



**ABNT – Associação
Brasileira de
Normas Técnicas**

Sede:
Rio de Janeiro
Av. Treze de Maio, 13 28º andar
CEP 20003-900 – Caixa Postal 1680
Rio de Janeiro – RJ
Tel.: PABX (21)3974-2300
Fax: (21) 2220-1762/2220-6436
Endereço eletrônico:
www.abnt.org.br

Copyright © 2003,
ABNT–Associação Brasileira
de Normas Técnicas
Printed in Brazil/
Impresso no Brasil
Todos os direitos reservados

AGO/2003

Projeto 02:135.02-003

Iluminação natural – Parte 3: Procedimento de cálculo para a determinação da iluminação natural em ambientes internos

Origem: Projeto 02:135.02-003:2003

ABNT/CB-02 – Comitê Brasileiro de Construção Civil

CE-02:135.02 – Comissão de Estudos de Iluminação Natural de Edificações

02:135.02-003 – Daylighting – Part 4: Calculation procedure for the
determination of daylighting levels in internal environments

Descriptors: Daylighting. Determination of illuminance internal environment.
Calculation porcedure

Palavra(s)-chave: Iluminação natural. Determinação de
níveis de iluminação. Ambientes internos.
Procedimento de cálculo

33 páginas

Sumário

Prefácio

- 1 Objetivo
- 2 Referências normativas
- 3 Definições
- 4 Referencial teórico para predição da iluminação natural
- 5 Procedimento de cálculo: Método do fluxo dividido

ANEXO A

Diagramas

Prefácio

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – é o Fórum Nacional de Normalização. As Normas Brasileiras, cujo conteúdo é de responsabilidade dos Comitês Brasileiros (ABNT/CB) e dos Organismos de Normalização Setorial (ONS), são elaboradas por Comissões de Estudo (ABNT/CE), formadas por representantes dos setores envolvidos, delas fazendo parte: produtores, consumidores e neutros (universidades, laboratórios e outros).

Os Projetos de Norma Brasileira, elaborados no âmbito dos ABNT/CB e ONS circulam para Consulta Pública entre os associados da ABNT e demais interessados.

Esta Norma faz parte de um conjunto de quatro normas referentes à iluminação natural, a saber:

Parte 1 - Conceitos básicos e definições, Parte 2 - Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural e Parte 4 - Verificação experimental das condições de iluminação interna de edificações. Método de ensaio

O anexo A é de caráter normativo.

Introdução

A luz natural admitida no interior das edificações consiste em luz proveniente diretamente do sol; luz difundida na atmosfera (abóbada celeste) e luz refletida no entorno.

A magnitude e distribuição da luz no ambiente interno depende de um conjunto de variáveis, tais como: da disponibilidade da luz natural (quantidade e distribuição variáveis com relação às condições atmosféricas locais), de obstruções externas, do tamanho, orientação, posição e detalhes de projeto das aberturas, das características óticas dos envidraçados, do tamanho e geometria do ambiente e das refletividades das superfícies internas.

Um bom projeto de iluminação natural tira proveito e controla a luz disponível, maximizando suas vantagens e reduzindo suas desvantagens.

As decisões mais críticas, a este respeito, são tomadas nas etapas iniciais de projeto.

Na definição de uma prioridade em termos de exposição à luz natural, valores de iluminâncias e distribuição necessárias para as atividades em cada ambiente devem ser estabelecidas.

Em alguns ambientes a iluminação uniforme é mais recomendada, em outros é desejável uma maior variação.

Em ambientes nos quais os usuários ocupam posições fixas, o critério deve ser diferente daqueles onde as pessoas podem mover-se livremente na direção das aberturas ou para longe delas.

A NBR 5413:1991 fixa níveis de iluminação recomendados para diferentes tipos de atividades, baseados numa iluminação constante e uniforme sobre um plano de trabalho.

O início do projeto de iluminação natural, entretanto, talvez não seja um conjunto de valores absolutos, mas uma medida da iluminação natural interna num dado local como uma percentagem da iluminação externa.

A figura mais conhecida para esta medida é o " Daylight Factor - DF ", recomendado pela CIE - Commission Internationale de l'Eclairage, definido como a razão entre a iluminância E_p num ponto - localizado num plano horizontal interno, devido à luz recebida direta ou indiretamente da abóbada celeste, com uma distribuição de luminâncias assumida ou conhecida - e a iluminância simultânea E_E num plano externo horizontal devida à uma abóbada celeste desobstruída, conforme a seguinte expressão:

$$DF = \frac{E_p}{E_E} * 100\%$$

A contribuição devido à luz direta do sol não é levada em consideração no cálculo do DF devido aos seus atributos direcionais e outros efeitos, tais como, ganho de calor, degradação dos materiais e ofuscamento, devendo ser considerada separadamente.

Na sua formulação original, o DF é assumido como uma constante para todos os pontos de um ambiente, independente da iluminância horizontal externa produzida por céus com uma distribuição de luminâncias uniformemente constante com relação ao azimute (céus uniformes e encobertos).

Assim, o DF pode ser utilizado como critério para comparar o desempenho de diferentes sistemas de iluminação natural e ser facilmente convertido em iluminâncias internas multiplicando-o por uma iluminância externa apropriada.

A presente Norma estende o conceito da medida proporcional da iluminação natural, possibilitando a sua predição para qualquer condição de céu não uniforme conhecida e implementando um procedimento de cálculo simples e prático baseado num método gráfico, auxiliado pelos diagramas mostrados no anexo A.

1 Objetivo

Esta Norma descreve um procedimento de cálculo para a determinação da quantidade de luz natural incidente em um ponto interno num plano horizontal através de aberturas na edificação.

2 Referência normativa

As normas relacionadas a seguir contêm disposições que, ao serem citadas neste texto, constituem prescrições para esta Norma Brasileira. As edições indicadas estavam em vigor no momento desta publicação. Como toda norma está sujeita a revisão, recomenda-se àqueles que realizam acordos com base nesta que verifiquem a conveniência de se usarem as edições mais recentes das normas citadas a seguir. A ABNT possui a informação das Normas Brasileiras em vigor em um dado momento.

Projeto 02:135.02-001:1998 Iluminação natural - Parte 1: Conceitos básicos e definições

Projeto 02:135.02-002: 1998 Iluminação natural – Parte 2: Procedimentos de cálculo para a estimativa da disponibilidade de luz natural

NBR 5413:1991 - Iluminância de interiores - Procedimento.

NBR 5461:1991 - Iluminação: Terminologia.

3 Definições

Para os efeitos desta Norma aplicam-se as definições da NBR 5461 e as dos projetos 02:135.02-001 e 02:135.02-002

4 Referencial teórico para predição da iluminação natural

4.1 Princípio básico

O desempenho de uma fonte de luz de grande superfície, como a abóbada celeste, para a qual a lei do inverso do quadrado da distância não é aplicável, não pode ser definido pela curva polar de sua intensidade luminosa.

A superfície precisa ser subdividida em pequenas zonas, para as quais as concentrações de fluxo emitidas numa dada direção são denominadas de luminância - L .

A iluminação produzida por uma fonte de pequena superfície é independente da distância da fonte e depende somente da luminância e do ângulo sólido coberto pela mesma.

Assim, no caso de edificações, a iluminação produzida pelo céu visto através de aberturas é independente da distância da fonte, neste caso a abóboda celeste (ou o céu); ela é completamente definida pela direção e luminância de cada zona do céu e pelo ângulo sólido abrangido.

4.2 A Hemisfera Unitária e o Princípio do Ângulo Sólido Projetado

Para a determinação da distribuição espacial da luz que chega a qualquer ponto P em um plano horizontal, é conveniente visualizar o ponto envolvido por uma hemisfera de raio unitário.

Círculos de altitude e raios de azimuth ajudam a definir a direção do ponto P para cada ponto na hemisfera e a direção de qualquer ponto no espaço, dentro ou fora da hemisfera (ver figura 1).

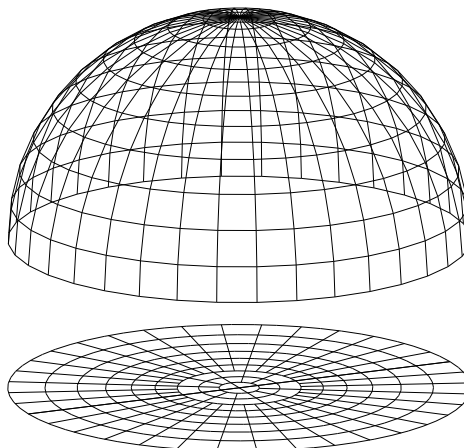


Figura 1 - Hemisfera de raio unitário e sua projeção no plano horizontal

O Princípio do Ângulo Sólido Projetado é detalhado a seguir na figura 2.

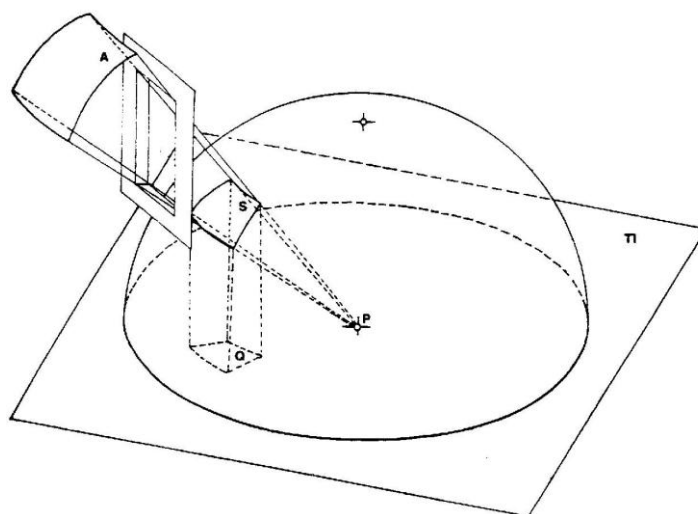


Figura 2 - Princípio do Ângulo Sólido Projetado¹

Para o cálculo da iluminação produzida num ponto P por uma abertura, produz-se a projeção radial da abertura sobre uma hemisfera de raio unitário centrada em P e obtém-se dS, um elemento da hemisfera.

Em P a área dS vai cobrir o mesmo ângulo sólido que a abertura.

Caso P esteja num plano horizontal e β seja o ângulo entre a vertical e a direção de dS e L é a luminância do céu visível através da abertura, a iluminação em P será calculada pela seguinte expressão:

$$dE = L * dS * \cos \beta \quad \dots 1)$$

Caso a projeção ortogonal de S no plano horizontal seja Q

$$Q = dS * \cos \beta \quad \dots 2)$$

¹ Fonte: Soterias, R.M. (1985): "Geometria e Iluminacion Natural", Tesis Doctoral, ETSAB/UPC, Barcelona, 355 p.

Substituindo expressão (2) em (1) tem-se:

$$dE = L * dQ \quad \dots(3)$$

e integrando a expressão acima obtemos, de modo simplificado,

$$E = \int L * dQ \quad \dots(4)$$

Como a iluminância E é proporcional à projeção horizontal dQ, é possível a utilização de métodos de representação gráfica que relacionem a geometria e distância dos objetos ao ponto de referência.

Empregando-se a subdivisão da abóbada celeste e a determinação da luminância (Lp) de cada zona conforme o projeto 02.135.02-002:2002 é possível a determinação dos níveis de iluminação internos pela aplicação direta da expressão (8) do mesmo projeto de norma, onde o ângulo sólido Ω é proporcional à área dQ do Princípio do Ângulo Sólido Projetado.

4.3 Diagramas de Contribuição Relativa de Luz (DCRL)

Os DCRL são diagramas que representam a projeção estereográfica da abóbada celeste, com uma subdivisão em 244 zonas (conforme projeto 02.135.02-002:2002).

Cada zona apresenta numericamente sua contribuição relativa para a iluminância no plano horizontal desobstruído, em função da altitude do sol.

Os diagramas apresentados nesta Norma - com subdivisões da hemisfera celeste de 10° em 10° - são apresentados no anexo A conforme os itens seguintes:

A.1 - Diagramas com os fatores de forma para a hemisfera celeste;

A.2 - Diagramas de distribuição de luminâncias - para céu claro e céu encoberto - para as altitudes solares de 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90° ;

A.3 - Diagramas para análise de obstrução e geometria da insolação para altitudes solares variando de 10° em 10° .

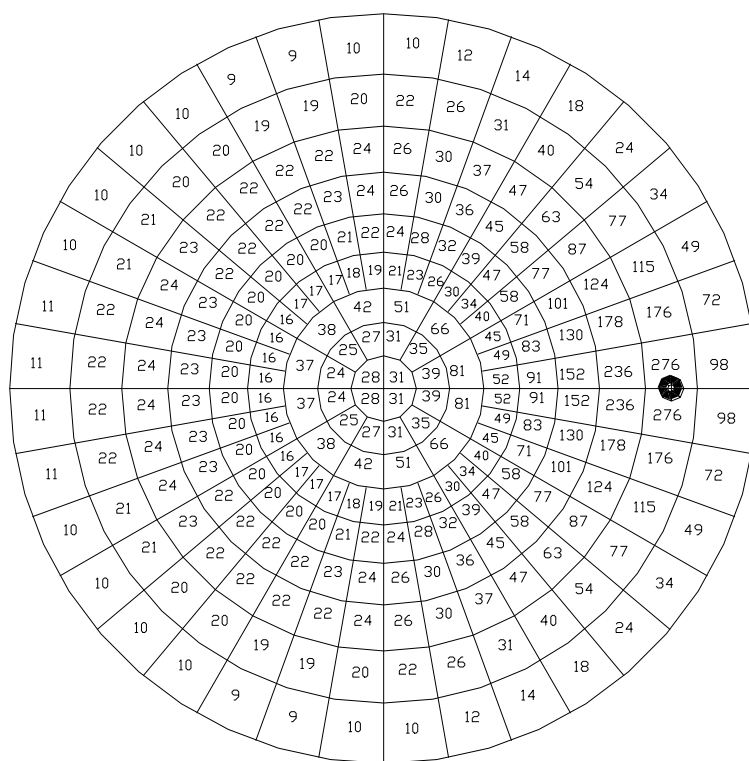


Figura 3 - Diagrama de Contribuição Relativa DCRL para céu claro e altitude solar de 15°

5 Procedimento de cálculo: Método do fluxo dividido

5.1 Considerações

Método baseado na consideração dos vários caminhos através dos quais a luz natural pode alcançar um ponto no interior de uma edificação.

