



ISSN 1518-4277

Dezembro, 2006

*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro Nacional de Pesquisa de Milho e Sorgo
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Documentos 58

Radiação Solar em Sete Lagoas, MG

Williams Pinto Marques Ferreira

Sete Lagoas, MG
2006

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Milho e Sorgo

Rod. MG 424 Km 45
Caixa Postal 151
CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG
Fone:(31) 3779 1000
Fax: (31) 3779 1088
Home page: www.cnpms.embrapa.br
E-mail: sac@cnpms.embrapa.br

Comitê de Publicações da Unidade

Presidente: Antônio Álvaro Corsetti Purcino
Secretária-Executiva: Cláudia Teixeira Guimarães
Membros: Camilo de Lélis Teixeira de Andrade, Carlos Roberto Casela, Flávia França Teixeira, José Hamilton Ramalho e Jurandir Vieira Magalhães

Revisor de texto: Clenio Araujo
Normalização bibliográfica: Maria Tereza Rocha Ferreira
Edição eletrônica: Dilermando Lúcio de Oliveira

1ª edição

1ª impressão (2006): 200 exemplares

Todos os direitos reservados.

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Ferreira, Williams Pinto Marques
Radiação solar em Sete Lagoas. Williams Pinto
Marques Ferreira - Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2006.
21 p. 21 cm. - (Documentos / Embrapa Milho e Sorgo,
ISSN 1518-4277, 58).

1. Radiação Solar - Minas Gerais - Sete Lagoas. I.
Embrapa Milho e Sorgo II. Título. III. Série.

Autor

Williams Pinto Marques Ferreira

Meteorologista, Doutor. Embrapa Milho e Sorgo. Caixa
Postal 151. CEP 35701-970 Sete Lagoas, MG

Sumário

Introdução	7
Material e Métodos	12
Resultados e Discussão	14
Conclusões	20
Referências Bibliográficas	21

Radiação Solar em Sete Lagoas, MG

Williams Pinto Marques Ferreira

Introdução

O sol é a principal fonte de energia para o nosso planeta, pois fornece 99,97% da energia presente na biosfera. A atmosfera, sendo componente desse sistema, comporta-se como uma máquina térmica em equilíbrio radiante, irradiando a mesma quantidade de energia que absorve do sol. Esse comportamento possibilita que a temperatura média do planeta permaneça em torno de 15°C.

Em função da órbita elíptica da Terra, a insolação varia ao longo do ano. Seu valor médio é de 1.367 W.m², chamado de constante solar, que pode ser definida como a irradiância sobre uma superfície normal aos raios solares, à distância média da Terra-sol, na ausência de atmosfera (Vainello, 1991). A constante solar pode variar entre 1 e 2%. Embora seja pequena essa variação, ela está associada às mudanças climáticas que ocorrem ao longo de milhões de anos no nosso planeta e se devem principalmente às variações das atividades solares.

A atmosfera terrestre, segundo Varejão-Silva (2005), é considerada um sistema termodinâmico, com variações temporais e espaciais nos parâmetros que a compõem (temperatura, pressão, umidade etc.).

Esse meio depende diretamente das variações da sua fonte de energia, no caso, o sol, e participa diretamente no balanço de energia terrestre, absorvendo, refletindo e emitindo a energia solar recebida durante o dia (Pereira et al., 2002).

O sol comporta-se como um corpo negro ideal, ou seja, um corpo hipotético, que não reflete qualquer radiação, mas absorve toda a radiação incidente sobre ele (Planck, 1924). Considera-se, então, que a radiação por ele emitida depende diretamente da sua temperatura. Logo, a energia da luz emitida por um corpo depende do seu comprimento de onda. Pode-se dizer, então, que para alta energia ocorre um pequeno comprimento de onda e vice-versa. Dessa forma, o fluxo constante da radiação solar de ondas curtas espalha-a através do espaço com uma simetria radial.

A Terra, após receber a radiação solar de ondas curtas, se aquece e irradia em ondas longas, devido ao fato de sua temperatura ser muito inferior à do sol (Jesus e Cury Lunardi, 1997).

A radiação terrestre emitida no comprimento de onda infravermelho (ondas longas) é mais percebida na forma de calor do que de luz. Essa energia na forma de calor é que aquece a superfície terrestre e a atmosfera e cria diferença de pressão nesses sistemas, originando o movimento do ar e do vapor d'água, proporcionando a troca de energia entre eles.

