano horizontal para a cidade de Brasília.
Fonte: Adaptado de COLLE et al (1998).

Brasília apresenta um grande percentual de índices dentro dos limites da zona de conforto, pois apresenta em torno de 41% do ano condições de conforto térmico, desconforto térmico por calor - 22% e desconforto por frio - 36%. Diante disso, com base na Carta Bioclimática de Edificações⁶ considera-se como estratégias bioclimáticas indicadas para a situação de calor: a ventilação, a inércia térmica para resfriamento e o resfriamento evaporativo. Para a situação de frio, a inércia térmica com ganhos solares é indicada como principal solução de projeto bioclimático.

Em edificações não condicionadas e que priorizem o resfriamento ou aquecimento passivo, segundo MACIEL (2002) indica-se como adequado a orientação norte-sul e construções compactas diminuindo os ganhos térmicos durante o dia e as perdas por radiação à noite. Com relação ao invólucro, o edifício deve possuir uma maior inércia térmica nas paredes com maior capacidade e resistência térmica. Já a cobertura necessita apenas de maior isolamento térmico que corte o pico de temperatura diurno, especialmente nos horários entre 11:00h e 13:00h e conserve calor no período noturno. Pode-se notar nas **figuras 16, 17, 18 e 19** que nas quatro estações do ano temos valores horários próximos de iluminâncias direta e difusa no plano horizontal para Brasília, sendo as aberturas zenitais soluções favoráveis para a melhoria das condições de conforto interno do edifício (ressaltando que a situação de desconforto ao frio é superior a de calor) ponderando sempre a geometria solar local.

⁴ Valores de temperatura média média.

⁵ Umidade relativa média média em torno dos 56%.

⁶ Carta Bioclimática de Edificações – foi desenvolvida e aprimorada por Givoni em 1992. Baseia-se em temperaturas internas do edifício, propondo estratégias construtivas para adequação da arquitetura ao clima. A zona de conforto encontra-se com valores de umidade relativa entre 20% e 80% e temperaturas entre 18°C e 29°C . Fonte: LAMBERTS et al, 1997.

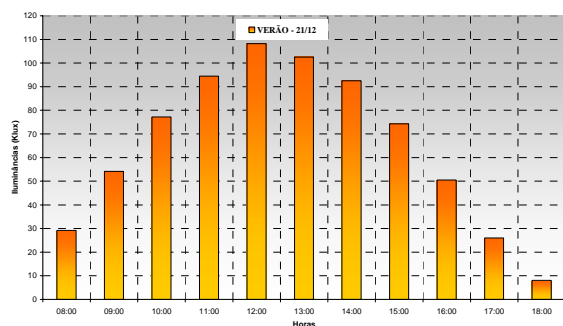


Fig. 16: Valores de iluminâncias no verão para Brasília no plano horizontal. Fonte: SCARAZZATO (1995)

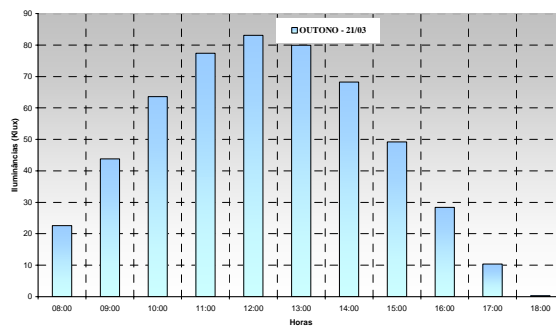


Fig. 17: Valores de iluminâncias no outono para Brasília no plano horizontal. Fonte: SCARAZZATO (1995)

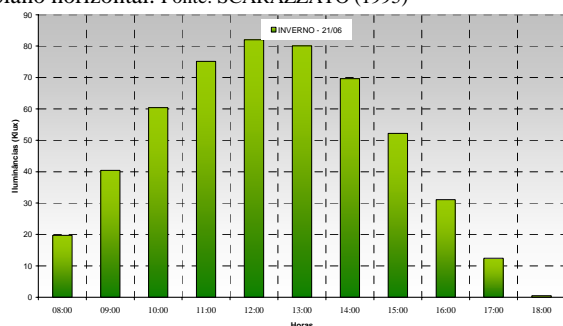


Fig. 18: Valores de iluminâncias no inverno para Brasília no plano horizontal. Fonte: SCARAZZATO (1995)