Distinguem-se três caminhos básicos resultantes da divisão do fluxo luminoso admitido em três componentes:

- a) CC - Componente do Céu; luz que alcança um ponto do ambiente interno proveniente diretamente do céu;
- b) CRE - Componente Refletida Externa; luz que alcança um ponto do ambiente interno após ter refletido em uma superfície externa; e
- c) CRI - Componente Refletida Interna; luz que alcança um ponto do ambiente interno somente após ter sofrido uma ou mais reflexões nas superfícies internas.

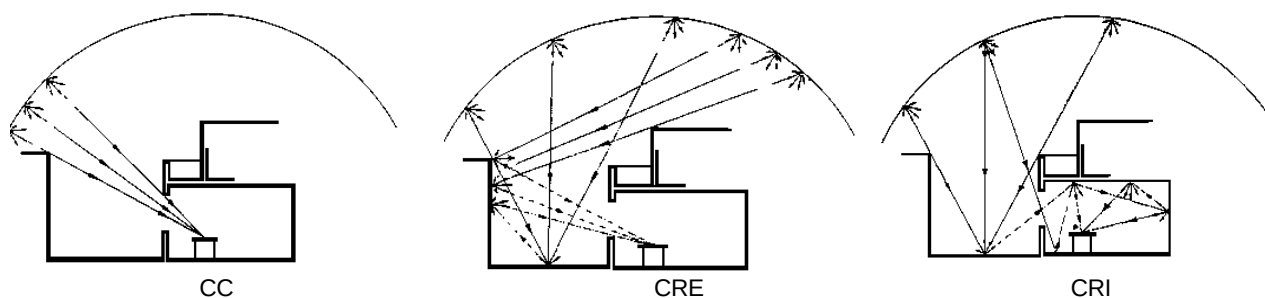


Figura 4: Fontes de luz natural que alcançam o edifício¹

A soma destas três componentes, corrigida por fatores relativos aos efeitos redutores produzidos pelos separadores contidos na abertura, tais como, transmissividade do vidro (K_T), fator de manutenção (K_M) e fator de caixilho (K_C), representa o nível de iluminação natural num ponto do ambiente interno, conforme expressão (5).

$$CIN = (CC + CRE + CRI) * K_T * K_M * K_C \quad \dots 5)$$

Assumindo a proporcionalidade da iluminância num plano horizontal, produzida pela visão de uma fonte de luz superficial, para com a projeção horizontal dQ desta fonte (conforme expressão 4), podemos definir a Contribuição de Iluminação Natural (CIN) de um ponto localizado num plano horizontal interno conforme a expressão (6).

$$CIN = \frac{E_P}{E_{Hext}} * 100(\%) \quad \dots 6)$$

Onde

E_P é igual à iluminância num plano horizontal no ponto P do ambiente interno, em lux;

E_{Hext} é igual à iluminância produzida por toda a abóbada celeste num plano horizontal externo livre de obstruções, excluída a iluminação direta do sol, em lux

substituindo E_P (expressão 5) na (6) temos

$$E_P = \frac{(CC + CRE + CRI) * K_T * K_M * K_C}{E_{Hext}} * 100(\%) \quad \dots 7)$$

Assim como CIN, as componentes Celeste, Refletida Externa e Refletida Interna, podem ser determinadas como um percentual da iluminância horizontal externa (E_{Hext}).

O somatório destas três percentagens, corrigidas pelos fatores K, resulta num valor de CIN (%), que por sua vez pode ser usado, através da expressão (6) para a determinação de E_P .

Para condições de céu que não apresentem variação de luminância com relação ao azimuth (isotropia azimuthal) - como o céu encoberto padrão CIE ou o céu uniforme - a CIN assemelha-se ao Daylight Factor - DF, apresentando valores constantes para qualquer ponto do ambiente.

5.2 Metodologia para determinação de E_P através do DCRL

Para se fazer a determinação da quantidade de luz incidente em um ambiente através de uma abertura, usa-se uma carta de trajetórias solares aparentes, um diagrama de obstrução e as tabelas de distribuição de luminâncias, que devem estar em mesma escala e utilizar o mesmo sistema de projeção.

Nota: Nesta Norma é utilizada a projeção estereográfica.

5.2.1 Determinação da posição do sol

Para se determinar a posição do sol, calcula-se os ângulos de altitude solar (γ_s) e azimuth solar (α_s) através das expressões apresentadas no projeto 02.135.02-002, para dia, hora e latitude pré-definidos.

Alternativamente, a posição do sol pode ser estimada com um grau de precisão aceitável através de diagramas de trajetórias solares aparentes (ver figura 5 e anexo A).

¹ Fonte: Soteras, R.M. (1985): "Geometria e Iluminacion Natural", Tesis Doctoral, ETSAB/UPC, Barcelona, 355 p.

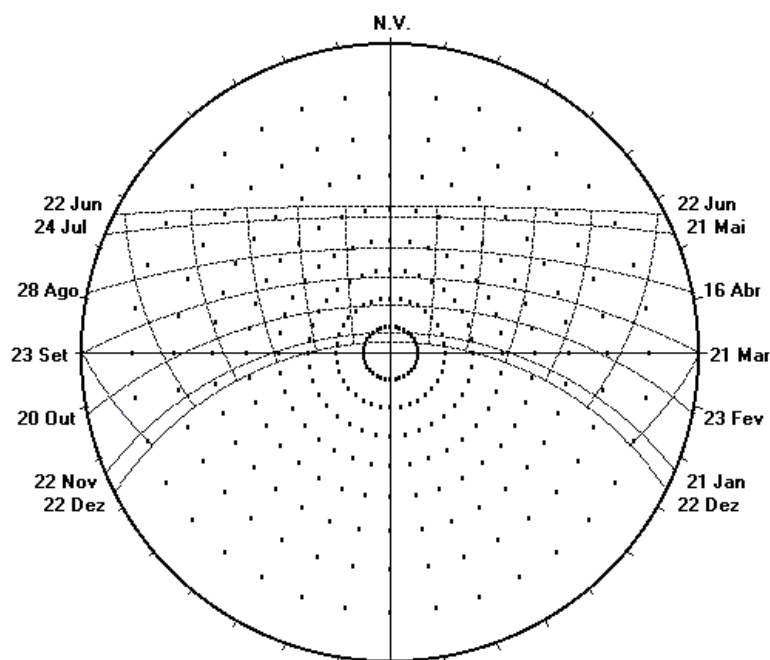


Figura 5 - Diagrama de Trajetórias Solares Aparentes (Lat - 27° 32' S) - ver Anexo

5.2.2 Cálculo da componente do céu (CC)

5.2.2.1 A seguir estão apresentados os passos a serem seguidos para o cálculo da CC com o uso de um exemplo demonstrativo, a partir do uso dos DCRL, tanto para céu encoberto (nesta condição de céu, não se considera os itens relativos à orientação) quanto para céu claro:

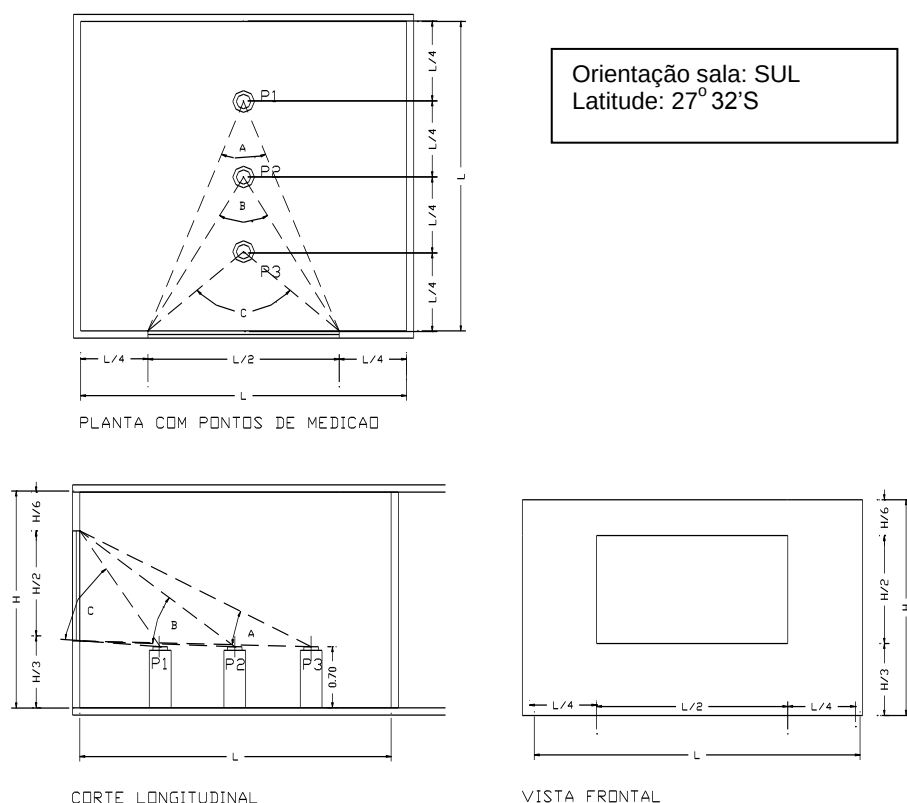


Figura 6 - Planta esquemática do ambiente mostrando a disposição dos três pontos de referência internos com respectivos ângulos de visão da abertura (desenho sem escala).

- determina-se um ponto no interior do ambiente que se queira estudar;
- produz-se a máscara de obstrução,
 - determina-se os ângulos formados entre a abertura e o ponto interior através de plantas baixas e seções longitudinais do ambiente em estudo.
 - os ângulos obtidos são transpostos para a máscara de obstrução.
 - as obstruções externas devem ser marcadas seguindo o mesmo procedimento para levantamento dos ângulos de obstrução obtendo-se desta forma a fração visível da abóboda celeste

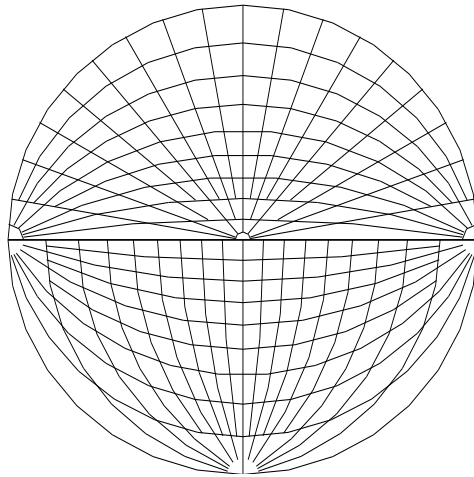
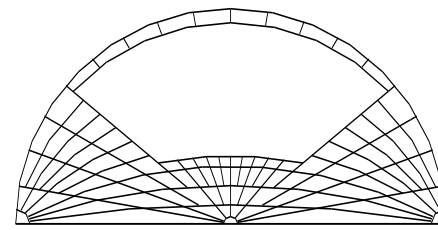
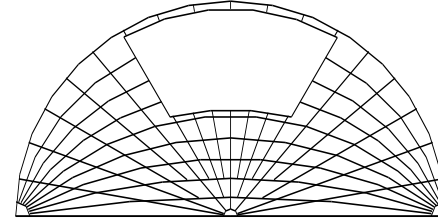


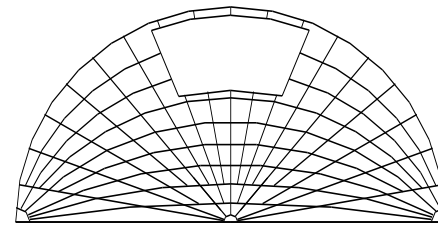
Figura 7 - Diagrama usado para construção de máscaras de obstrução



PONTO P1



PONTO P2



PONTO P3

Figura 8 - Máscaras de obstrução para os pontos de estudo.

- c) verifica-se a orientação para a qual está voltada a janela a ser estudada;
- d) escolhe-se o dia (ou época) do ano e horários a se estudar;
- e) determina-se o azimuth e altitude solar com o auxílio da carta de trajetórias solares;
- f) de posse da altitude solar, seleciona-se o DCRL mais adequado, para céu claro ou céu encoberto - no primeiro caso ainda deve-se escolher a altitude solar (15° , 30° , 45° , 60° , 75° ou 90°), a partir do valor obtido no item anterior:
 - para altitudes inferiores a 15° é assumido este valor;
 - no caso de altitudes intermediárias, acima de 15° , quando a variação for superior a $7,5^\circ$, toma-se a altitude de maior valor, caso seja menor ou igual a $7,5^\circ$, utiliza-se o diagrama de menor valor;
- g) no DCRL, para céu claro, marca-se o Norte a partir do azimuth encontrado em sentido anti-horário como mostra a figura 9, devendo-se observar aqui que um azimuth positivo é marcado em sentido anti-horário no diagrama, uma vez que este fornece, não o Norte, mas a posição do sol;