Ao atravessar a atmosfera terrestre, a radiação solar é atenuada pelos processos de espalhamento e de absorção. O espalhamento atmosférico da radiação solar é função do comprimento de onda, porém a absorção é seletiva e depende dos gases que compõem a atmosfera.

Entre os gases participantes nesse processo, destaca-se o vapor d'água e o gás carbônico, que absorvem em grande parte a radiação terrestre, embora absorvam pequena parte de ondas curtas também. A radiação absorvida por eles é normalmente emitida de volta em direção à superfície terrestre. Assim, o balanço de energia na atmosfera assegura o aquecimento terrestre,

mantendo a temperatura média do planeta e permitindo a existência de vida nas formas que hoje são conhecidas.

Esse balanço de energia no sistema Terra-atmosfera é a contabilização líquida entre toda a energia radiante recebida e a perdida no sistema. A atmosfera absorve aproximadamente 69% da energia solar incidente e reflete 31% de volta para o espaço. Considerando-se o total de energia solar incidente no sistema como 100 unidades, pode-se dizer que o balanço energético terrestre é positivo, pois, das 45 unidades absorvidas pela superfície terrestre, quatro são refletidas para o espaço. A atmosfera, por sua vez, apresenta balanço negativo, pois absorve 24 unidades e reflete 27 para o espaço. Deve-se, entretanto, lembrar que, além de absorção e da reflexão, existem outros processos não-radiantes de troca de energia envolvidos, como os fluxos de calor latente e sensível.

Em resumo, pode-se dizer que, no balanço energético global, a superfície da Terra é a fonte que irradia o calor que aquece a troposfera (baixa atmosfera), influenciando diretamente o clima de um determinado local. As flutuações na quantidade de energia solar e a variação da órbita terrestre são fatores externos que afetam o clima. Outros fatores considerados internos também contribuem para a variação climática.

Em escala regional, os fatores que mais destacam-se são a latitude, as estações do ano, a rotação da Terra e a continentalidade (Ferreira e Souza, 1998). A latitude influencia principalmente na temperatura de um local, sendo que a variação de redução ocorre sempre quando se desloca do Equador em direção aos pólos, ou seja, quanto maior a latitude, menor a temperatura.

Tal fato ocorre devido à variação de energia recebida nas diferentes latitudes ao longo do ano. Isso pode ser verificado a partir da elevação ou da altura do sol (definida pelo ângulo formado entre os raios solares e uma tangente que define o plano horizonte local, que é a superfície no ponto onde se encontra o observador ou, ainda, o plano que a vista de uma pessoa alcança quando

gira 360° em torno de si) e o azimute: “ângulo formado entre a projeção do raio vetor do astro (que é o prolongamento do raio terrestre que passa pelo local onde se encontra o observador até que ele atinja o centro do astro localizado na esfera celeste) no plano do horizonte local e a linha norte sul”. A origem da contagem do azimute pode ser tanto do ponto cardeal norte quanto no sul.

Em resumo, quanto mais perpendiculares são os raios à superfície do observador, mais intensos se apresentam. Logo, sobre a linha do Equador, na latitude zero, onde os raios são totalmente perpendiculares (maior altura solar), a insolação é máxima. Nos pólos, por outro lado, os raios incidem mais paralelos ao plano horizonte local; ocorre, então, a insolação mínima .

O fator “estação do ano” influencia na energia recebida em um determinado local devido ao fato de o movimento da Terra em torno do sol descrever uma órbita elíptica. Tal fato provoca uma variação na distância Terra-sol ao longo do ano, ou seja, em determinado período do ano, conhecido como solstício de verão do hemisfério sul, a Terra encontra-se mais próxima do Sol (periélio) e, portanto, maior será a insolação. Em outro período, quando a Terra encontra-se mais distante do sol, no solstício de inverno do hemisfério sul (afélio), menor será a insolação. Isso significa que o hemisfério que estiver voltado para o sol (verão) apresentará dias mais longos, representados agora pelo fator “rotação da Terra” influenciando na energia recebida ao longo do dia.