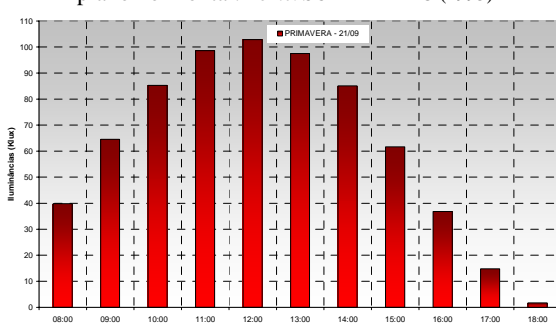


Fig. 19: Valores de iluminâncias na primavera para Brasília no plano horizontal. Fonte: SCARAZZATO (1995)

3.2. Laser Cut Panel em aberturas zenitais em Brasília: exemplos de aplicação

Foram consideradas algumas aplicações do *laser cut panel* em uma configuração típica de um edifício comercial do tipo *shopping center* em Brasília, testando algumas posições recomendadas pelo fabricante para esta latitude, verificando-se através de estudos geométricos a reflexão e refração da luz natural direta nestes componentes.

3.2.1 Sistema Laser Cut Panel e as Aberturas Zenitais

Os sistemas avançados abordados no item 2, como o *laser cut panel*, por exemplo, são tecnologias que podem funcionar muito bem nesse clima, pois têm como princípio a refração da luz incidente, direcionando-a para o teto do ambiente proporcionando um ambiente uniformemente iluminado, além de rejeitar ângulos com alta inclinação e maiores ganhos térmicos ao meio-dia. Portanto, a técnica da iluminação natural deve ser determinada pela necessidade de um equilíbrio entre a entrada de luz suficiente no plano de trabalho e a exclusão da radiação solar indesejada e do ofuscamento⁷.

Com base na carta solar de Brasília (ver **figura 20**) realizou-se um estudo aplicando o sistema avançado *laser cut panel* em aberturas zenitais de formato triangular, também denominado teto de duas inclinações (VIANNA et al, 2001) com ângulos de 45°, 50° e 55° conforme indicações do fabricante para latitudes do hemisfério sul.

Os ângulos de incidência dos raios solares empregados são relativos aos horários de 9h, 12h e 15h para as quatro estações do ano: Equinócio de Outono e de Primavera (21/03 e 23/09); Solstício de Inverno (22/06) e o Solstício de Verão (21/12).

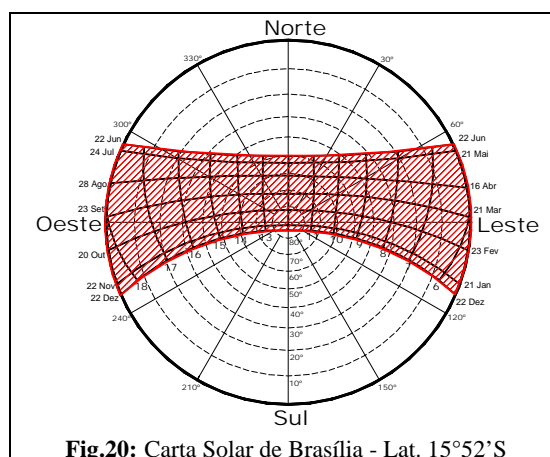
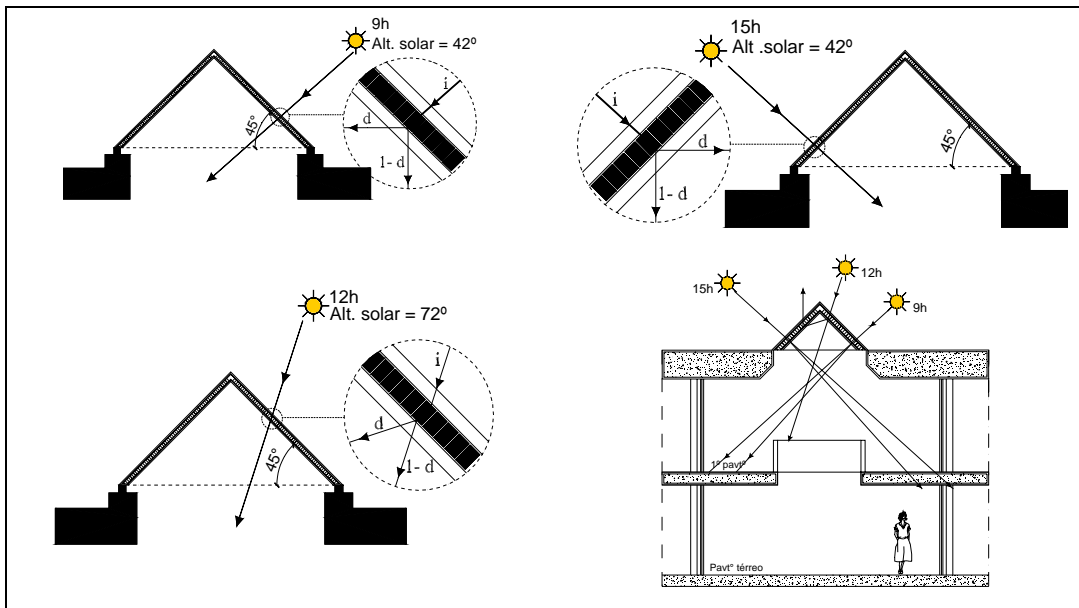