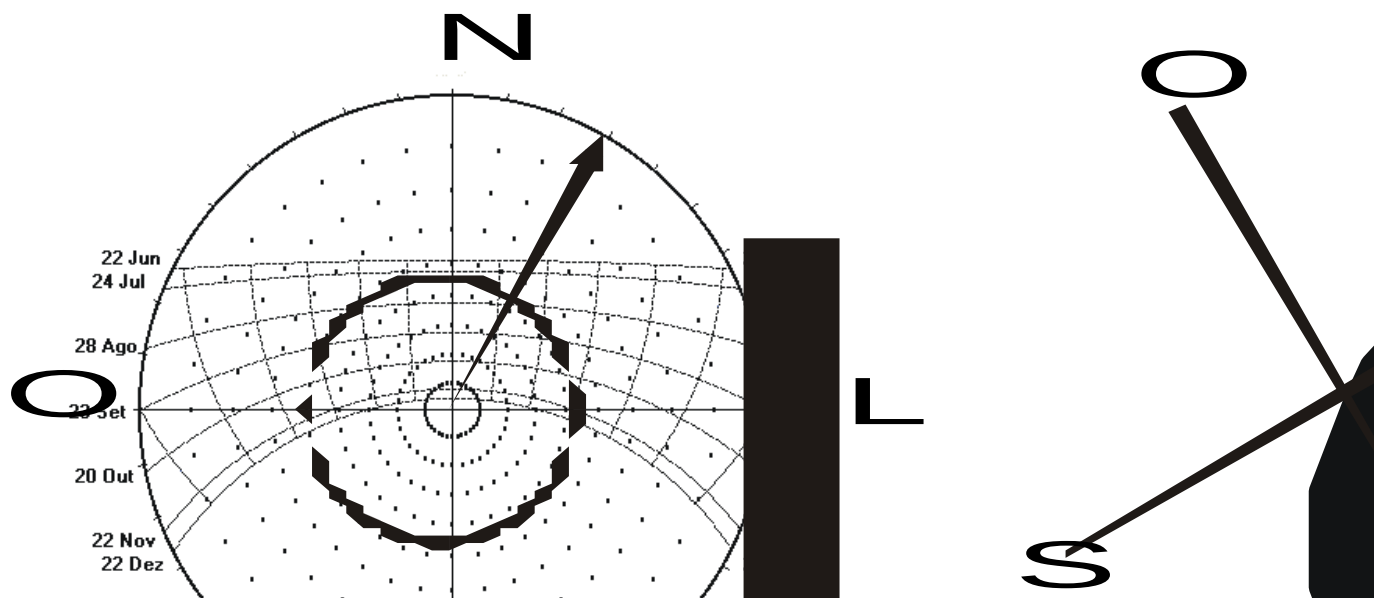
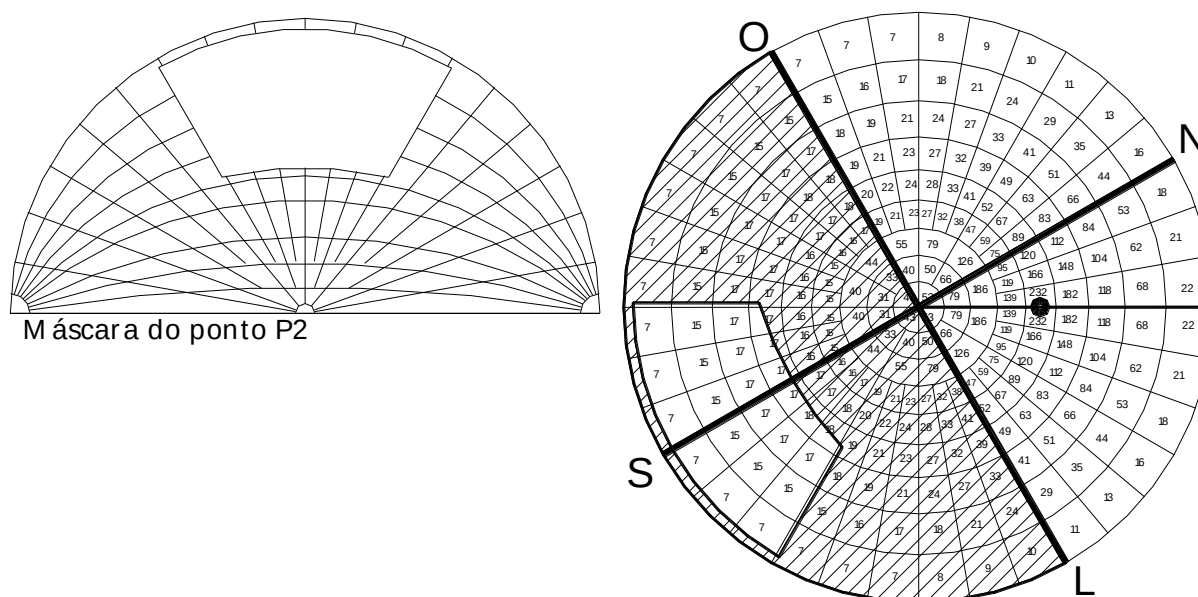


Figura 9 - Localização do azimuth do sol no DCRL.

h) sobrepõe-se a máscara construída sobre o DCRL de forma que a abertura fique orientada adequadamente a partir do Norte já marcado como mostra a figura 10;



5.2.3.2 Obstrução iluminada pelo sol direto

Cabe salientar que esta contribuição não é calculada em valor percentual e sim em valor absoluto em iluminância, uma vez que seu cálculo depende da iluminância produzida pelo sol na superfície da obstrução e não apenas da abóboda celeste. Seu valor deve ser somado ao valor final calculado da contribuição de iluminação natural (CIN).

Quando a superfície oposta à abertura iluminante for iluminada diretamente pelo sol, considera-se que a obstrução visível estará mais clara que a porção de céu que ela obstrui. Aqui portanto, introduz-se o cálculo da iluminação direta do sol no plano vertical da obstrução.

Inicialmente, a iluminância devido ao sol no plano da obstrução (E_{SV}), geralmente vertical, deve ser calculada conforme procedimentos descritos no projeto 02:135.02-002:1998 ou, alternativamente, através da figura 12.

A iluminância E_{SV} pode ser estimada pela superposição do Diagrama de Trajetórias Solares Aparentes com o diagrama da figura 12, a projeção do sol numa data e hora especificadas permite a leitura ou interpolação da iluminância nas linhas iso-lux.

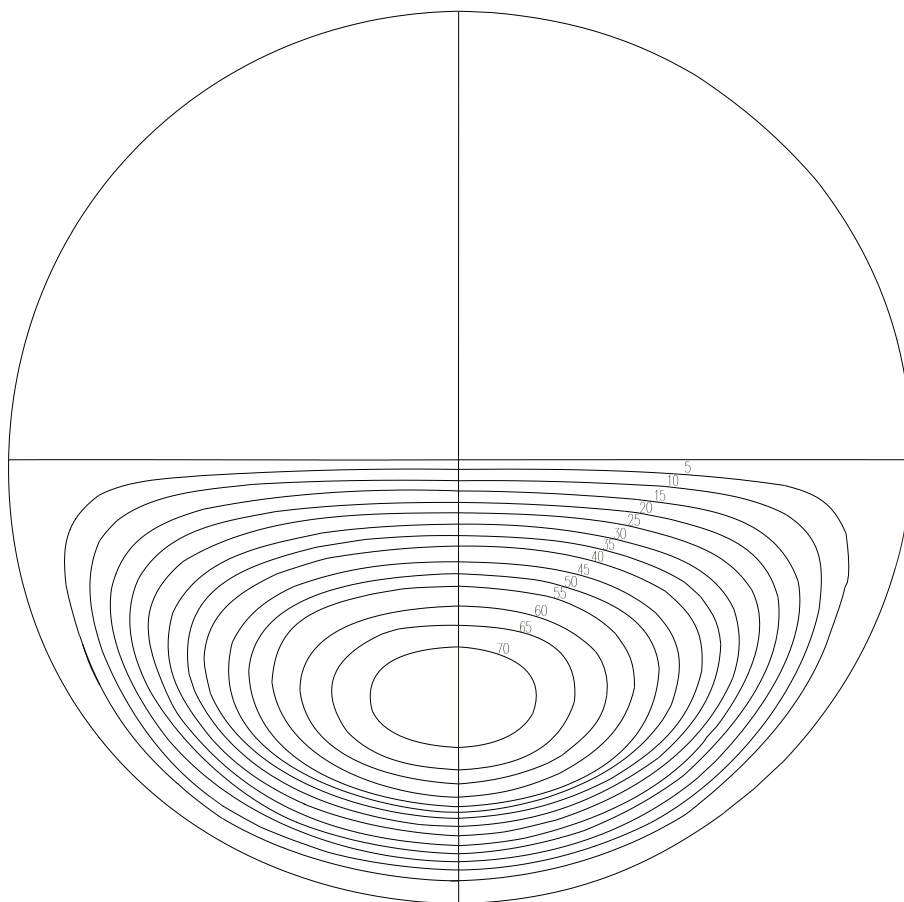


Figura 12 - Diagrama para estimativa da iluminância (klux) produzida pelo sol num plano vertical (E_{SV}). A utilização é feita superpondo o Diagrama de Trajetórias Solares Aparentes¹

Como o método gráfico proposto introduz o conceito de fator de forma projetado em uma esfera de raio unitário para o cálculo da contribuição de luz proporcionada por uma fonte superficial, o cálculo da CRE pode ser feito seguindo o mesmo procedimento.

Obtém-se a projeção estereográfica das obstruções em relação ao ponto de referência.

O cálculo do fator de forma (contribuição de luz) correspondente à área projetada das obstruções externa (ver figura 13) é feita pela superposição da máscara encontrada sobre o diagrama de fatores de forma (figura 14 e figura A.1 do anexo)

¹ Fonte: Soterias, R.M. (1985): "Geometria e Iluminacion Natural", Tesis Doctoral, ETSAB/UPC, Barcelona, 355 p.

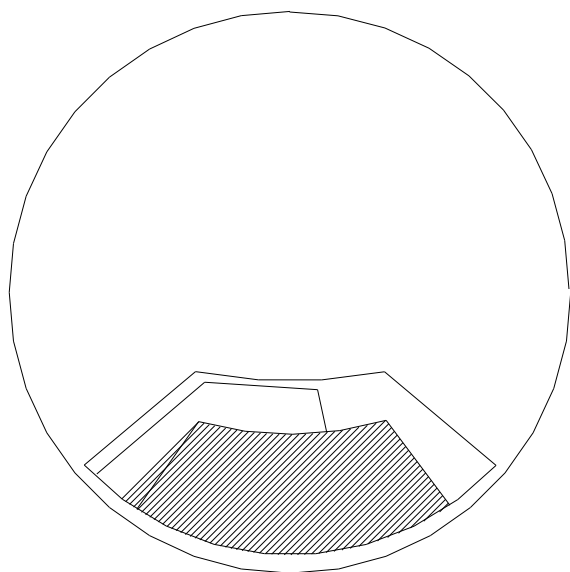


Figura 13 - Exemplo de projeção de obstrução

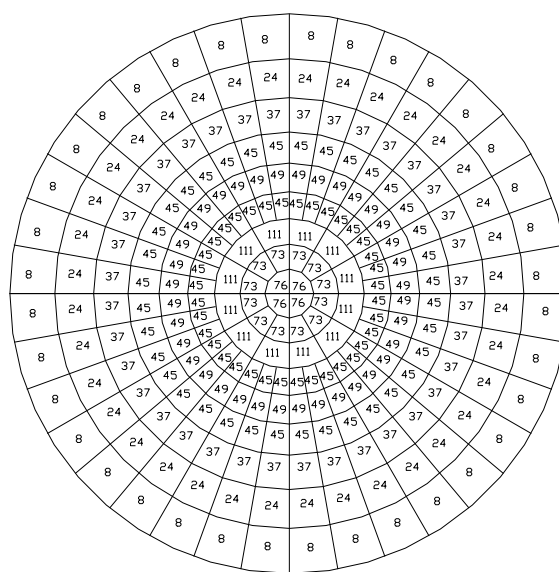


Figura 14 - Diagrama com fatores de forma

O cálculo da CRE se faz pela multiplicação da iluminância na superfície oposta à abertura pelo fator de forma correspondente à superfície da abóbada obstruída pela edificação, FF_{oe} , e pelo coeficiente de reflexão da superfície externa para que se obtenha a contribuição relativa dessa luminância na contribuição total da iluminação natural no ponto.

$$CRE_{abs} = (E_{sv} * FF_{oe} * \rho_{obs}) / \pi \quad \dots 9)$$

Onde:

CRE_{abs} é igual ao valor absoluto da componente refletida externa em lumen por metro quadrado (lux);

E_{sv} é a iluminância devido ao sol no plano da obstrução (lux);

FF_{oe} é igual ao fator de forma das obstruções externas relativo ao ponto de observação; obtido pelo uso do diagrama de fatores de forma, anexo A1;

ρ_{obs} é o coeficiente de reflexão da superfície externa.

5.2.4 Cálculo da componente refletida interna (CRI)

Para o cálculo da componente refletida interna emprega-se representação gráfica do espaço similar ao cálculo da componente celeste. Determina-se a projeção estereográfica das superfícies internas do ambiente em relação aos pontos de medição como pode ser visto na figura 15.

Superpondo-se estas projeções ao diagrama com os fatores de forma, pode-se acessar o valor da área projetada das superfícies internas do ambiente, conforme a figura 16.

O fator de forma calculado pelo método DCRL representa quanto do total de superfícies visíveis pelo ponto é representado por cada uma das superfícies.

