

* Cláudio Emanuel Pietrobon - Eng^o Civil - Departamento de
Engenharia Civil da
Universidade Estadual de
Maringá.

RESUMO:

Propõe-se um programa computacional, que representa graficamente as projeções da trajetória solar aparente na escala de tempo universal, segundo as seguintes projeções horizontais: ORTOGRÁFICA, ESTEREOGRÁFICA, EQUIDISTANTE, GNOMÔNICA E EQUIVALENTE; para uso na concepção de elementos arquitetônicos de controle/defesa contra a insolação e para iluminação natural. O programa computacional foi elaborado de forma estruturada em linguagem "C" e utilizou-se a biblioteca computacional CLBC da SOFTCAD, para utilização em micro-computador PC-XT e compatíveis.

ABSTRACT:

A computer program is proposed in which the apparent solar trajectory projections are graphically represented in the universal time scale, according to the following horizontal projections: ORTOGRAPHIC, STEREOGRAPHIC, EQUIDISTANT, GNOMONIC and EQUIVALENT; to use in the conception of architectural elements of the control/defense against insolation and natural lighting. The program was elaborated in structured form under "C" language and the graphical library CLBC from SOFTCAD was used, for application in the PC-XT and compatibles.

1. INTRODUÇÃO

Faz-se, inicialmente, neste trabalho uma fundamentação teórica acerca dos sistemas de referência de posição e de tempo, em termos astronômicos, visando mostrar a amplitude de enfoques no estudo da Astronomia de Posição para aplicação na insolação na Arquitetura.

Posteriormente, revisam-se os modos e as diferentes técnicas usadas para estudo da insolação na Arquitetura envolvendo métodos gráficos, instrumentais e computacionais. A seguir, estabelecem-se as premissas metodológicas usadas na concepção do "software" computacional proposto neste trabalho, bem como o teste e a validação das equações utilizadas na determinação das coordenadas de posição solar.

Finalmente, salienta-se a necessidade de uso da escala de Tempo Universal no estudo da insolação, devido ao fato de ser mais coerente com a escala temporal usada na medição de outros parâmetros bioclimáticos que coexistem com a insolação, para uso na Arquitetura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Fundamentação Teórica.

2.1.1. Elementos de Astronomia.

Os movimentos dos planetas do sistema solar, incluindo a Terra, são caracterizados por rotação e translação.

No movimento de translação, os planetas descrevem trajetórias elípticas, quase circular, em torno do Sol que ocupa um dos focos, comum a todas essas elipses, obedecendo às três leis de KEPLER.

2.1.1.1. Sistemas de referência de posição.

Para estudo da Astronomia de Posição há, usualmente quatro sistemas de coordenadas astronômicas: S. Horizontal Local, Equatorial Horário, Equatorial Celeste ou Uranográfico e Eclítico.

Para a representação gráfica da trajetória solar aparente, os dois primeiros sistemas de posição são os mais usados, necessitando em muitos casos, da conversão de coordenadas a partir das relações válidas para triângulos esféricos, ou de análise matricial para rotação de coordenadas.

2.1.1.2. Sistemas de referência de tempo.

GOME5(1962) explicita a correspondência entre os sistemas de referência do tempo, na medição dos elementos de clima e na definição da posição relativa do Sol em estudos de insolação.

Assim, os dados de registro meteorológicos referem-se às horas do meridiano de Greenwich, TMG (Tempo Médio de Greenwich) e os parâmetros geométricos da insolação referem-se à hora solar verdadeira, TSV (Tempo Solar Verdadeiro). O sistema TMG refere-se ao tempo civil local, ou tempo médio, no qual o dia tem a duração média correspondente à duas passagens sucessivas do Sol pelo mesmo meridiano, admitindo-se que o Sol desloca-se ao longo do Equador (Sol médio).

Já o sistema TSV, corresponde ao tempo solar, em que o dia equivale ao intervalo de tempo entre duas passagens sucessivas do Sol pelo mesmo meridiano, quando se desloca ao longo da eclíptica.