Fig.20: Carta Solar de Brasília - Lat. 15°52'S

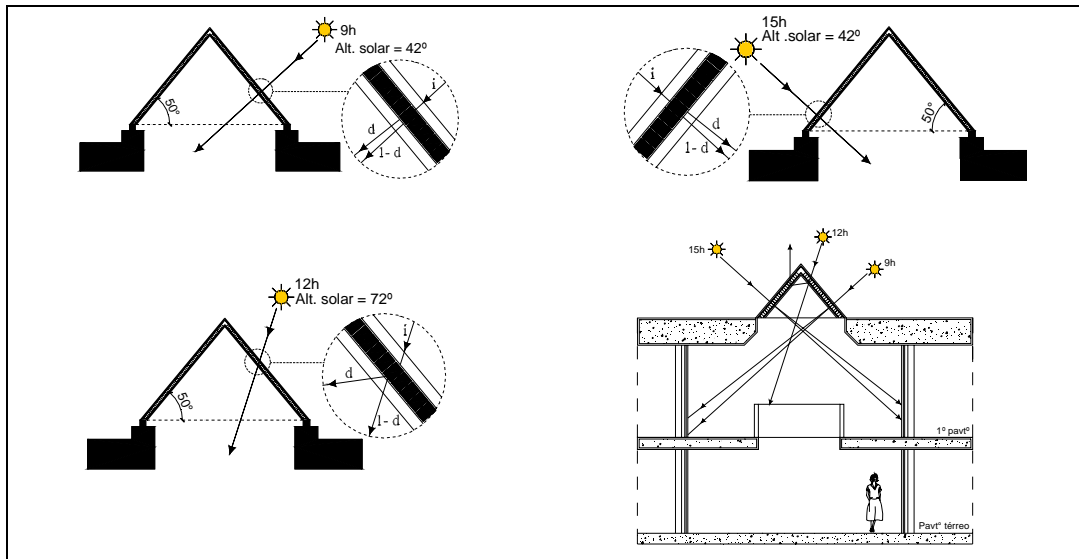
3.2.2 Aberturas Zenitais a 45°, 50° e 55° - Equinócio de Outono e Primavera.

Croquis de utilização do sistema avançado *laser cut panel* em aberturas zenitais com inclinação de 45°, 50° e 55° no formato triangular. Ângulos de incidência solar para os equinócios de outono (21/03) e primavera (23/09).

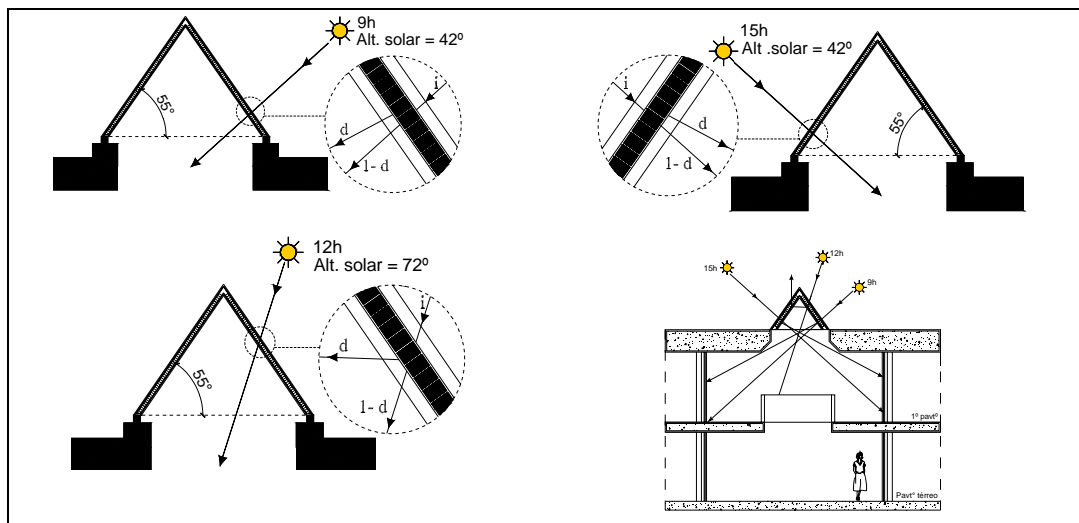
⁷ Ofuscamento - é sentido sempre que há claridade demais no campo visual. Pode ser causado por uma fonte de grande luminosidade (janelas, lâmpadas, superfícies refletora, etc). Fonte: VIANNA et al (2001).