Outro fator que também influencia a absorção de calor na superfície do planeta é a continentalidade, que diz respeito à distribuição desigual entre as terras emersas e o volume de água dos oceanos nos diferentes hemisférios. A diferença no aquecimento entre os diferentes meios, terrestre e aquático, ocorre devido à capacidade térmica diferente entre o solo e a água. A água tem alta e o solo tem baixa capacidade térmica, o que significa que a água necessita de maior quantidade de calor em relação ao solo para elevar sua temperatura.

Pode-se afirmar, portanto, que a água e o solo apresentam diferente calor específico, que é o mesmo conceito de capacidade térmica, apenas aplicado quando se trata da massa unitária de um corpo. Ou seja, a água apresenta maior calor específico do que o solo; logo, irá aquecer-se mais lentamente e também se resfriará mais lentamente. Ainda nesse aspecto, a cor da superfície, quer seja água ou solo, também irá influenciar no seu aquecimento.

Tal fato é conhecido como “albedo da superfície”, que nada mais é do que a capacidade que as diferentes superfícies apresentam de refletir a luz solar nelas incidentes. Logo, áreas de cores mais claras têm maior albedo, ou seja, refletem mais a radiação solar; logo, absorvem menos. As áreas de superfícies mais escuras apresentam menor albedo; logo, absorvem maior quantidade de radiação solar.

Do total de radiação interceptada pela Terra, somente uma pequena parte é absorvida pelas plantas. Essa parte ou faixa de radiação do espectro solar é que ativa o processo de fotossíntese das plantas e é denominado radiação fotossinteticamente ativa (PAR), correspondente à radiação de comprimentos de onda entre 0,4 e 0,7 μm .

Essa porção de energia segue por toda a biosfera por meio, inicialmente, dos vegetais; em seguida, pelos animais e pelo ambiente em que eles estão inseridos.

Isso acontece porque a energia química, em princípio, é armazenada nas plantas, em sua maioria, como hidrocarbonetos; em segundo plano, é absorvida pelos herbívoros; seguindo a cadeia alimentar, é absorvida pelos carnívoros; e, posteriormente, pelos humanos, que são onívoros.

O conhecimento da radiação fotossinteticamente ativa é útil em diferentes aplicações na área agrônômica e no desenvolvimento de modelos agrometeorológicos para produtividade de culturas, em que o conhecimento da variação dessa radiação contribui para a otimização do sistema de produção.

Sendo a radiação solar de grande importância principalmente para a agricultura, o objetivo deste trabalho foi realizar um estudo de variação da radiação solar em Sete Lagoas, MG.

Material e Métodos

Os dados utilizados no presente trabalho foram coletados entre maio de 1926 e outubro de 2006 na estação meteorológica instalada a 19°28' S, 44°15' W e altitude de 732 m, na Embrapa Milho e Sorgo, no município de Sete Lagoas, MG.

A insolação incidente na superfície terrestre (n) foi obtida por meio de um heliógrafo de bola "Negretti-Zambra":

Foi registrada a duração do brilho solar, em horas, na estação de Sete Lagoas. A distribuição de frequência do brilho solar, ao longo dos 80 anos de dados, foi realizada de acordo com Assis (1996).

Os dados foram tratados para evitar possíveis falhas na série de insolação. Posteriormente, os dados foram organizados no software Microsoft Office Excel 2003, no qual foram utilizadas as funções matemáticas, trigonométricas, lógica e de classificação, como filtro e subtotais de dados, para obtenção dos resultados.

Para efeito de análise dos dados, considerou-se como verão os meses de janeiro, fevereiro e março.

A média mensal de insolação diária (n diário) foi obtida a partir do cálculo dos valores médios diários de insolação, registrados ao longo de 80 anos, para cada dia do ano. Posteriormente, foi calculado, com base nesses valores, o valor médio mensal diário de insolação durante o ano.

A insolação média mensal (n mensal), que representa o total mensal de insolação, foi obtida a partir do somatório dos valores médios diários de insolação.

Os valores máximos (máx) e mínimos (mín) de insolação da “insolação média mensal (n mensal)” foram obtidos calculando-se inicialmente os valores médios mensais de insolação (n) para cada ano ao longo dos 80 anos de dados. Posteriormente, foram estimados, além dos valores médios mensais, também os valores máximos e mínimos das médias calculadas anteriormente para cada mês de cada ano durante os 80 anos.

A média mensal do máximo possível de insolação durante o dia foi obtida a partir do somatório dos valores da duração astronômica do dia (N) para cada mês do ano.