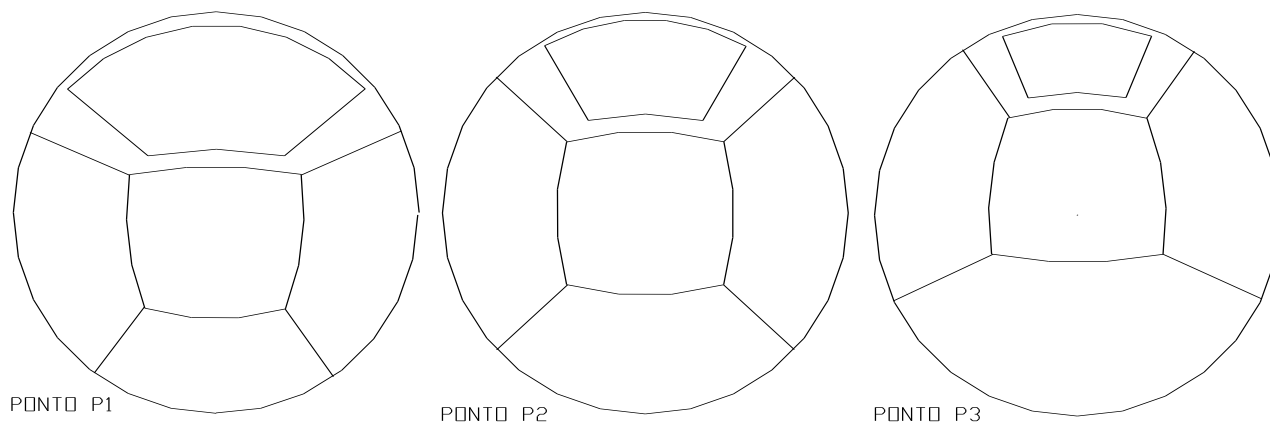
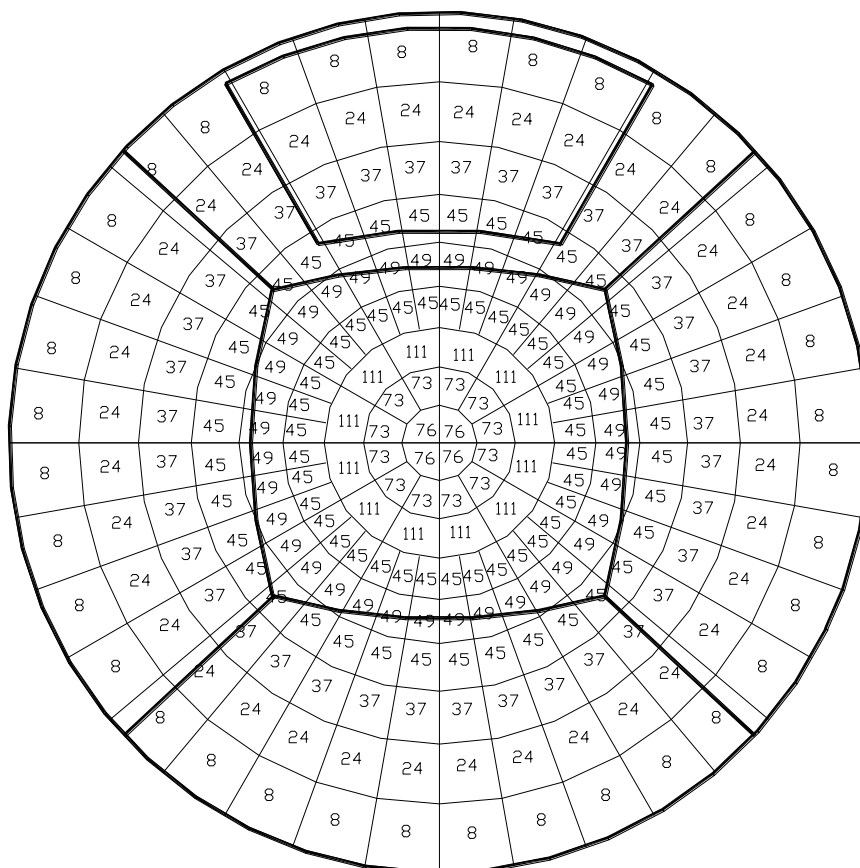


Figura 15 - Projeção das superfícies internas do ambiente em relação aos pontos de medição.



FATOR DE FORMA - HEMISFERA UNITÁRIA

Figura 16 - Projeção das superfícies internas do ambiente em relação ao ponto P2 com exemplo de superposição sobre o diagrama de fatores de forma.

Como o método, para fins de simplificação do modelo, assume que toda a luz que penetra através da abertura (CC + CRE) é uniformemente distribuída (e refletida) pelas superfícies internas, acima do plano em que se localiza o ponto em estudo, foi necessária a introdução de um fator de correção, K_p , determinado empiricamente, para compensar as múltiplas reflexões da luz que ocorrem no ambiente real.

Tem-se então que a CRI pode ser calculada pela expressão (10)

$$CRI = \left\{ \sum_{n=1}^n (FF_{si} * \rho_{mi}) \right\} * (CC + CRE) * k_p \quad \dots 10)$$

Onde:

n é igual ao número de superfícies

FF_{si} é igual ao fator de forma de cada uma das superfícies internas em relação ao ponto P (obtido através da figura 16)

ρ_{mi} é igual à refletância média de cada superfície interna

k_p é um fator empírico de correção em função da posição do ponto

Posição do ponto	Valor de k_p
próximo à abertura	0,9
posição intermediária	1,15
afastado da abertura	1,6

A Tabela 1 a seguir apresenta os resultados para o cálculo da CRI para o ponto P2, conforme exemplo apresentado em 5.2.2. Nesta tabela, é apresentada a somatória percentual de sua projeção relativa à área vista pelo ponto P2 de cada uma das superfícies, compostas por paredes, teto e abertura.

O valor encontrado do fator de forma das superfícies internas, FFs, de cada uma das superfícies é multiplicado pela refletância média desta superfície, ρ_m , obtendo-se assim o valor percentual da contribuição da CRI em relação à localização do ponto. Calculando-se o valor final de CRI pela expressão (10), obtém-se o valor 2,4%.

Tabela 1 – Exemplo de cálculo da CRI a partir dos Fatores de Forma estimados para as superfícies internas do ambiente em estudo em relação ao ponto P2 (exemplo).

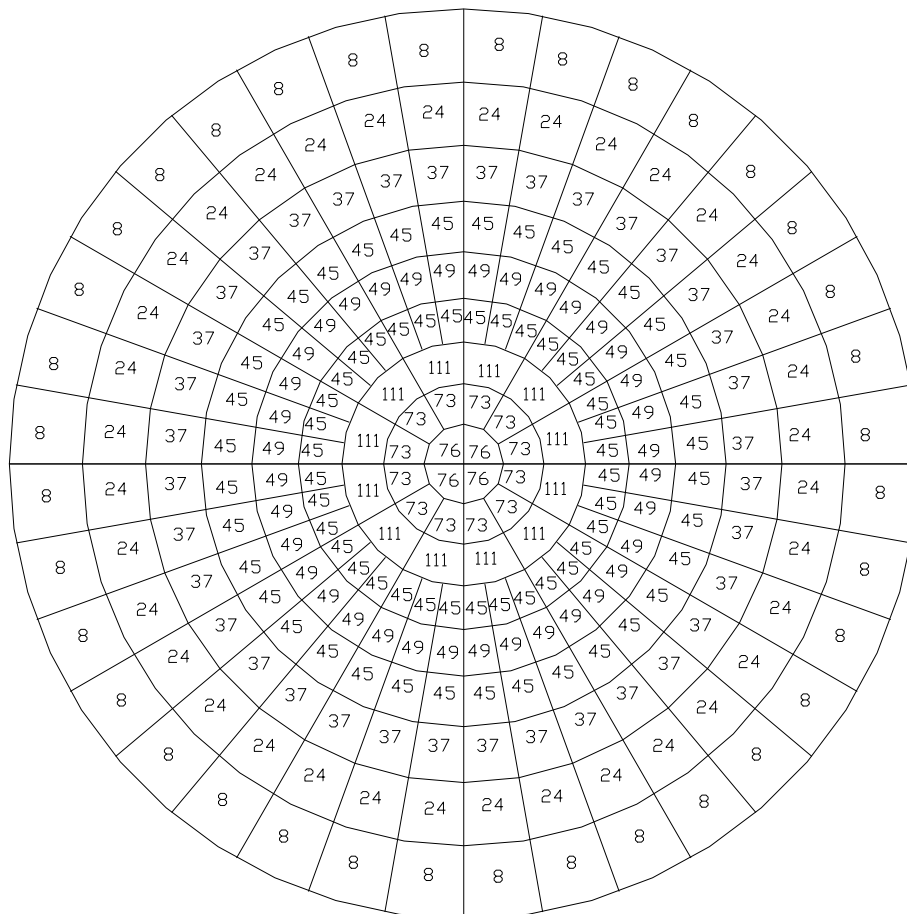
Superfície	FF (DCRL/100)	ρ	$FF * \rho$	CC	CRE*	Kp	CRI
Teto	45%	0,80	0,36				
Parede janela	9%	0,60	0,05				
Parede lateral esquerda	14%	0,60	0,08				
Parede lateral direita	14%	0,60	0,08				
Parede fundos	14%	0,75	0,10				
	100%	$\Sigma FF * \rho$	0,68	3,1%	0	1,15	2,4%

* Neste exemplo, atribuiu-se a componente refletida externa (CRE) o valor 0.

/ANEXO A

**Anexo A (normativo)
Diagramas**

A.1 Diagramas com os fatores de forma para a hemisfera celeste com subdivisões de 10° em 10°



NOTA: Neste diagrama cada 100 unidades correspondem a 1% da área total da hemisfera celeste

Figura A.1 - Diagrama com os fatores de forma da hemisfera celeste para subdivisões de 10° em 10° .

A.2 Diagramas de distribuição de luminâncias - para céu claro e céu encoberto - com divisões de 10° em 10°, para as altitudes solares de 15°, 30°, 45°, 60°, 75°, 90°

As figuras de A.2 a A.7 referem-se à DCRL para céu claro e altitudes solares variando de 15° em 15°
A figura A.8 refere-se a DCRL para céu encoberto.

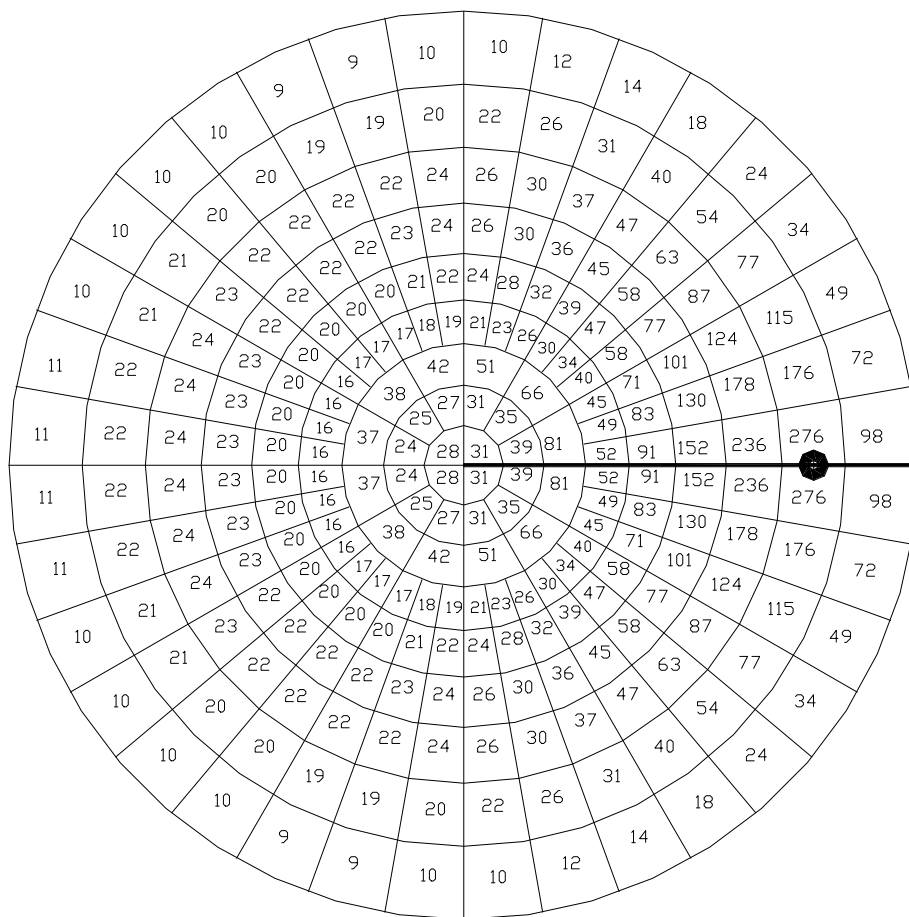


Figura A.2 - Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu claro, altitude solar de 15°.

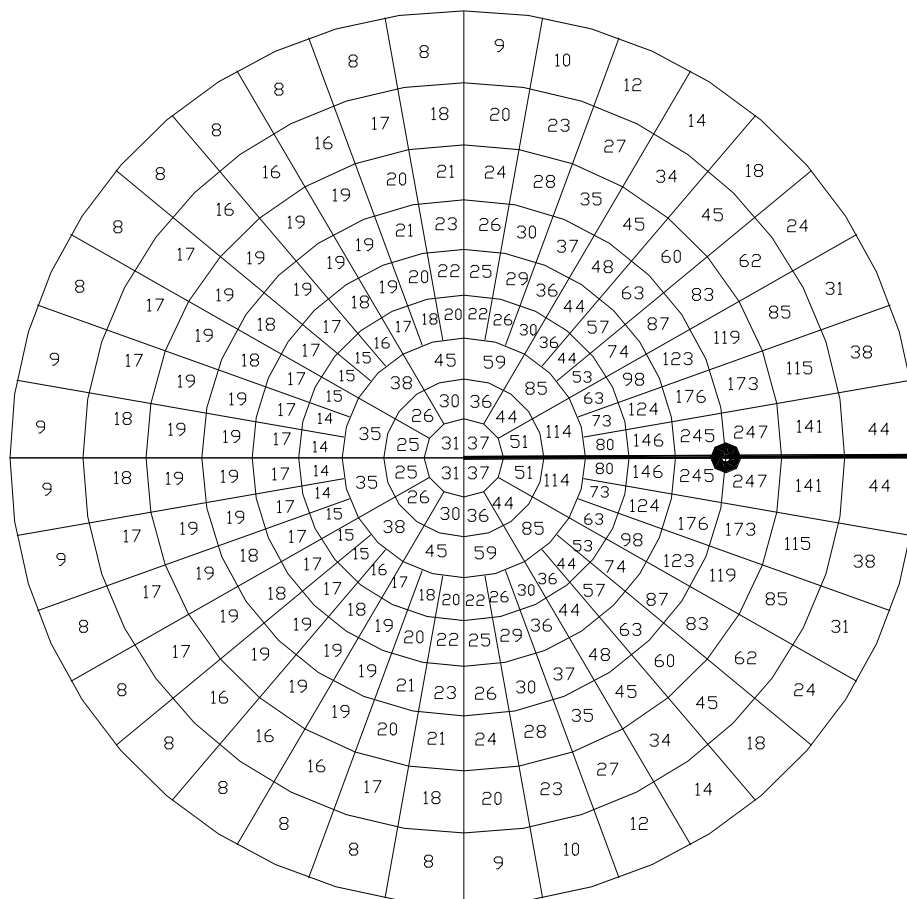


Figura A.3 - Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu claro, altitude solar de 30°.