Figs 21, 22, 23 e 24: Equin6cios de outono e primavera nos hor6rios de 9h, 12h e 15h para abertura zonal com 45° de inclina76o.



Figs 25, 26, 27 e 28: Equin6cios de outono e primavera nos hor6rios de 9h, 12h e 15h para abertura zonal com 30° de inclina76o.



Figs 29, 30, 31 e 32: Equinócios de outono e primavera nos horários de 9h, 12h e 15h para abertura zenital com 55° de inclinação.

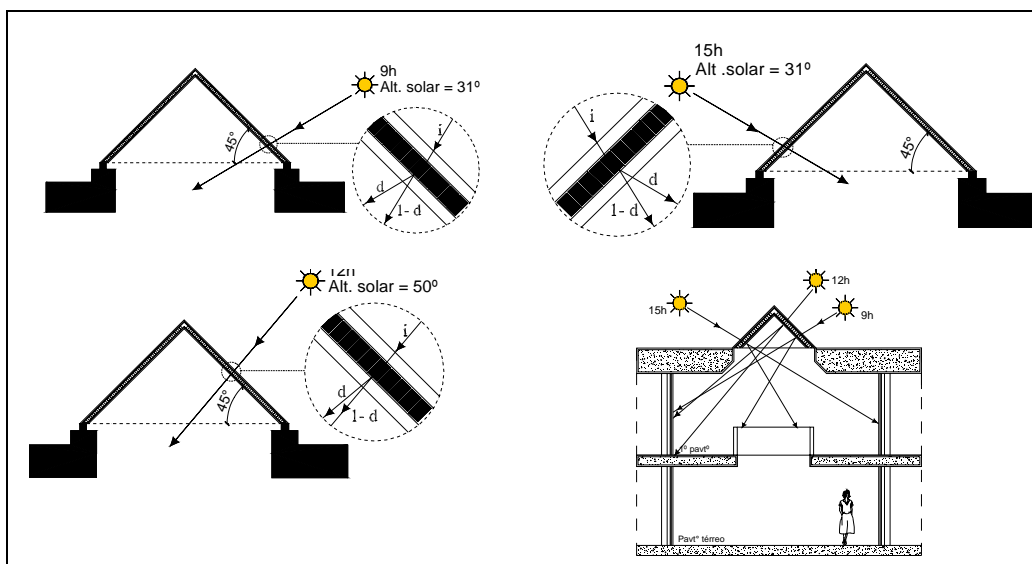
9h – o ângulo de incidência dos raios solares é baixo, o sistema age deflexionando o raio incidente para dentro da edificação, conseqüentemente, pode ocasionar alguns problemas com relação ao excesso de luminosidade. Com relação ao ganho de calor, este é praticamente desprezado já que neste período matutino as temperaturas são bastante amenas.

12h – Neste horário como o ângulo de incidência solar é alto, o painel deflete praticamente toda a luz direta resultando em uma excelente solução de projeto onde a carga térmica indesejada também é reduzida.