A diferença entre o sistema TSV e a hora civil local não é constante devido à segunda lei de KEPLER. Assim, ao ângulo horário do Sol verdadeiro,

chama-se TSV (Tempo Solar Verdadeiro) e ao ângulo horário do Sol médio denomina-se TSM (Tempo Solar Médio) .

Ao tempo médio contado a partir da passagem do Sol médio pelo meridiano inferior do lugar denomina-se TC (Tempo Civil) e o Tempo Civil do Meridiano de Greenwich é denominado de TU (Tempo Universal)

O Tempo Legal (TL): É o tempo universal corrigido da indicação horária do fuso da localidade.

Havendo a necessidade de se estabelecer a relação entre as escalas de TSV e TL, foram propostos métodos gráficos por OLGAY(1957) e por RIVERO (1985).

Para aplicações computacionais, utilizando-se do método de SPENCER(1971), VAN DEVENTER(1972) estabelece uma relação numérica, por séries de FOURIER, dos dados constantes de "The nautical almanac and astronomical ephemeris for the year 1959", denominada de ET-Equação do Tempo. LAMM (1981) constata variações anuais entre os dados dos almanaques náuticos, periodicamente a cada quatro anos.

BOURGES(1985), salienta que para a maioria das aplicações em Arquitetura, não há necessidade de grande precisão e propõe formas simplificadas para o cálculo da declinação solar e da Equação de Tempo.

Em cada trabalho aplicativo para o Brasil, FARHAT (1981) afirma que:

- i) Face à dimensão territorial do Brasil e do posicionamento dos quatro fusos horários, a diferença entre TSV e TI, pode alcançar até uma hora;
- ii) Para aplicações em geometria da insolação, os valores da Equação do Tempo(ET) com precisão de minutos são suficientes;
- iii) A variação anual nos valores de ET é da ordem de segundos, sendo desprezível para a finalidade acima referida.

Isto posto, justifica-se a necessidade de que os eventos da insolação sejam conhecidos nos instantes de ocorrência dos outros elementos de clima, ou seja, na escala de Tempo Universal.

2.2.Revisão Bibliográfica.

RIVERO(1985) classifica os diversos métodos para estudo da insolação, da seguinte maneira:

.Gráficos	.Geométricos
	.Não geométricos
	.Simulação de movimentos
Métodos .Instrumentais	.Fotográficos
	. Diretos
	.Numéricos
. Computacionais	.Compugráficos

Os métodos gráficos são os que representam graficamente a trajetória solar aparente sobre planos e nos métodos geométricos essas trajetórias se tra-

çam através de projeções cartográficas bem determinadas.

NEUFFERT(1944) utilizou-se do sistema de projeção ortográfica horizontal ou plana equidistante transversal e OLIVEIRA(1955) aplicou este tipo de projeção para as latitudes das capitais brasileiras. GRIFFINI(1950) aplicou o sistema de projeção cilíndrica para o estudo de insolação em edificações.

O sistema de projeção estereográfica ou plana conforme foi utilizado originalmente em 1945 por PLEIJL(Apud Hopkinson et alii, 1966) e foi aplicada às latitudes das capitais brasileiras por BARROS(1971).

O sistema de projeção estereográfica equidistante horizontal ou plana equidistante meridiana foi aplicado por OLGAY e OLGAY(1957) e no Brasil por FON SECA(1983). O sistema de projeção GNOMONICA foi utilizado inicialmente pelo "Centre Scientifique et Technique du Batiment" - CSTB(1961) e não se tem notícia de sua aplicação para localidades brasileiras.

O sistema de projeção plana equivalente ou equivalente horizontal é citado no trabalho de FONSECA (1983).

Os métodos gráficos não geométricos são sistemas de representação da trajetória solar aparente que obedecem a sistemas de referência arbitrários, fixados pelo autor do método.