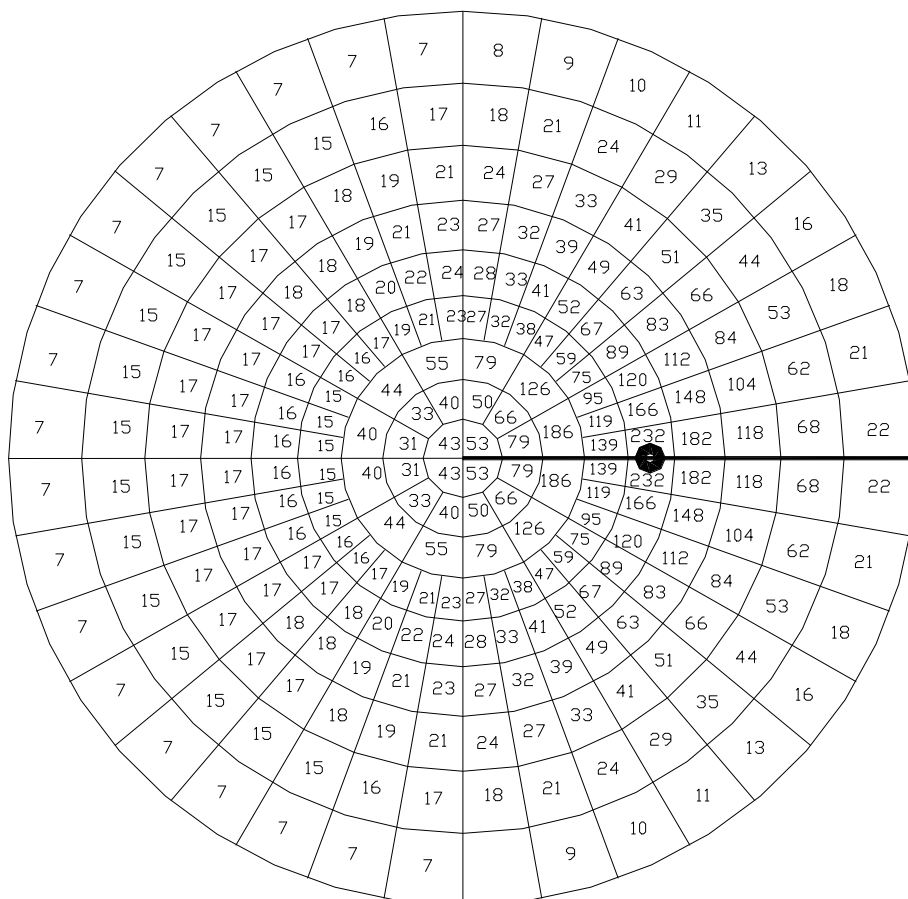
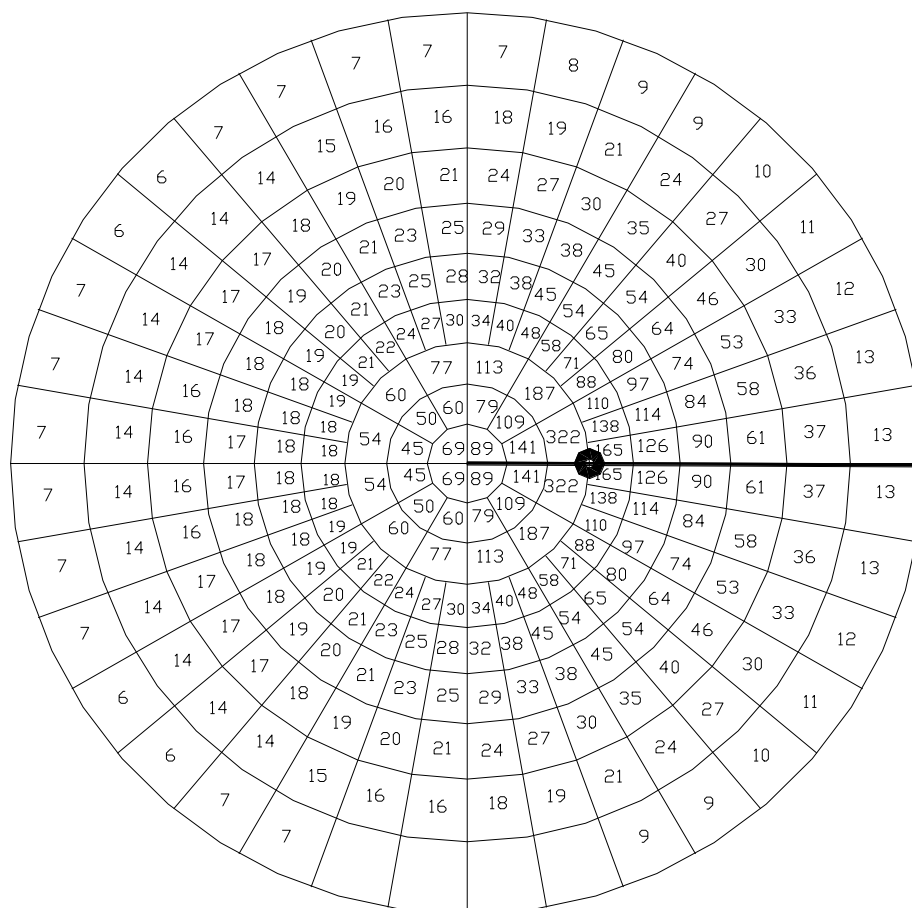


Figura A.4 - Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu claro, altitude solar de 45°.



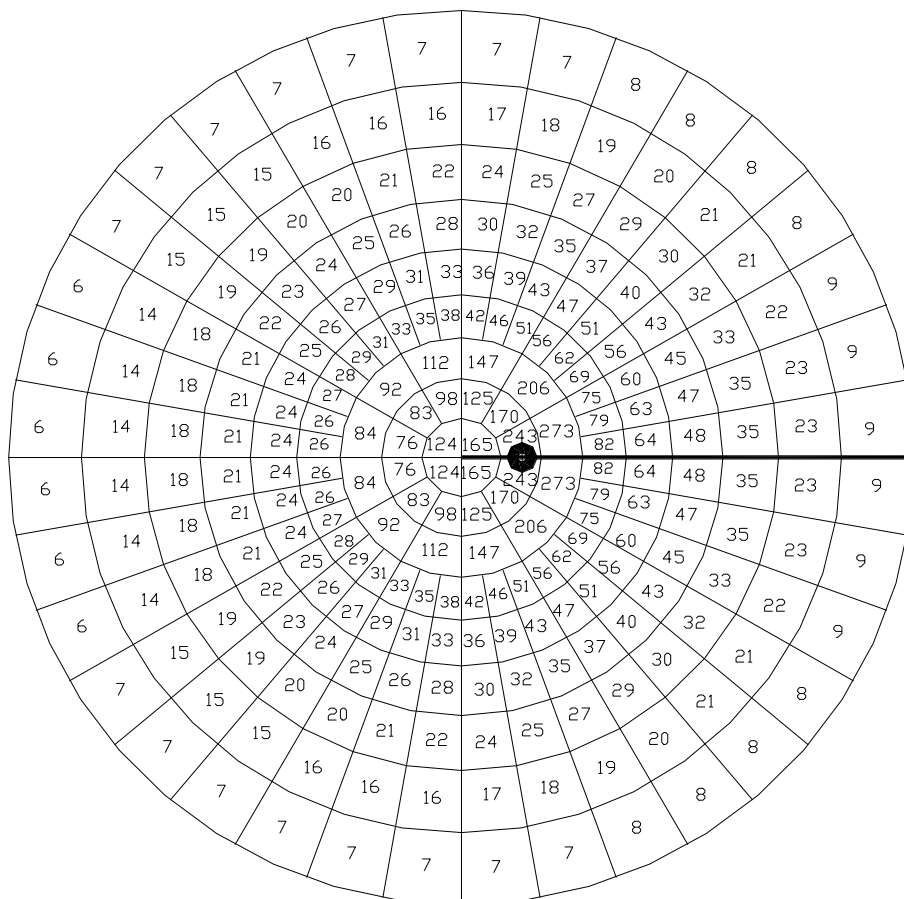


Figura A.6 - Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu claro, altitude solar de 75°.

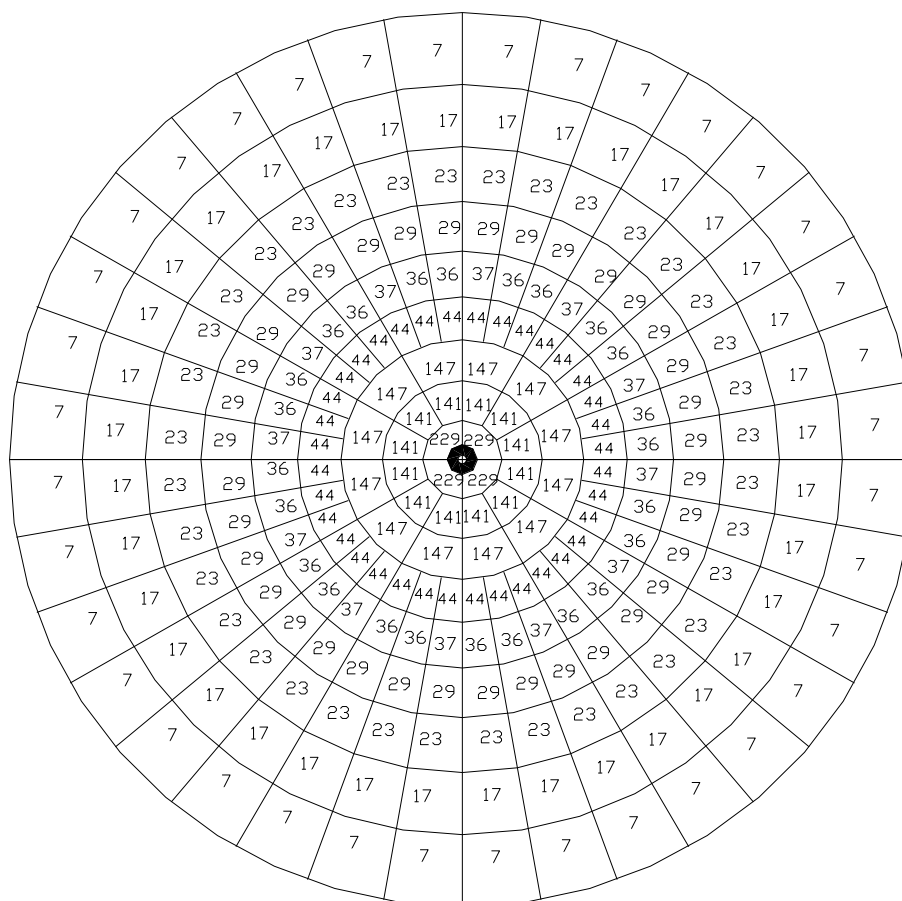


Figura A.7 - Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu claro, altitude solar de 90°.

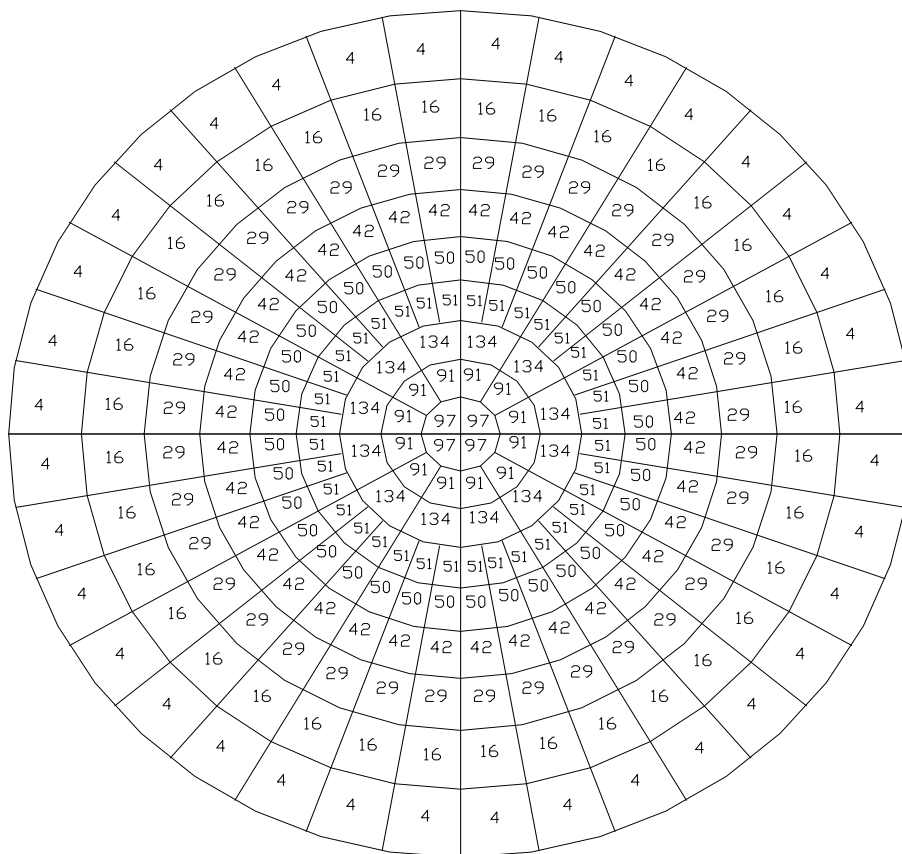


Figura A.8 - Diagrama de Contribuição Relativa de Luz (DCRL) para céu encoberto.