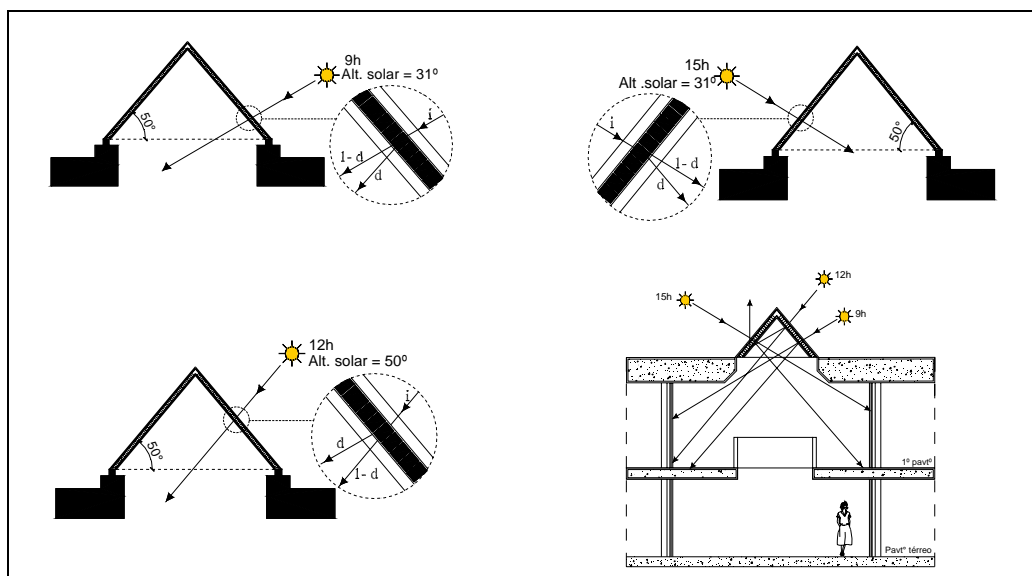
15h – o ângulo de incidência dos raios solares é baixo, o que pode ocasionar problemas com relação ao excesso de luminosidade, e ainda, esse é um período crítico para Brasília, pois as temperaturas, principalmente, nos meses de setembro e outubro são elevadas e a umidade do ar neste horário atinge índices baixos ocasionando imenso desconforto ao usuário da edificação. Uma solução é utilizar conjuntamente outro sistema como, por exemplo, a prateleira de luz que reflete os raios incidentes para o teto de acordo com disposição e fixação.

3.2.3 Aberturas Zenitais a 45°, 50° e 55° - Solstício de Inverno.

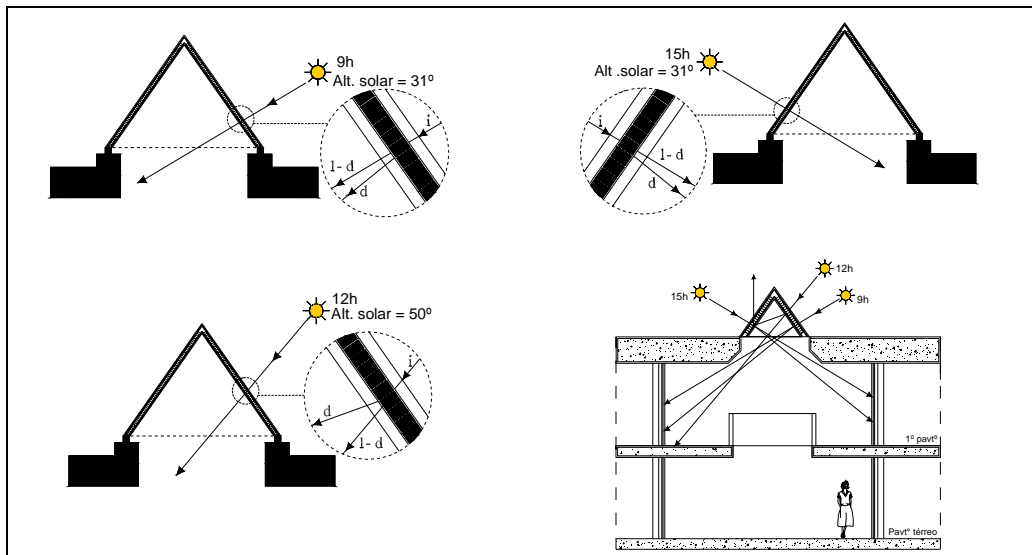
Croquis de utilização do sistema avançado *laser cut panel* em aberturas zenitais com inclinação de 45°, 50° e 55° no formato triangular. Ângulos de incidência solar para o solstício de inverno (22/06).



Figs 33, 34, 35 e 36: Solstício de inverno nos horários de 9h, 12h e 15h para abertura zenital com 45° de inclinação.



Figs 37, 38, 39 e 40: Solstício de inverno nos horários de 9h, 12h e 15h para abertura zenital com 50° de inclinação.



Figs 41, 42, 43 e 44: Solstício de inverno nos horários de 9h, 12h e 15h para abertura zenital com 55° de inclinação.