A radiação fotossinteticamente ativa foi estimada como 50% da irradiância solar global que chega à superfície (Ferreira et al., 1997).

A radiação solar global ao nível do solo foi estimada a partir da equação empírica proposta por Angström e modificada por Prèscott (Vianello, 1991).

$$R_g = R_o (a + bn / N) \quad (1)$$

em que:

R_g = irradiância solar global diária sobre uma superfície horizontal ao nível do solo, em $J.m^2$,

R_o = irradiância solar global diária no “topo da atmosfera”, em $J.m^2$,

a, b = coeficientes empíricos, obtidos por análise de regressão linear, para a localidade,

n = duração do brilho solar observado, em horas,

N = duração astronômica do período diurno, em horas.

A razão de insolação (r) é estimada com base na duração do brilho solar observado e na duração astronômica do dia, ou seja:

$$r = n / N \quad (2)$$

A razão de insolação foi inicialmente calculada para cada dia do ano durante os 80 anos e, posteriormente, foi calculado o seu valor médio mensal.

Resultados e Discussão

Na Figura 1, podem ser visualizadas a insolação média mensal (n mensal), o máximo possível de insolação (N mensal) e as médias mensais de insolação registradas diariamente em cada mês do ano (n diário).

Observou-se que, em média, o número de horas de insolação registrado (n) foi 63,7% do máximo possível (N). O maior percentual em relação à duração astronômica do dia foi alcançado no mês de julho, 81,4 %, no inverno, e o menor no mês de dezembro, 42,8 %, no verão. Verifica-se, na Figura 1, que há um crescimento no valor de “ n ” a partir de janeiro, seguindo até agosto, a partir do qual há um decréscimo.

Pode-se definir, também com base na Figura 1, que em agosto verifica-se que ocorre o maior número de horas de brilho solar por dia na região de Sete Lagoas. Deve-se destacar que, embora no verão os dias sejam mais longos (N), é no período do inverno que ocorrem os maiores valores de insolação. Nos meses de junho a agosto, há menor cobertura de nuvens, principalmente devido à entrada de frentes frias, que possibilitam a permanência de grandes massas de ar frio e seco por período mais prolongado.

Na Figura 2, podem ser visualizadas a evolução da radiação global incidente no “topo da atmosfera” (R_o) e a radiação global ao nível do solo (R_g). Nela, percebe-se claramente o efeito da atenuação que a radiação solar sofre ao atravessar a atmosfera, em que ocorre principalmente o espalhamento e a absorção do total incidente.

Observa-se que o maior percentual de atenuação ocorre no verão, podendo chegar até a 55,6 %, devido, principalmente, à presença de nuvens, em que a maior incidência de vapor d’água e aerossóis presentes na atmosfera é o principal agente redutor da radiação incidente na superfície, enquanto os menores valores ocorrem no inverno, em que a redução pode chegar até a 36,8% do total incidente no “topo da atmosfera”.

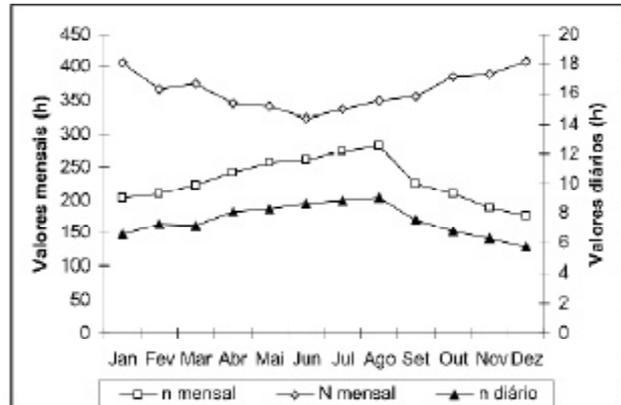


Figura 1. Média do “máximo possível de insolação” ou “duração astronômica do dia” (N mensal), médias mensais de insolação registradas (n mensal) e as médias mensais de insolação diária (n diário).