No exterior, BURNETT (Apud, Aronín, 1953); BAKER E FUNARO (Apud, Aronin, 1953) e DOURGNON(1963) propõem alguns destes métodos e no Brasil COUTO(1961) e DOMINGUES(1972) também tratam a insolação por métodos gráficos não geométricos.

Os métodos instrumentais utilizam-se de aparatos para a simulação do movimento aparente do Sol, registro fotográfico ou análise de campo, diretamente, visando aplicações diversas em Arquitetura.

Para a visualização da incidência dos raios solares, através da utilização de modelo reduzido de edificação e com o auxílio de uma lâmpada simulando os raios solares, as primeiras tentativas surgiram em 1914 por MARKS e WOODWELL(Apud, OLGAY e OLGAY, 1957).

Em 1932 foi montado o primeiro "HELIODON" e no período de 1937 a 1957 tem-se notícia de dezoito aparatos construídos em Universidades Norte-Americanas e inglesas. No Brasil FARHAT(1986) desenvolveu um aparato denominado de Helioscópio, atualmente em uso da FAUUSP-Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo.

Além destes aparatos simuladores existem outros equipamentos que aliam-se à técnicas fotográficas associadas à gráficos de projeção geométrica: O Globoscópio de PLEIJL(1954) que associa-se à pr2 jeçes estereográficas e a câmera "Full Field" que alia-se à projeção equidistante desenvolvida por OLGAY e OLGAY(1957).

Há ainda os métodos diretos, utilizando-se os relógios de Sol dentre os quais destacam-se os aparatos desenvolvidos por PLEIJL(Apud, Aronín, 1953) e RIVERO(1985).

Mais modernamente, com o advento dos computadores digitais, o estudo da insolação, toma o rumo dos cálculos analíticos e métodos numéricos, em detrimento dos métodos gráficos. VAN DEVENTER (1972), propõe equações para determinar as coordenadas do Sol e WALRAVEN (1978) propõe um programa computacional para a mesma finalidade.

O segundo artigo gera uma polêmica quanto à precisão e é exaustivamente discutido por WALRAVEN (1979); ARCHER(1980); WILKINSON (1981, 1983, 1984); MUIR(1983); UILYAS(1983, 1984A, 1984B) e PASCOE (1984).

MICHALSKY(1988) propõe um novo programa encerrando a discussão. A WILD HEERBRUGG (1985) propôs programa computacional semelhante, com a diferença que trabalha na escala TSV-Tempo Solar Verdadeiro.

Na mesma época os autores JONES JR.(1980); SALEH (1982); BUDIN(1982); BRAUN e MITCHELL(1983);YANDA e JONES JR.(1983); SASSI(1983) e JOLLY(1986);preocupam-se com a modelagem matemática de projetos de elementos arquitetônicos de controle e proteção solar.

Outros autores como STEVENSON e SUCKLING (1984);SAT TLER, SHARPLES e PAGE(1987); COWAN(1980) aplicam a compugrafia no projeto bioclimático do edifício.

3. METODOLOGIA

3.1. Estratégias metodológicas.

A metodologia empregada é a de concepção de "Software" compugráfico aplicativo, de forma interativa, para elaboração de cartas da trajetória solar aparente, na escala de TU-Tempo Universal segundo as projeções cartográficas usuais:

- i) Ortográfica Horizontal ou Plana Equidistante transversal;
- ii) Equidistante Horizontal ou Plana Equidistante Meridiana;
- iii) Estereográfica Horizontal ou Plana Conforme;
- iv) Gnomônica Horizontal;
- v) Equivalente ou Plana Equivalente Horizontal.

Os programas computacionais elaborados foram executados de forma estruturada, em linguagem "C" e as equações básicas de posição solar de MICHALSKY (1988) foram validadas através dos parâmetros:

- i) declinação solar;
- ii) Equação do Tempo;

Segundo metodologia de ROY ET ALLI(1989) que testa onze equações empíricas dos parâmetros acima referidos com dados do ANUARIO ASTRONOMICO (1984,1985, 1986, 1987). Na elaboração dos programas compugráficos de trajetória solar aparente consideraram-se as seguintes hipóteses:

- i) As três leis de KEPLER;
- ii) Os raios solares são considerados paralelos;
- iii) Para cada latitude e longitude geográficas obtém-se um tipo de cada projeção cartográfica;
- iv) O sistema de referência de tempo, coerente mente com a ocorrência de outros elementos climatológicos, é TU-Tempo Universal.