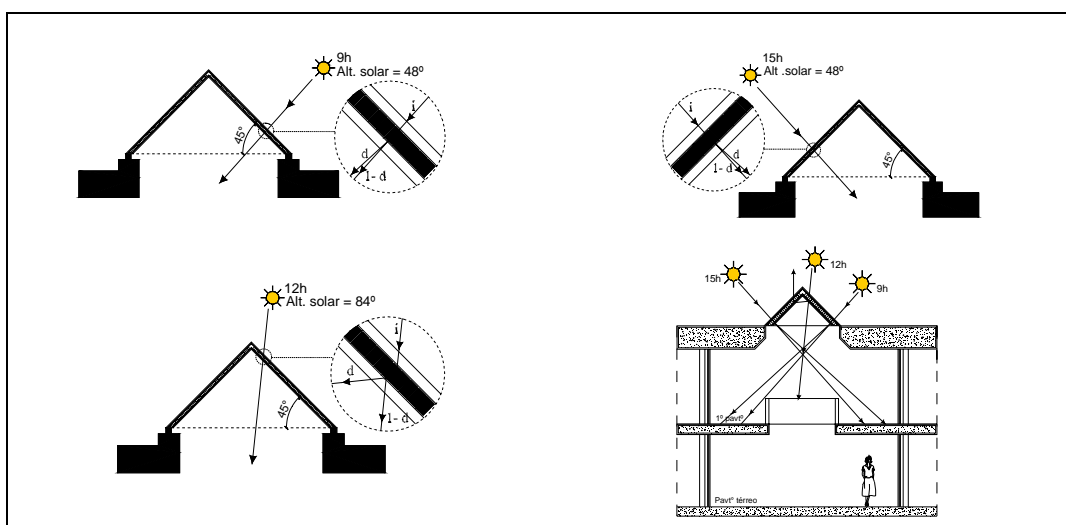
9h – Excepcionalmente para o zenital com 45° de inclinação, o usuário ou a atividade exercida no edifício logo abaixo deste, sofrerá com a incidência do raio solar defletido pelo painel que certamente acarretará problemas de ofuscamento. Nos zenitais de 50° e 55° também pode ocorrer excesso de luminosidade. Os ganhos térmicos neste horário são sempre desejáveis, pois as temperaturas do período são baixas e o desconforto pelo frio em Brasília é maior que pelo calor, de acordo com a carta bioclimática de edificações (LAMBERTS et al, 1997).

12h – Neste horário como o ângulo de incidência solar é um pouco mais alto, nos zenitais com 50° e 55° de inclinação o painel deflete praticamente toda a luz direta, sendo favorável sua aplicação já que a carga térmica do meio-dia é sempre considerável. No zenital de 45° o mesmo não ocorre, pois o painel deflexiona o raio incidente para dentro do edifício.

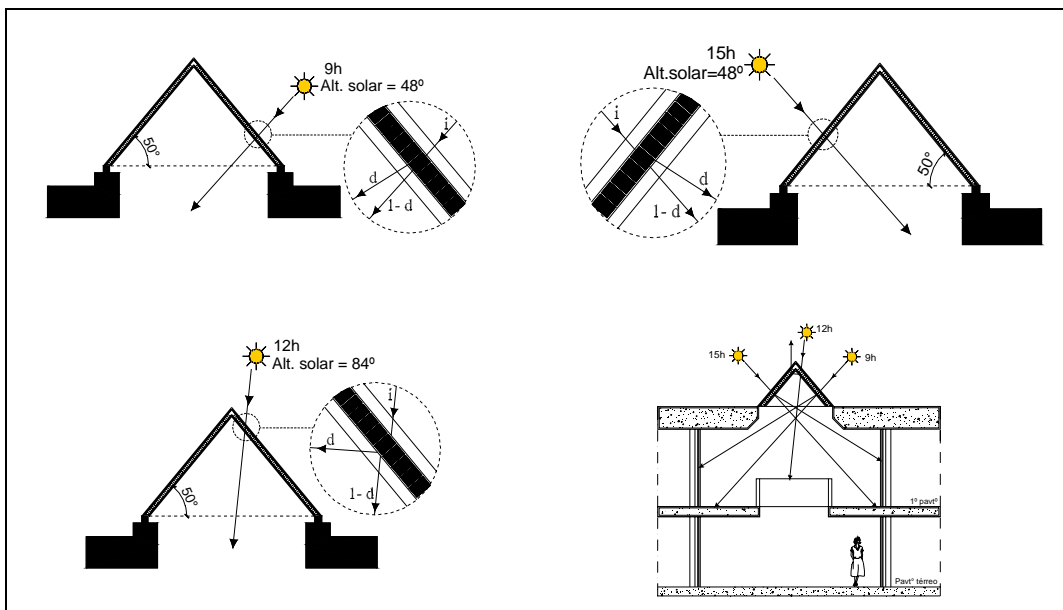
15h – Idem ao ocorrido às 9h, pois os raios deflexionados pelo painel seguramente podem originar contratempos com excesso de luminosidade. Como alternativa pode-se empregar conjuntamente outro sistema avançado para o uso da luz natural, já que nessa época os ângulos de inclinação solar estão em dos 30° e por este motivo pode não ser suficientemente luminoso para ser a principal fonte de iluminação interna.