A.3 - Diagramas para análise de obstrução e geometria da insolação para altitudes solares variando de 10° em 10° .
A figura A.9 é aplicada para a construção de máscaras, enquanto que as figuras seguintes são previstas para o hemisfério Sul, com latitudes variando de 8° a -36° , em intervalos de 4°

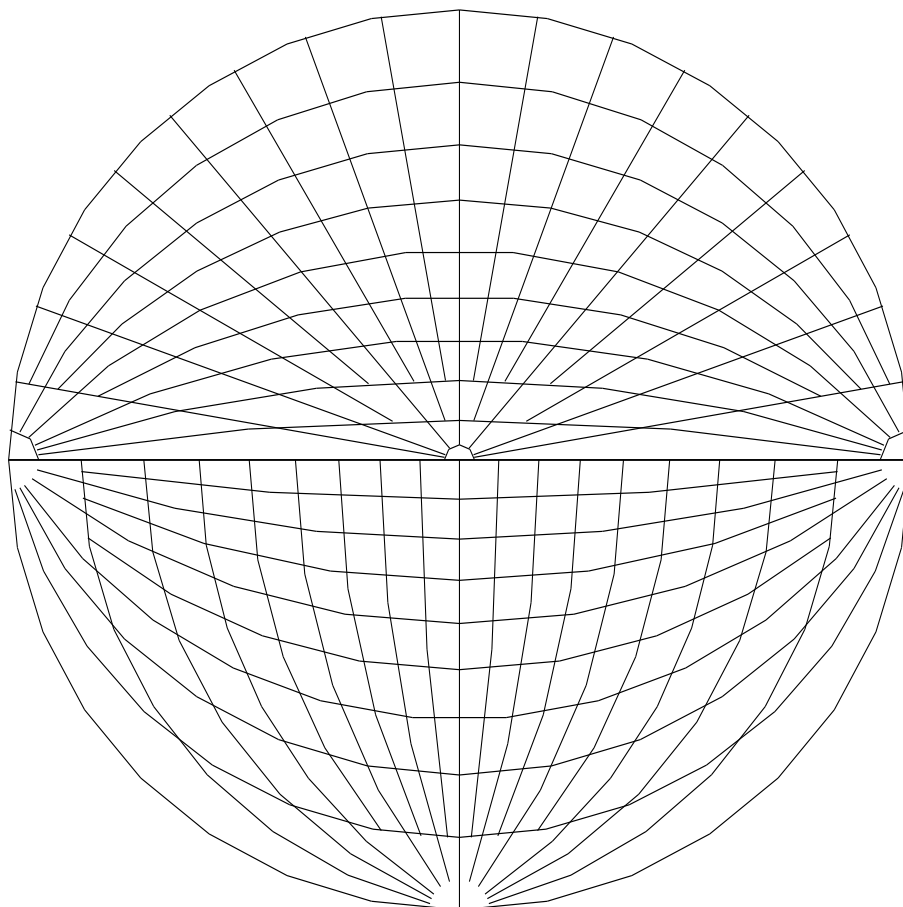
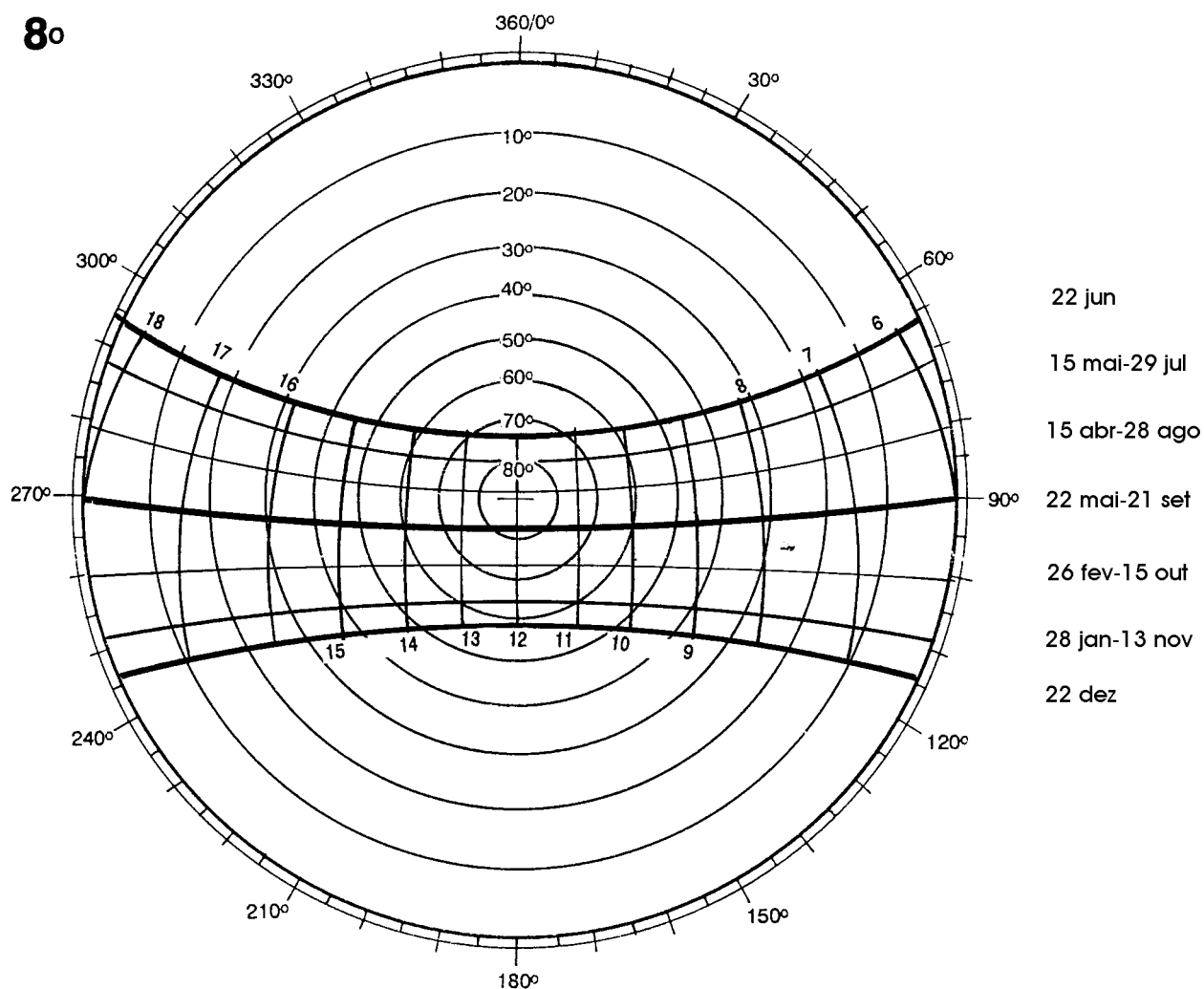
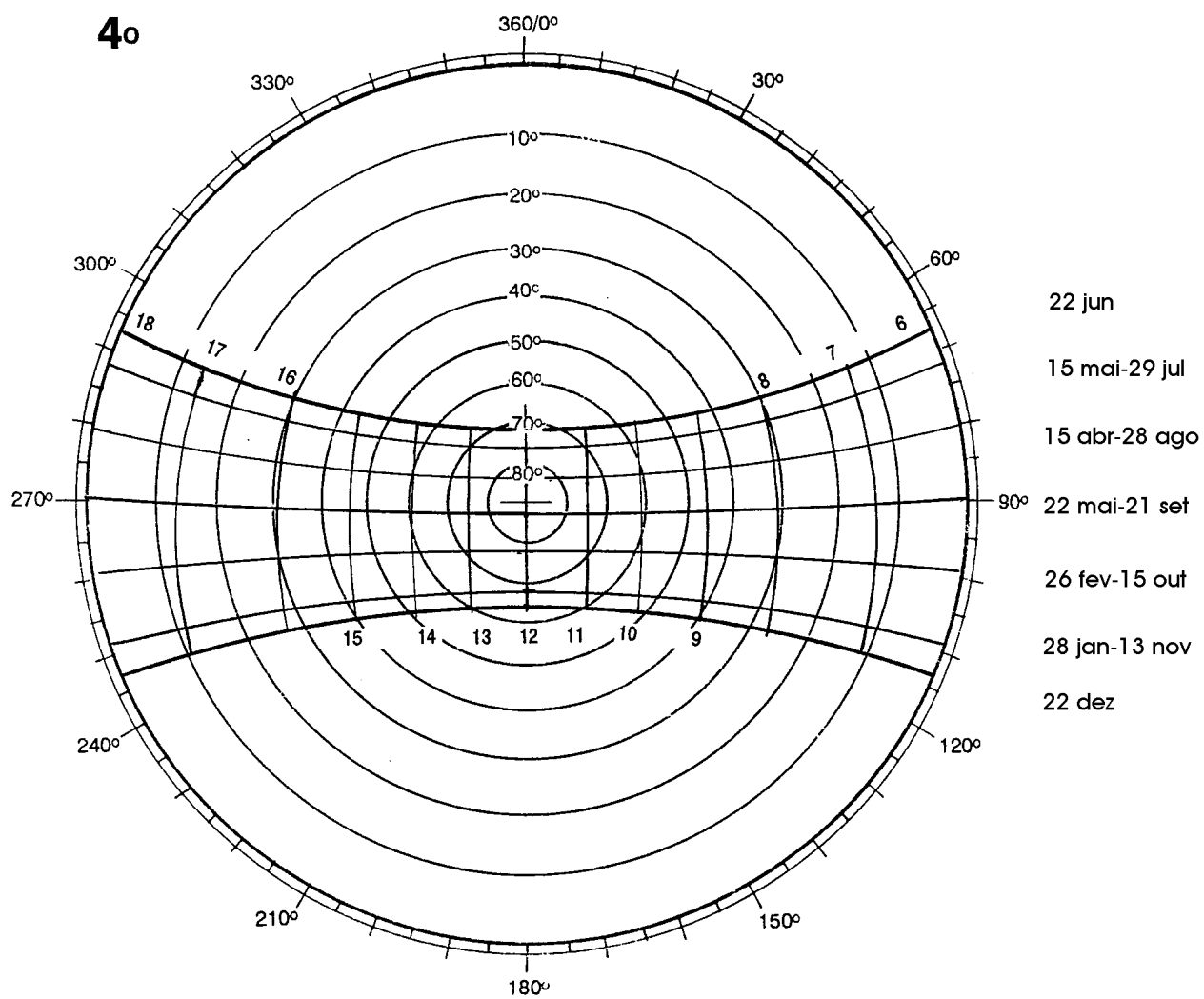
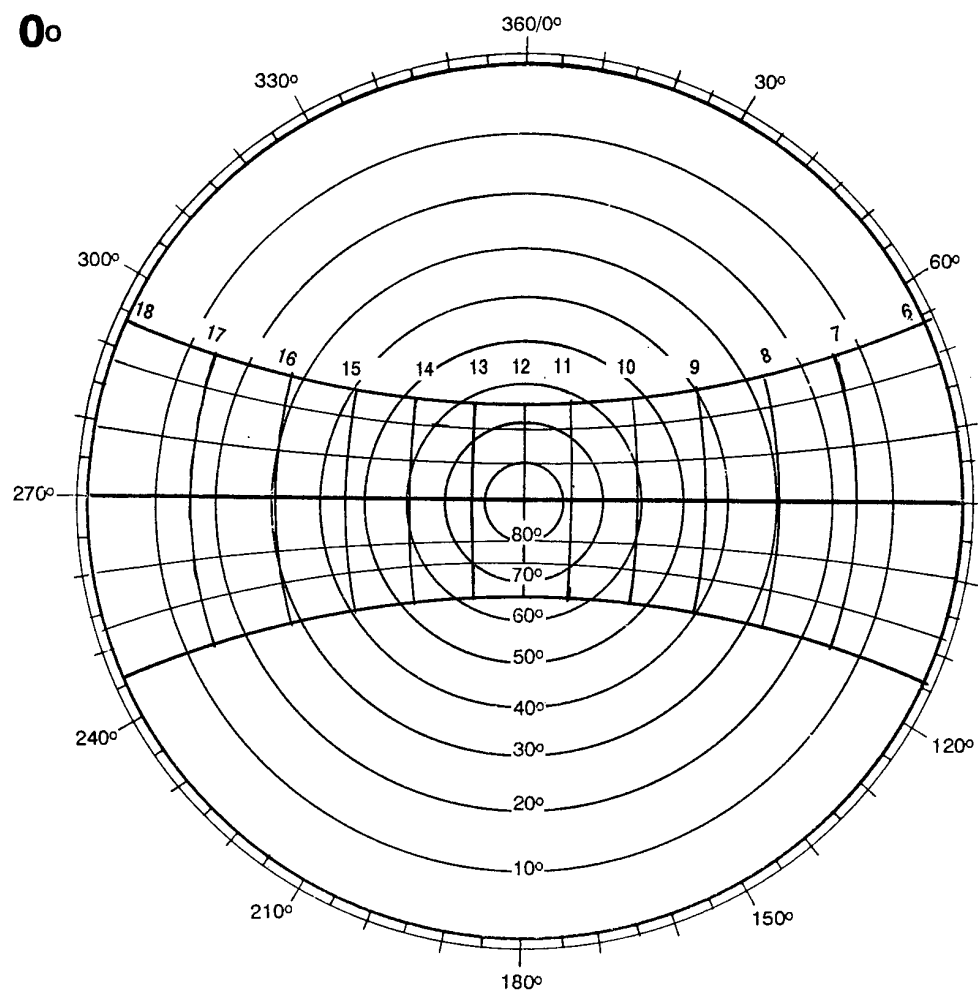


Figura A.9 - Diagrama usado para construção das máscaras.

A.4 – Diagramas de Trajetórias Solares Aparentes, confeccionados em projeção esteográfica, para latitudes de + 8° (N) até - 36° (S), variando de 4° em 4°.