São consideradas algumas hipóteses simplificadoras, que segundo HAYMAN(1989) não invalidam o estudo, para aplicações em Arquitetura:

- i) Não se considera a influência da altitude geográfica da localidade nos horários de ocorrência da Aurora e do ocaso;
- ii) Não se considera a influência da refração atmosférica nos valores das coordenadas do Sol.

3.2. Descrição sucinta dos programas computacionais elaborados.

3.2.1. Programas CDS - CALC e CDS - COMP.

Escritos em linguagem "C" para validação das Equações de MICRALSKY(1988) através dos dados do THE AS TRONOMIC ALMANAC (~987) segundo metodologia de ROY et alli(1989), sendo o tamanho do CDS-CALC:5285 bytes e do CDS-COMP 3270 bytes.

O programa CDS-CALC, gera valores de ET e declinação solar pelas equações acima referidas e o programas CDS-COMP compara, segundo metodologia referida, com os dados tabelados do ANUÁRIO ASTRONOMICO(1984, 1985, 1986, 1987).

As equações são:

$$ET = - 105.5 * \sin(L) + 587.5 * \sin(2*L) + 4.4 * \sin(3*L) - 12.7 * \sin(4*L) - 429.1 * \cos(L) - 2.1 * \cos(2*L) + 19.3 * \cos(3*L) \dots \dots \dots \text{Eq. 3.1}$$

Onde: L = Longitude da eclíptica;

ET= Equação do Tempo.

$$DEC = \text{asin} [\sin(E) * \sin(L)].$$

Onde: E = obliquidade da eclíptica; ... Eq. 3.2
DEC= declinação solar

3.2.2. Programas CDS-ENTR e CDS-PROJ.

Escritos em linguagem "C" para a entrada de dados e traçado das cartas solares tem o seguinte tamanho: CDS-ENTR - 9.442 bytes
CDS-PROJ - 11.381 bytes

O segundo programa tem como sub-programa o ELAZISOL que faz a transformação do sistema de coordenadas por rotação matricial e tem tamanho de 2.188 bytes e inclui diversas funções para o traçado das projeções. para cálculo e transformação de coordenadas, para a impressão de máscaras fixas e a função INIGRAF que inicializa o modo gráfico.

O programa CDS-PROJ utiliza-se das equações de MICHALSKY(1988).

4. RESULTADOS

4.1. Teste e validação das equações de declinação solar e Equação de Tempo.

Segundo metodologia de ROY et alii(1989) fez-se o teste e validação das equações de Equação do Tempo e Declinação Solar.

Estes autores compararam com dados do The Astronomical Almanac (1984, 1985, 1986, 1987) os valores de

onze equações empíricas para os parâmetros retro-mencionados da seguinte forma:

- i) Escolheram os dias 19, 82, 159 e 222 de todos os meses dos anos de 1984, 1985, 1986 e 1987;
- ii) Efetuaram a classificação do desempenho segundo o critério definido pela equação abaixo para cada um dos quatro anos considerados:

$$DDEC = \frac{\sum_{1}^{48} (DEC_{calc} - DEC_{tab})^2}{48} \text{ ----- Eq.4.1}$$

$$DEC = \frac{\sum_{1}^{48} (ET_{calc} - ET_{tab})^2}{48} \text{ ----- Eq. 4.2}$$

- iii) Sendo que o desempenho seria melhor quanto menor fosse o parâmetro médio de desvio.