3.2.4 Aberturas Zenitais a 45°, 50° e 55° - Solstício de Verão

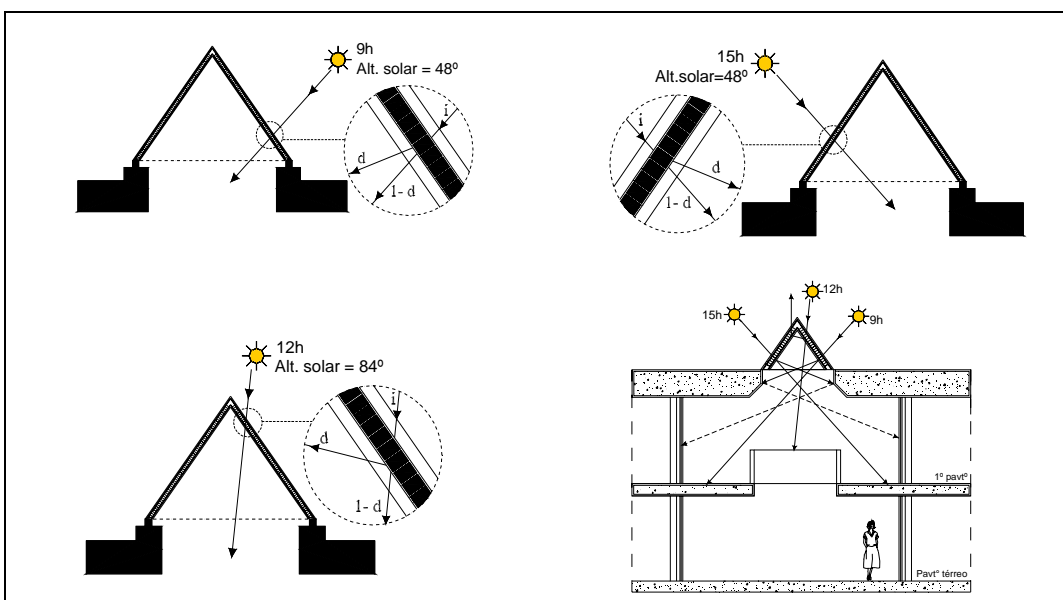
Croquis de utilização do sistema avançado *laser cut panel* em aberturas zenitais com inclinação de 45°, 50° e 55° no formato triangular. Ângulos de incidência solar para o solstício de verão (21/12).



Figs 45, 46, 47 e 48: Solstício de verão nos horários de 9h, 12h e 15h para abertura zenital com 45° de inclinação.



Figs 47, 48, 49 e 50: Solstício de verão nos horários de 9h, 12h e 15h para abertura zenital com 50° de inclinação.



Figs 51, 52, 53 e 54: Solstício de verão nos horários de 9h, 12h e 15h para abertura zenital com 55° de inclinação.

9h – Nos zenitais com 45° e 50° como o ângulo de incidência solar ainda é baixo o painel deflete a luz para a edificação sendo provável ocorrer ofuscamento. Já no zenital com 55° de inclinação o raio defletido incide na laje do edifício que reflete a luz novamente distribuindo-a.

12h – Neste horário o *laser cut panel* tem uma performance desejável em todos os zenitais: 45°, 50° e 55° de inclinação, pois a luz solar direta incidente é rejeitada evitando uma sobrecarga térmica na edificação.

15h – Semelhante ao ocorrido no horário das 9h, no zenital com inclinação de 55° o raio defletido pelo *laser cut panel* incide na laje do edifício que assume um papel semelhante ao da prateleira de luz redirecionando-a, pois a abóbada celeste nesse período é intensamente luminosa. Conseqüentemente os ganhos térmicos indesejáveis são minimizados já que a radiação solar e as temperaturas são elevadas no período.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da breve análise através da geometria solar nas aberturas zenitais de formato triangular com inclinação de 45°; 50°; 55° e aplicação do *laser cut panel*, verifica-se que o uso de sistemas avançados para o uso da luz natural em edificações pode ser uma solução de projeto bastante eficaz no sentido de bloquear a luz solar direta e distribuir uniformemente a luz difusa.