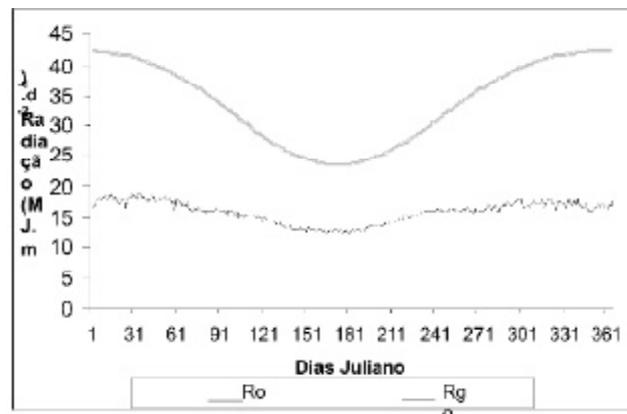


Figura 2. Radiação global incidente no topo da atmosfera (Ro) e radiação global ao nível da superfície do solo (Rg).

Para a agricultura, a informação do total de radiação incidente na superfície é de grande importância, pois somente parte da radiação solar incidente nas plantas é por elas utilizada no processo de fotossíntese. Essa parte é denominada radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

Na Figura 3, podem ser visualizados os valores diários de RFA possíveis ao longo do ano, sendo os maiores valores disponíveis para as plantas no verão e os menores no inverno, podendo essa diferença chegar até a 35,2%.

Na Figura 4, podem ser visualizados os valores máximos e mínimos absolutos possíveis, registrados da “média mensal de insolação (n mensal)”, para cada mês ao longo do ano. Ainda pode-se observar a própria média mensal de insolação (n mensal) e seu erro padrão.

Nessa figura, observa-se que, embora o valor médio não apresente grande diferença entre o menor e o maior valor anual, durante os meses de verão ocorrem as maiores variações na insolação, podendo ocorrer dias nublados, em que a insolação chega até a valores inferiores a duas horas diárias, e dias com até dez horas diárias, em média, no mesmo mês.

Na Figura 5a, pode ser visualizada a frequência relativa de ocorrência da média mensal de brilho solar, no verão, em Sete Lagoas.

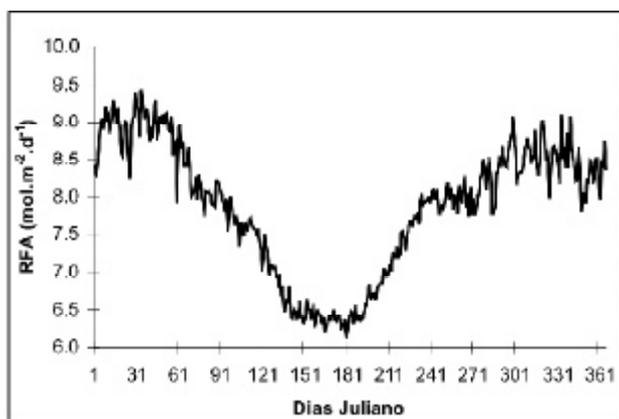


Figura 3. Valores diários de radiação fotossinteticamente ativa ao longo do ano, em Sete Lagoas.

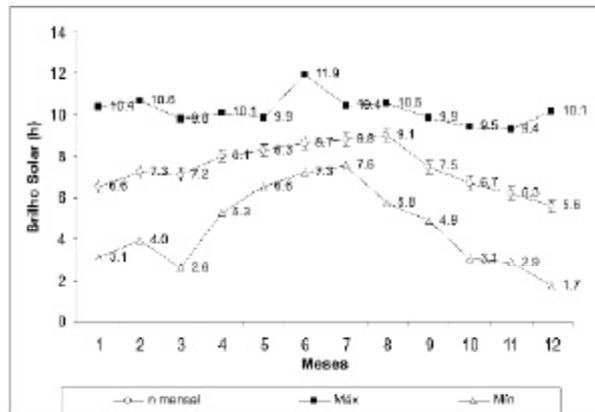


Figura 4. Valores médios, médios máximos e mínimos de insolação média em Sete Lagoas.

Observa-se que, embora o maior valor percentual esteja entre 10 e 12 horas, há grande distribuição de ocorrências de uma até dez horas. Tal comportamento pode estar associado à maior presença de nuvens nesse período, devido à maior ocorrência mensal de chuva no ano.

No inverno (Figura 5b), observa-se que a maior ocorrência de insolação se dá com maior freqüência na faixa de 9 a 11 horas. Isso ocorre devido ao fato de que, no período do inverno, verifica-se maior freqüência de ocorrência de “pequenas chuvas”, com nuvens com pouco volume de vapor d’água, permanecendo o céu mais limpo por maior período.