0°

22 jun

15 mai-29 jul

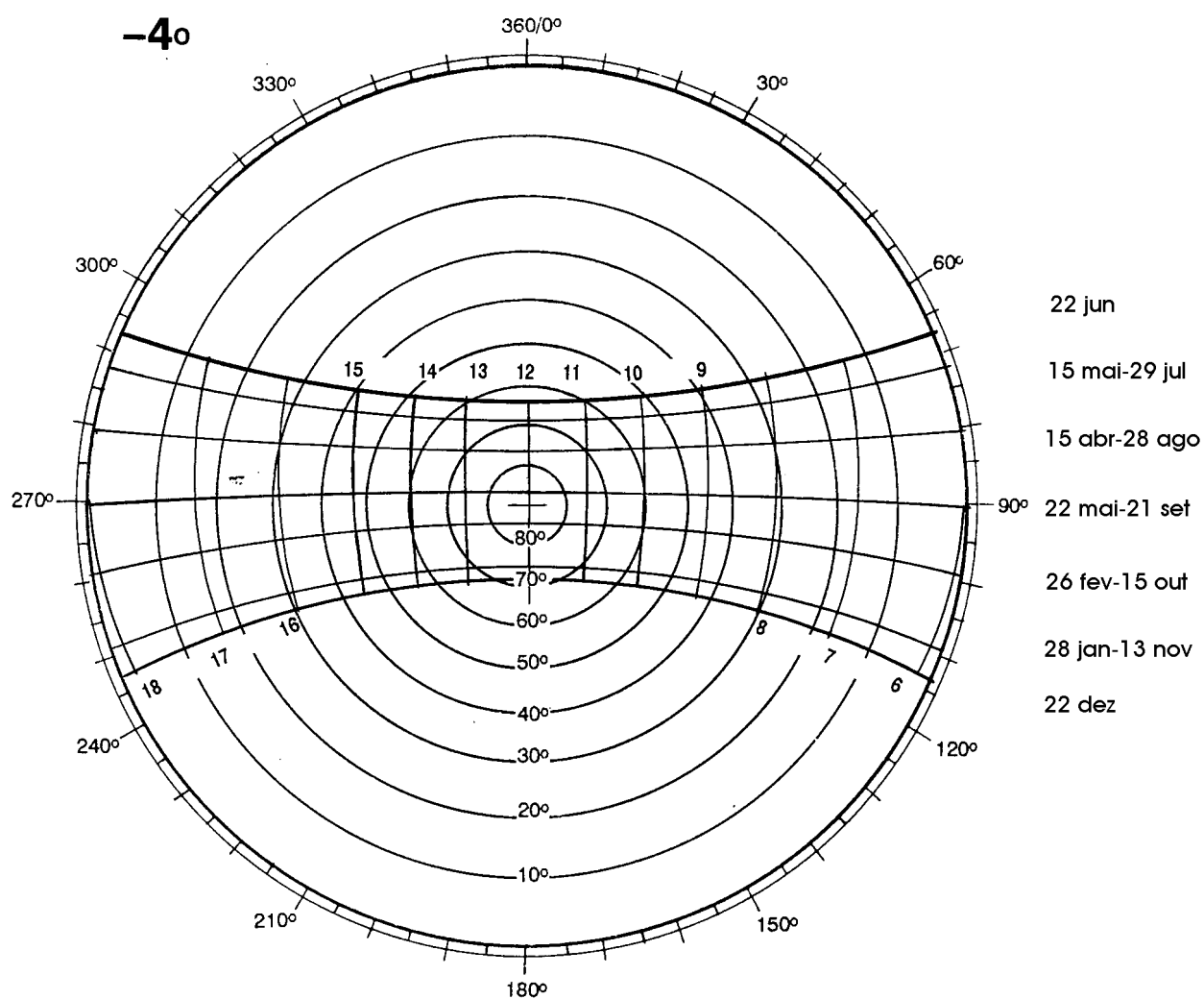
15 abr-28 ago

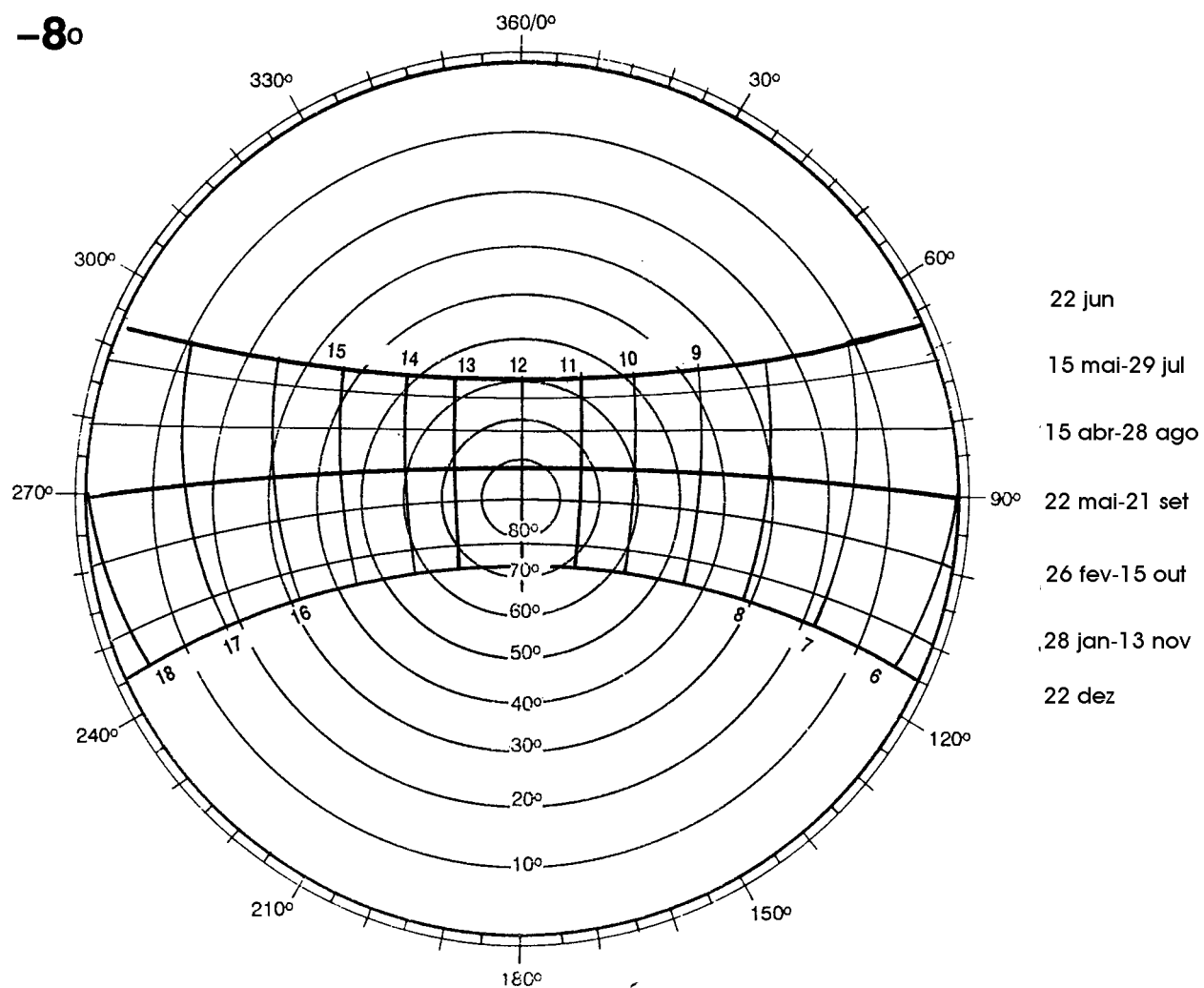
22 mai-21 set

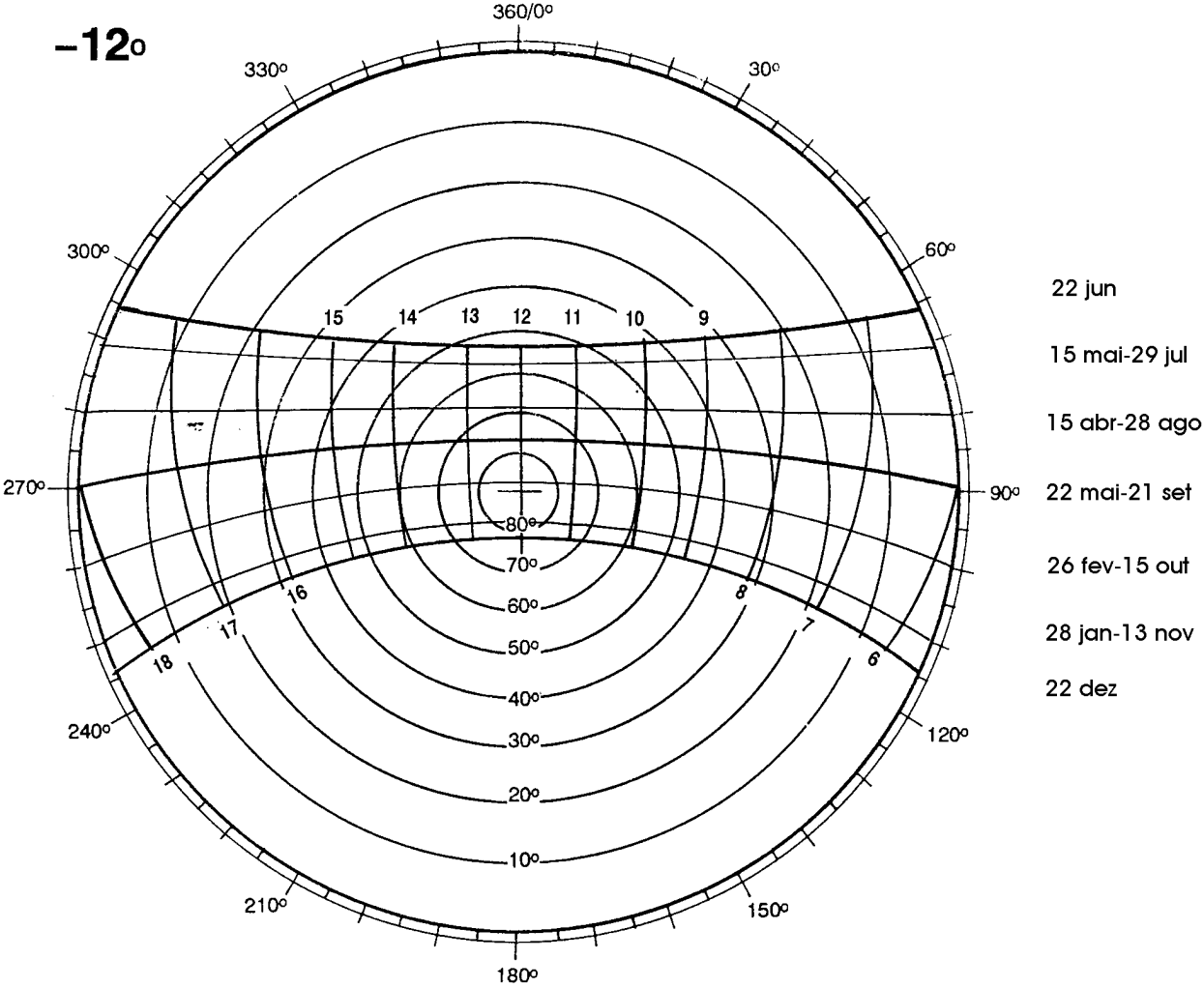
26 fev-15 out

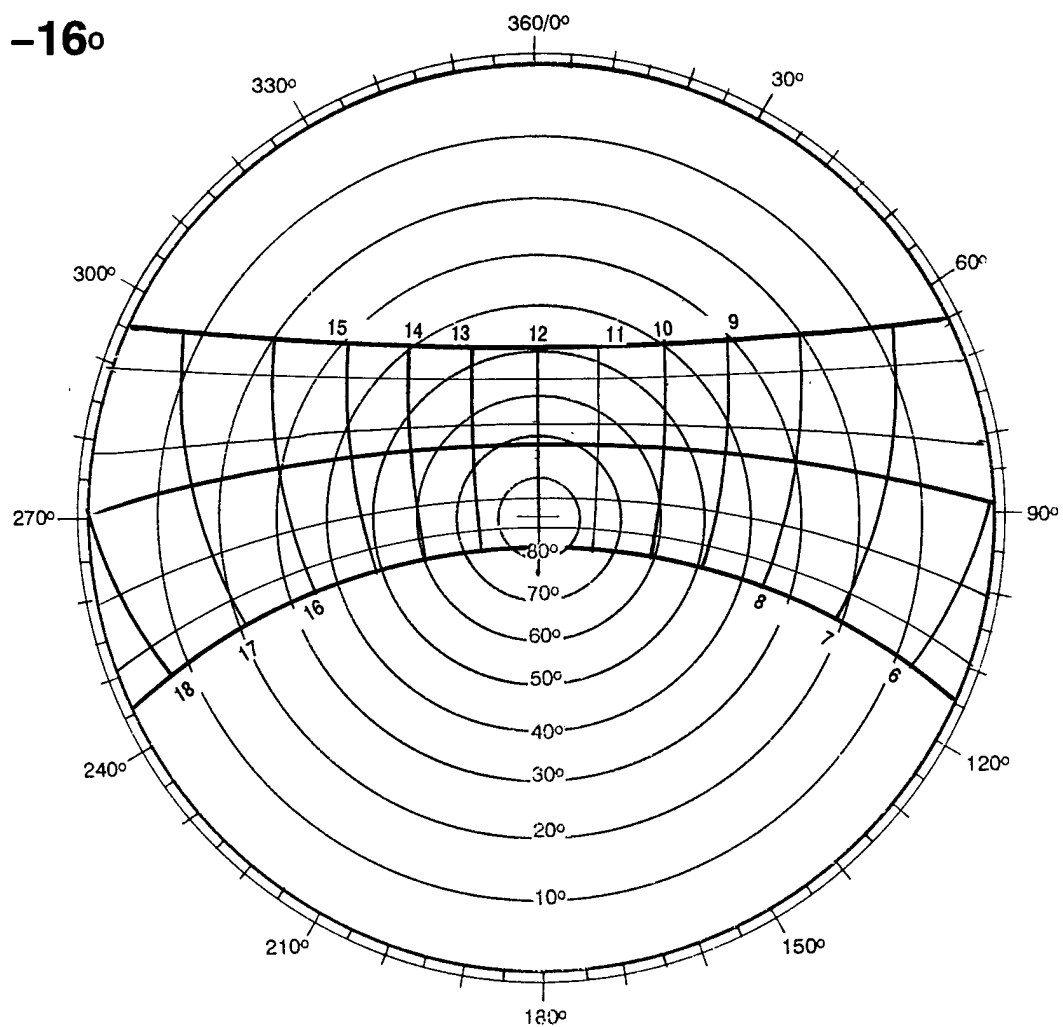
28 jan-13 nov

22 dez







-16°

22 jun

15 mai-29 jul

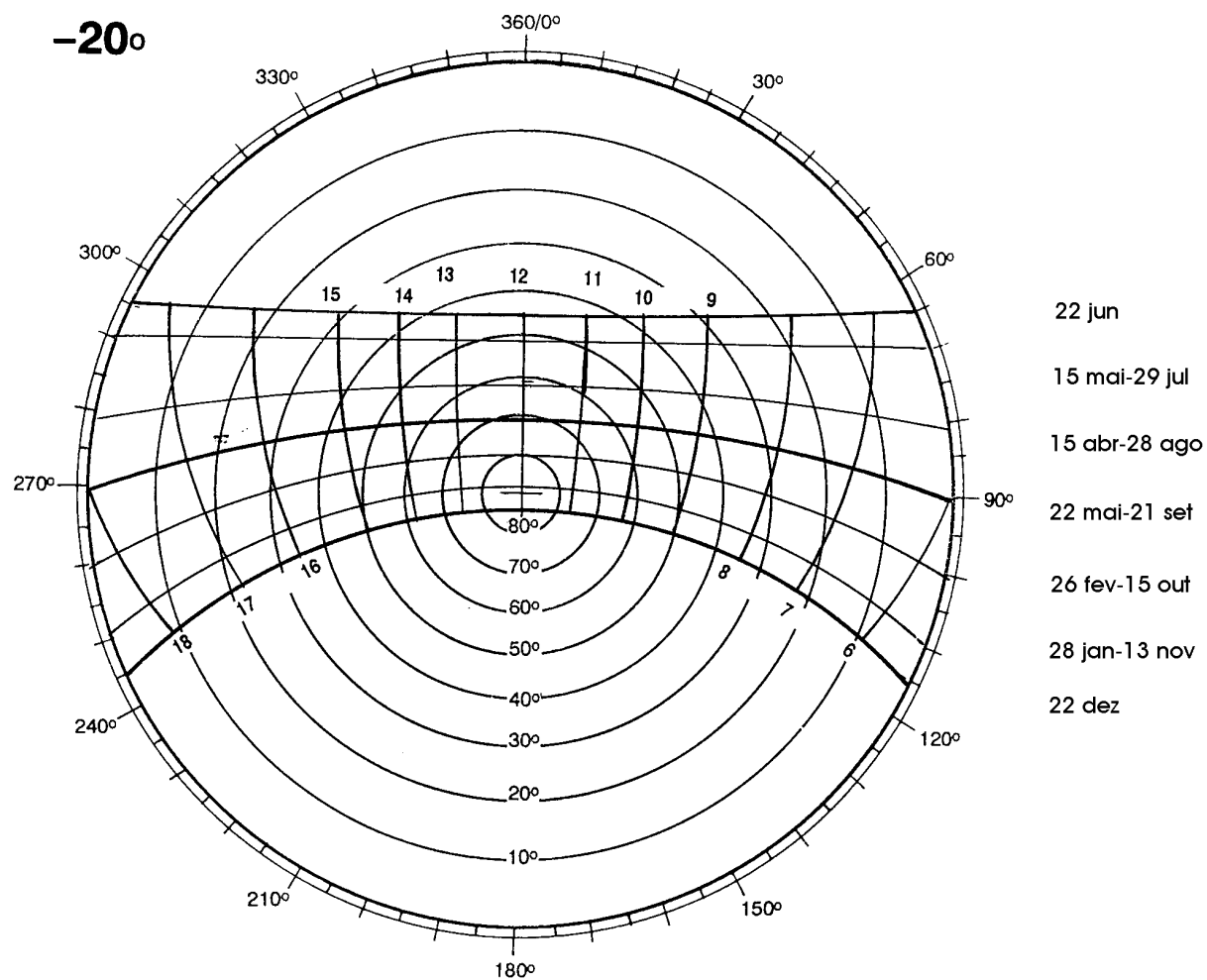
15 abr-28 ago