0 teste das fórmulas de MICHALSKY (1989), obtidos pelos programas CDS-CALC e CDS-COMP foram:

Ano	1984	1985	1989	1987
EDEC	0.29×10^{-4}	0.06×10^{-4}	0.29×10^{-4}	$0,35 \times 10^{-4}$
DET	0,229167	0,270833	0,25000	0,270833

0 desempenho tanto da Equação do Tempo e da declinação solar adotados por MICHALSKY(1989) foram os melhores das onze equações testadas por ROY et alii (1989).

5.CONCLUSÕES

0 estudo da posição solar, implementado computacionalmente, é um ponto de partida para a elaboração de inúmeros "softwares" computográficos interativos e aplicativos dentro do escopo da Arquitetura Bioclimática, em especial no seu enfoque solar. Desta forma, salientam-se alguns avanços que este trabalho apresenta no estudo da geometria da insolação:

- i) 0 sub-programa ELAZISOL faz uso de análise matricial para rotação de coordenadas, um método de cálculo mais apropriado para uso computacional que a trigonometria esférica;
- ii) A utilização da escala de Tempo Universal é de grande importância, pois é mais coerente com a medição de outros elementos de clima necessários ao estudo bioclimático das edificações. Por outro lado, quando utilizada a escala temporal de TSV-Tempo Solar Verdadeiro, pode-se induzir a erros no dimensionamento de elementos de proteção solar, dadas às dimensões continentais do Brasil.
- iii) A escolha de equações testadas, segundo procedimento anterior, é uma forma de assegurar a qualidade e precisão dos dados utilizados nos programas elaborados, para uso em Arquitetura.

1

6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO ASTRONÓMICO. (1984): Instituto Astronômico e Geofísico. Universidade de São Paulo.

----- (1985): Instituto Astronômico e Geofísico. Universidade de São Paulo, São Paulo.

----- (1986): Instituto Astronômico e Geofísico. Universidade de São Paulo, São Paulo.

----- (1987): Instituto Astronômico e Geofísico. Universidade de São Paulo, São Paulo.

ARCHER, C.B. (1980): Comments on "Calculation the position of the sun". Solar Energy 25, 91.

ARONIN, J.E. (1953): Climate and Architecture. New York, Wiley. 435p.

BARROS, A.P. (1971): Método traçado de Cartas Solares e Transferidores: cartas solares para cidades brasileiras. Lisboa, LNEC. 52p.(Proc. n. 35/43).

BOURGESS, B. (1985): Improvement in solar declination computation. Solar Energy 35(4): 367-369.

BOUDIN, R.; BOUDIN, L. (1982): A Mathematical model for shading calculations. Solar Energy. 29(4): 339349.

BRAUN, J.E.; MITCHELL, J.C. (1983): Solar Geometry for fixed and tracking Surfaces. Solar Energy.31(5): 439-444.

COUTO, A.G.M. (1961): Geometria Descritiva e Insolação. Belo Horizonte. Escola de Arquitetura da Universidade de Minas Gerais. 87p. (Tese de Livre Docência) .

COWAN, H.J. (ed.) (1980): Solar Energy Applications in the Design, of Buildings'. London, Applied Science. 333p.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT. (1961): Diagrammes solaires. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. 52(414); 1-20.

DOMINGUES, F.A.A. (1972): Diagramas de Luz e Sombra. Sao Paulo, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. 60p.

DOURGNON, J. (1966): Determination de L'Azimut et de l'hauteur du Soleil. Cahiers du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment. 79(683): 1-3.

FARAH, F. (1981): Correlação entre o horário solar verdadeiro e o horário legal no Brasil. São Paulo, IPT. 36p. (Relatório IPT n.16.766).

FONSECA, M.R. (1983): Desenho Solar. São Paulo, Projeto. 47p.

GOMES, R.J. (1962): Condicionamentos climáticos da envolvente dos edifícios para a habitação: ensaio de aplicação ao caso da região de Lisboa. v.1, Lisboa, LNEC. 161p. (Memória n. 181).

GRIFFINI, E.A. (1950): Construcción Racional de la casa. 19 parte, Barcelona, Gilli,. 32p.