Na Figura 5c, pode ser visualizada a freqüência de ocorrência da média mensal de brilho solar, no outono, em Sete Lagoas.

Embora com distribuição semelhante à da estação do inverno, no outono os valores de insolação entre uma e dez horas são um pouco superiores.

Todavia, na faixa em que se encontra o maior percentual, 10 a 12 horas, no outono os valores são menores do que no inverno. A presença de nuvens, como explicado anteriormente, também é a principal responsável pela

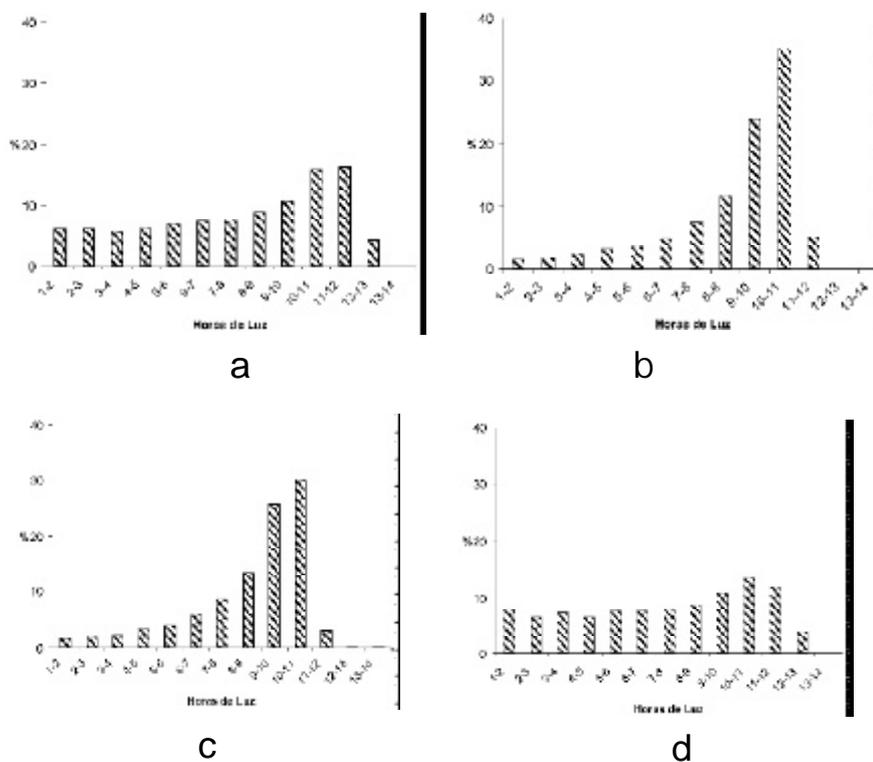


Figura 5. Frequência de ocorrência média de brilho solar, em horas, no verão (a), no inverno (b), no outono (c) e na primavera (d).

distribuição de frequência da insolação nessa estação, sendo que, no outono, estação de transição entre o verão e o inverno, a presença de nuvens é um pouco superior à do inverno.

Na Figura 5d, pode ser visualizada a frequência de ocorrência da média mensal de brilho solar, na primavera, em Sete Lagoas.

Nessa estação, a distribuição se assemelha à da estação do verão, porém com valores superiores também na faixa de uma a dez horas, sendo que, na faixa de distribuição entre 10 e 12 horas, os valores são inferiores aos do verão devido à menor presença de nuvens.

Na Figura 6, pode ser visualizada a freqüência de ocorrência de insolação total, em Sete Lagoas, nos últimos 80 anos.

É possível, a partir desse gráfico, identificar que a maior ocorrência de insolação é de 11 horas. Observa-se, também, que a quarta maior distribuição de insolação é de valores próximos a uma hora, indicando que ocorre grande número de dias nublados em Sete Lagoas ao longo do ano.

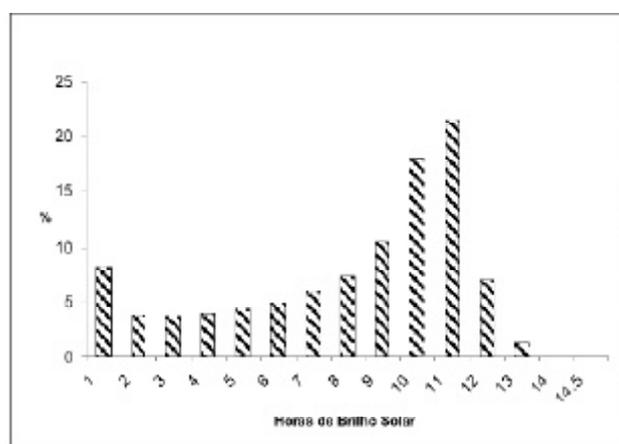


Figura 6. Freqüência de insolação em Sete Lagoas, ao longo de 80 anos de dados registrados.