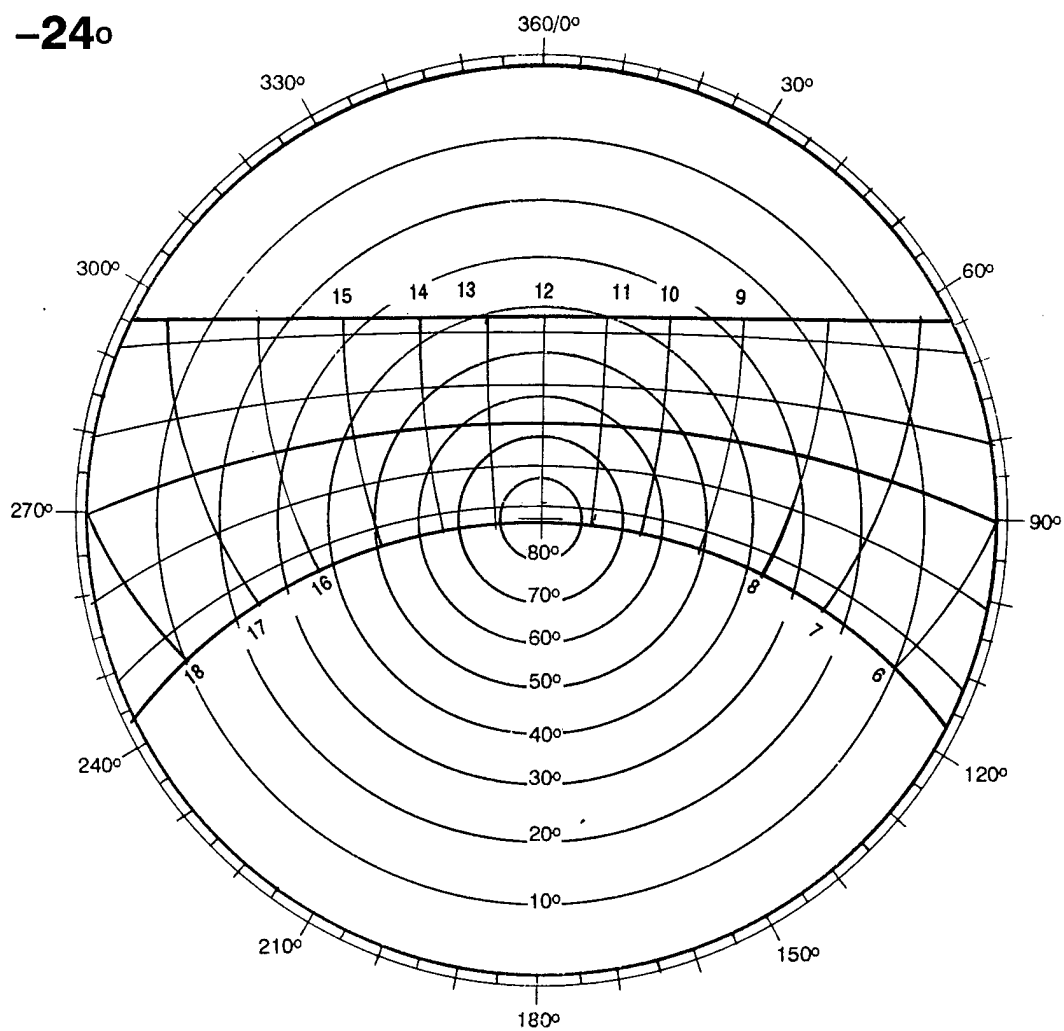
22 mai-21 set

26 fev-15 out

28 jan-13 nov

22 dez



-24°

22 jun

15 mai-29 jul

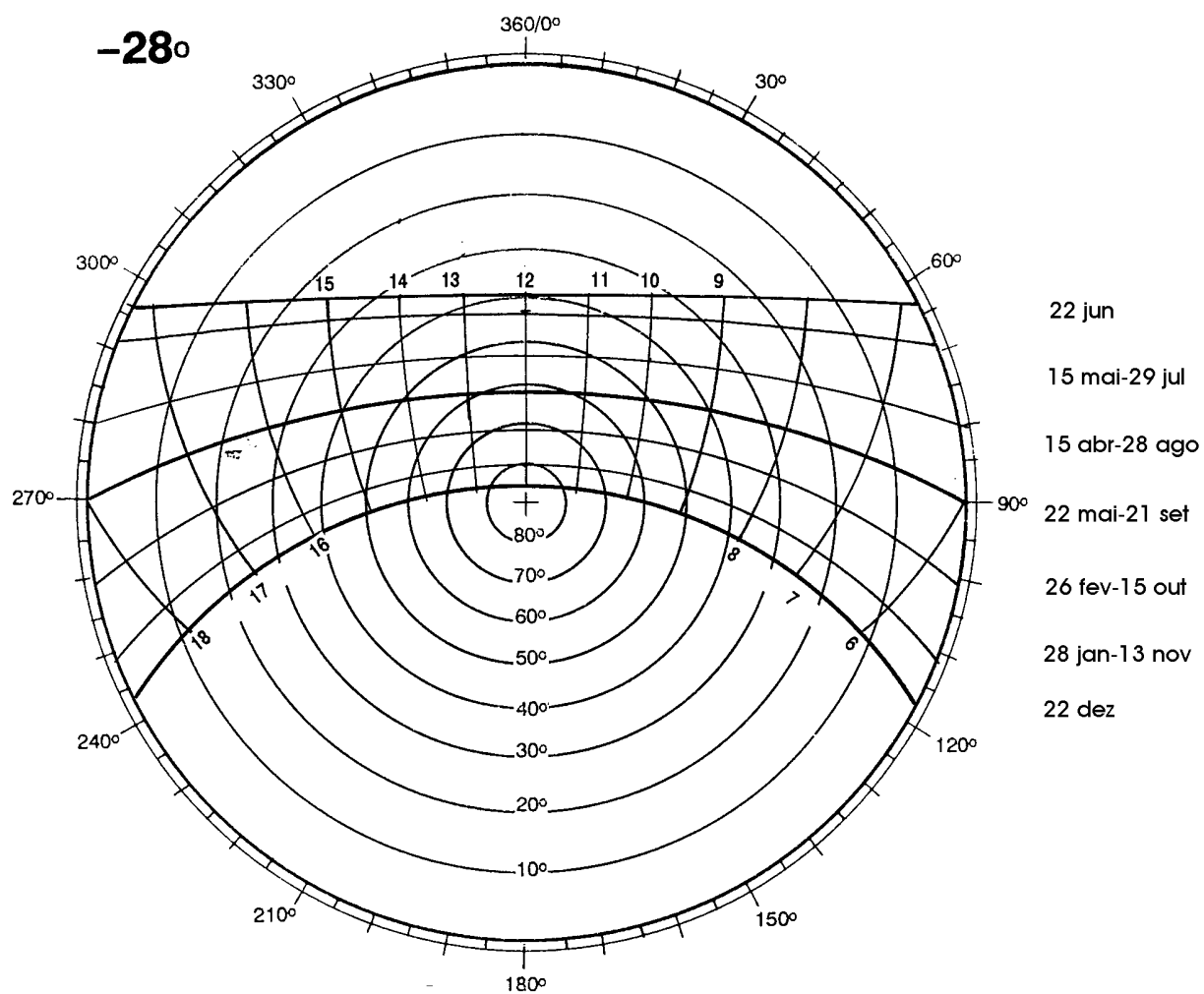
15 abr-28 ago

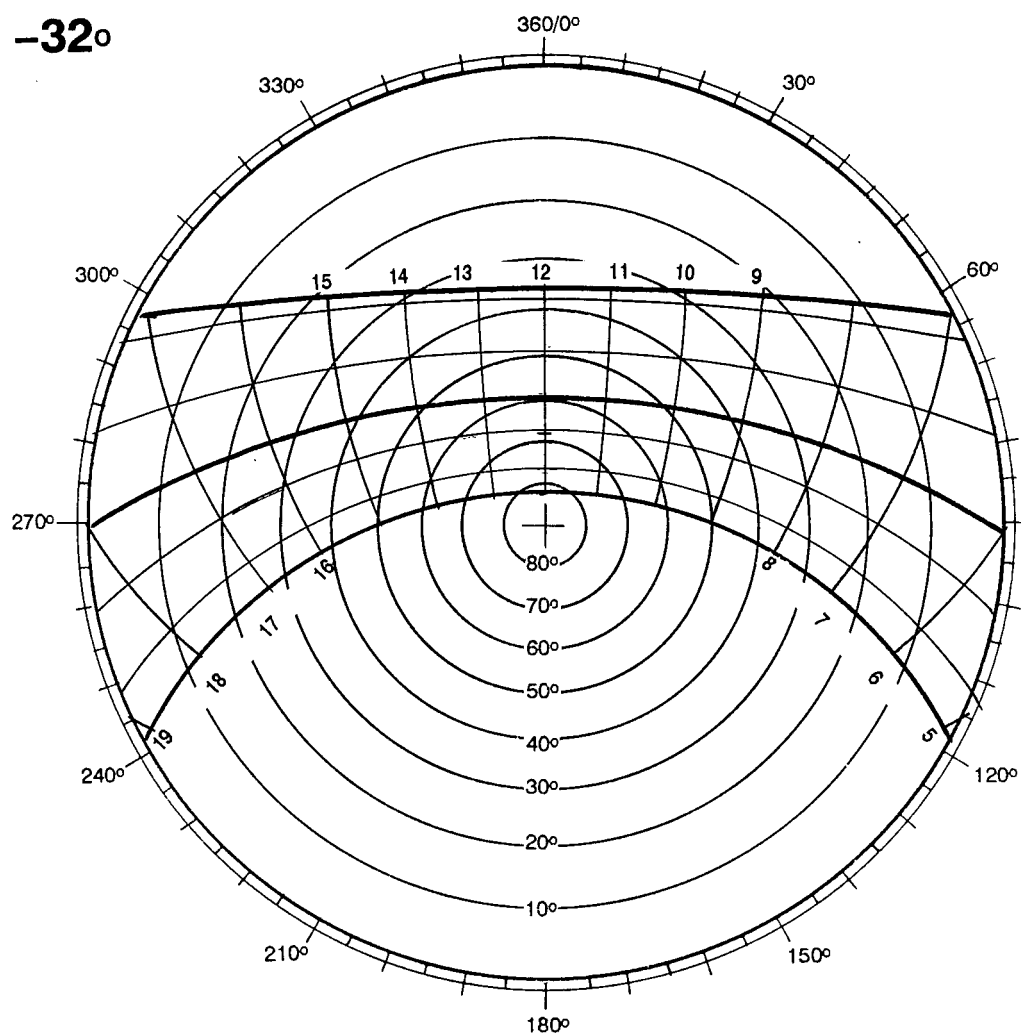
22 mai-21 set

26 fev-15 out

28 jan-13 nov

22 dez



-32°

22 jun

15 mai-29 jul

15 abr-28 ago

22 mai-21 set

26 fev-15 out

28 jan-13 nov

22 dez