HAYMAN, S. (1989): Limits of accuracy of graphical solar access and shadow studies. Architectural Science Review 32: 15-20.

- OLIVEIRA, H.G. de (1955): O Sol nos Edifícios. Rio de Janeiro, Cia Editora e Comercial. F. Lemos. 1ª ed. 64p.
- PASCOE, D.J.B. (1984): Comments on "Solar position programs - refraction, sidereal time and sunrise/sunset". Solar Energy 34, 205-206.
- PLEIJL, G. (1954): The computation of Natural Radiation in Architecture and Town Planning. Meddeland, Statens Namnd for Byggnadsforskning. 92p.
- HOPKINSON, R.G.; PETHERBRIDGE, P.; LONGMORE, J. (1966): Iluminação natural. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 776p.
- ILYAS, M. (1983): Solar position programs: refraction -sidereal time and sunset/sunrise, Solar Energy 31, 437-428.
- (1984a): Reply to comments by Dr.J. B. Pascoe. Solar Energy 34, 206.
- (1984b): Reply to B.J. Wilkinson's letter on Solar Energy programs: refraction - sidereal time and sunset/sunrise. Solar Energy 33, 383.
- JOLLY, P.G. (1986): Derivation of Solar Angles using Vector Algebra. Solar Energy 37(6): 429-430.
- JONES JR, R.E. (1980): Effects of Overhang shading of Windows having Arbitrary Azimuth. Solar Energy 24, 305-312.
- LAMM, L.O. (1981): A new analytic expression for the equation of time. Solar Energy 26, 465.
- MICHALSKY, J.J. (1988): The Astronomical Almanac's Algorithm for Approximate Solar Position(1950-2050). Solar Energy 40(3): 227-235.
- MUIR, L.R. (1983): Comments on "The effect of Atmospheric Refraction in the solar azimuth".Solar Energy 30, 295.
- OLGYAY, V.; OLGAY, A. (1957): Solar Control & Shading Devices. Princeton, University Press. 201p.
- RIVERO, R. (1985): Arquitetura e Clima: condicionamento térmico natural. Porto Alegre, Editora da Universidade / UFRGS. 240p.
- ROY, G.G; RODRIGO, M.; KING, W.K. (1989): A note on solar declination and the Equation of Time. Architectural Science Review 32:43-51.
- SALEH, A.M. (1982): The Shadow Template: a new method of design of sunshading devices. Solar Energy 28: 239-256.
- SASSI, G. (1983): Some note on shadow and blockage effects. Solar Energy 31(3): 331-333.
- SATTLER, M.A; SHARPLES, S.; PAGE, J.K. (1987): The Geometry of the shading of Buildings by various tree shapes. Solar Energy 38(3): 187-201.
- STEVENSON, C.L.; SUCKLING, P.W. (1984): A computer algorithm for calculating shadow amounts on flat urban rooftops. Solar Energy 32(1): 145-147.
- THE ASTRONOMICAL ALMANAC (1987): 1987 Edition. U. S.Gov't. Printing office. Washington. DC.
- VAN DEVENTER, E.N. (1972): Ensoleillement et ombre dans Vetablissement des projects. Bâtiment Build Internacional 4, 216-219 (CSTB Cahier 1135).
- YANDA, R.F.; JONES JR, R.E. (1983): Shading effects of finite width overhang on windows facing toward the Equator. Solar Energy 30(2): 171-180.
- WALRAVEN, R. (1978): Calculating the position of the sun. Solar Energy 29, 293-397.
- (1979): Erratum. Solar Energy 22,195.
- WILD HEERBRUGG (1985): Sun Azimuth. Heerbrugg,Wild. 42p. (Profis n. 12).
- WILKINSON, B.J. (1981): An improved FORTRAN program for the rapid calculation of the solar position.Solar Energy 27, 67-68.
- (1983): The effect of atmospheric refraction on the solar azimuth. Solar Energy 39, 295.
- (1984): Re: "Solar position programs: Refraction - sidereal time and sunset/sunrise". Solar Energy 33, 383.