Entretanto, pode-se dizer que para o clima de Brasília têm-se resultados favoráveis nas quatro estações do ano um zenital com inclinação de 55° e aplicação do *laser cut panel*, pois o painel redireciona a entrada da luz direta,

principalmente, no horário de meio-dia evitando, sobretudo os ganhos de calor para a edificação, otimizando a distribuição interna de luz.

Desta forma, ressalta-se a importância de um maior detalhamento e aprofundamento deste estudo, inclusive com auxílio de programas computacionais que simulam a propagação da luz natural no ambiente, no sentido de aprimorar o conhecimento das tecnologias, reduzir a demanda energética e obter principalmente espaços com maior conforto térmico e luminoso.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMORIM, C.N.D. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte I. Estratégias de Projeto para uma Arquitetura Sustentável**. Brasília, Nov. 2002a. Disponível em: http://www.unb.br/fau/posgraduacao/cadernos_eletronicos/edicao2002.htm. Acesso em: 20 Nov. 2002.
- _____. **Iluminação Natural e Eficiência Energética – Parte II. Sistemas Inovadores para a Luz Natural**. Brasília, Nov. 2002b. Disponível em: http://www.unb.br/fau/posgraduacao/cadernos_eletronicos/edicao2002.htm. Acesso em: 20 Nov. 2002.
- BAKER, N. and STEEMERS, K. (2002) **Daylighting Design of Buildings**. James and James Editors, London.
- BAKER, N.; FANCHIOTTI, A.; STEEMERS, K. (1993). **Daylighting in Architecture. A European Reference Book**. James and James Editors, London.
- COLLE, S. (coord) (1998). **Atlas de Irradiação Solar do Brasil**. INMET/LABSOLAR/EMC-UFSC. Brasília.
- CORBELLA, O. e YANNAS, S. (2003) **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos – conforto ambiental**. Revan, Rio de Janeiro.
- FONTOYNONT, M. (Ed.). (1998). **Daylighting Performance in Buildings**. James and James, London.
- FROTA, A. (2004) **Geometria da insolação**. Geros, São Paulo.
- GARROCHO, J. S. e AMORIM, C.N.D. (2004) *Luz Natural e Projeto de Arquitetura: estratégias para iluminação zenital em centros de compras*. In: **Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC)**. São Paulo.
- HOPKINSON, R. G, PETHERBRIDGE, P., LONGMORE, J. (1975). **Iluminação Natural**. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- INTERNACIONAL ENERGY AGENCY - IEA (2000). **Daylight in Buildings. A Source Book on Daylighting Systems and Components**. IEA, Washington, USA.
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA – INMET. **Normais Climatológicas (1961-1990)**. Brasília, DF. 2004. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: Jun 2004.
- LAAR, M. (2001) *Daylighting Systems for the tropics the example of Laser Cut Panels (Australia) and Plexiglas Daylight (Germany)*. In Seventh International IBPSA Conference. **Anais**. Rio de Janeiro, Brasil, p. 1329-1333.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L., PEREIRA, F. (1998) **Eficiência Energética na Arquitetura**. UFSC/Procel/Eletrobrás, São Paulo.
- MACIEL, A. (2002) **Projeto Bioclimático em Brasília: Estudo de caso em edifício de escritórios**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, UFSC. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br>. Acesso em: Nov. 2003.
- OLGYAY, V. (1998) **Arquitectura y clima: manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas**. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- PLEXIGLAS DAYLIGHT - RÖHM. **Glas and Licht: Inglas Y**. Alemanha. Disponível em: <http://www.inglas.de>. Acesso em: Maio de 2004.
- QUEENSLAND UNIVERSITY OF TECHNOLOGY (QUT), **Laser cut light deflecting panel (LCP)** Brisbane, Australia. Disponível em: <http://www.csdesign.epsa.uq.edu.au>. Acesso em: Maio de 2004.
- SCARAZZATO, P. (1995) **Disponibilidade de Luz Natural (DLN)**, São Paulo.
- VIANNA, N. e GONÇALVES, J. (2001) **Iluminação e Arquitetura**. UniABC Virtus, São Paulo.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio a esta pesquisa pelo Fundo Setorial de Energia (CT-Energ), por intermédio do CNPq (CT-Energ/CNPq).