Na Figura 7, pode ser visualizada a razão de insolação para Sete Lagoas.

A razão de insolação é influenciada diretamente pelo percentual de nuvens presentes na abóbada celeste. O tipo de nebulosidade também influencia esse índice, pois os maiores valores que ocorreram no inverno estão associados a grandes camadas de nuvens cirriformes e de convecção pouco profunda.

No verão, em que se encontram os menores valores da razão de insolação, a presença de nebulosidade formada por nuvens cumuliformes, como os Cb's, que são multicamadas, é a maior responsável pelos valores de "r".

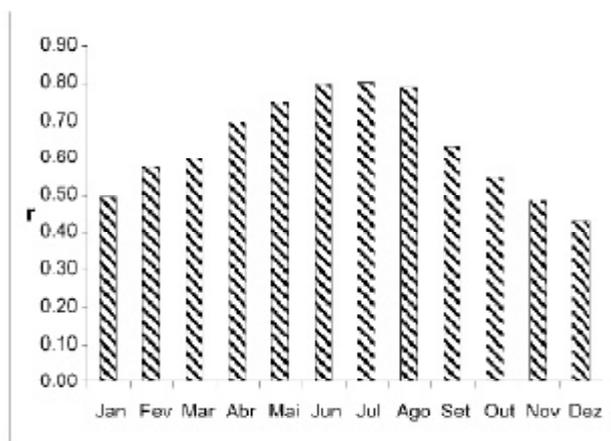


Figura 7. Valores médios da Razão de Insolação (r) ao longo do ano em Sete Lagoas.

Em relação à estação do ano, os valores obtidos de “r” foram: 0,80 no inverno; 0,68 no outono; 0,56 na primavera e 0,50 no verão. Tal comportamento ocorreu ao longo de todos os anos estudados.

Conclusões

Os valores médios mensais de insolação foram em média 64% inferiores aos valores médios mensais máximos possíveis de insolação, sendo o maior percentual alcançado no inverno.

Com relação à radiação global, verifica-se que essa pode ser atenuada em até aproximadamente 55%, no verão, ao atravessar a atmosfera.

Os maiores valores de radiação fotossinteticamente ativa ocorrem no verão, com valores até aproximadamente 35% superiores aos encontrados no inverno. Apesar de, no verão, os dias serem mais longos, os maiores valores de insolação foram encontrados no inverno.

A distribuição de frequência de ocorrência de insolação é semelhante entre as estações do verão e da primavera e entre o inverno e o outono.

A maior ocorrência de insolação em Sete Lagoas é de 11 horas diárias.

A razão de insolação foi maior no inverno e menor no verão.

Referências Bibliográficas

ANGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, Berkshire v. 50, p. 121-25, 1924.

ASSIS, F. N. **Aplicações da estatística à climatologia**: teoria e prática. Pelotas: Universitária/UFPeL, 1996. 161 p.

JESUS, W. R. de.; CURY-LUNARDI, D. M. Estudo da variabilidade horária do número de horas de insolação no município de Botucatu, S.P. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 2. n. 1. p. 1-4, 1997.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia**: fundamentos e aplicações práticas. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

VAREJÃO-SILVA, M. A. . **Meteorologia e Climatologia**; Versão Digital 1. Brasília, DR: INMET, 2005. 1.v

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 1991. 499 p.

FERREIRA, W. P. M., SOUZA, C. F. Estimativa de temperaturas para os Estados de Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Pará. **Revista Atmosfera & Água** , Maceio, v.1, p.41 - 45, 1998.

FERREIRA, W. P. M.; COSTA, L. C.; SOUZA, C. F. Uso de um modelo de simulação para verificar alterações nos mecanismos de captura e utilização da radiação da cultura da soja. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA**, 10., 1997, Piracicaba. **Agrometeorologia, monitoramento ambiental e agricultura sustentável** - anais. Piracicaba: ESALQ, 1997.