

ANÁLISE ESTATÍSTICA DE DADOS DE RADIAÇÃO SOLAR NO BRASIL

Mario H. Macagnan – mhm@unisinis.br

Jacqueline B. Copetti – jcopetti@unisinis.br

Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinis, Ciências Exatas e Tecnológicas

1.2 – Potencial Solar e Eólico

Resumo. Neste trabalho são apresentados os resultados da análise estatística dos dados de irradiação solar diária global horizontal, para alguns locais do Brasil, medidos e publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia, INMET, durante o período de 1978 a 1988 e alguns dados medidos pelas novas estações automáticas de superfície, disponibilizados a partir do ano 2000. O estudo realizado fornece uma série de elementos capazes de descrever, estatisticamente, o comportamento da irradiação solar de longo prazo e servir como ferramenta para projetos e dimensionamento de sistemas solares.

Palavras-chave: radiação solar, análise estatística, potencial solar.

1. INTRODUÇÃO

A existência de uma base de dados de radiação solar de alta qualidade, com um número elevado de observações e com grande espectro geográfico é uma necessidade para todos os projetistas de sistemas solares e para aqueles pesquisadores envolvidos em estudos neste tema. Os dados de radiação solar no Brasil são medidos em diversas estações pertencentes ao Ministério de Agricultura, às Secretarias Estaduais de Agricultura, ao Ministério da Aeronáutica, entre outros órgãos não existindo, porém, uma sistematização destas informações, criando dificuldades importantes para a determinação do potencial energético desta fonte, na hora de definir a implantação de projetos.

Nos últimos anos, esforços têm sido realizados para reverter este quadro. Destacam-se aqui duas publicações importantes: o Atlas Solarimétrico do Brasil (Tiba e Fraindenraich, 1997) e o Atlas de Irradiação Solar do Brasil (Colle et al, 1998), os projetos SWERA e SONDA, além do persistente esforço do LABSOLAR, da UFSC.

Neste trabalho será apresentada uma análise estatística de longo prazo de dados de radiação solar, a partir da coleta e informatização de dados de irradiação solar global diária horizontal, publicados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) do Ministério da Agricultura, nos Boletins de Radiação Trimestrais, cobrindo os anos de 1978 a 1988 para diferentes locais do Brasil. Complementando essas informações, utilizam-se também os dados medidos de irradiação solar horária horizontal, disponibilizados pelo INMET em arquivos meteorológicos para algumas de suas estações de superfície automáticas. O período desta segunda etapa de dados é variável, desde o início de operação da estação automática (sempre posterior ao ano 2000) até o momento atual.

Os locais cujos dados de radiação solar foram utilizados no estudo proposto são listados na Tab. 1. Nesta tabela também se apresentam algumas informações relativas à situação geográfica da estação (estado, latitude, longitude e altitude) além do período dos dados utilizados.

Após o tratamento inicial dos dados de irradiação solar disponíveis, foram determinados para cada local os valores médios mensais, mínimos e máximos da irradiação solar diária global horizontal, o desvio padrão, o coeficiente de variação e o índice de transparência da atmosfera. Além destas informações, também são apresentados para cada local os histogramas de frequência e as curvas de distribuição de frequência acumulada dos valores de irradiação global diária horizontal

e as curvas de distribuição de frequência acumulada do índice de transparência da atmosfera, K_T , em função do seu valor médio mensal, $\bar{K}_T$.

Tabela 1. Localização das estações meteorológicas analisadas e período de observação dos dados de irradiação solar.

Local	Estado	Latitude	Longitude	Altitude, m	Período
Belém	PA	01°29' S	48°28' W	4,8	05/78 a 12/87 e 01/03 a 06/06
Belo Horizonte/Contagem	MG	19°56' S	43°56' W	850,2	01/79 a 03/88 e 11/02 a 06/06
Brasília	DF	15°47' S	47°56' W	1.158,4	01/78 a 03/88 e 05/00 a 06/06
Curitiba	PR	25°26' S	49°16' W	923,5	01/78 a 03/88 e 01/03 a 06/06
Porto Alegre	RS	30°01' S	51°13' W	47,0	01/78 a 03/88 e 09/00 a 06/06
Rio de Janeiro	RJ	22°55' S	43°10' W	5,3	02/78 a 03/88
Salvador	BA	13°00' S	38°31' W	51,4	01/78 a 02/86 e 10/00 a 06/06
São Paulo	SP	23°30' S	46°37' W	792,1	01/78 a 12/87

2. METODOLOGIA

Uma vez informatizados os dados de irradiação global diária horizontal publicados nos Boletins Trimestrais do INMET, foram submetidos a um teste de consistência. Obviamente, a potência do teste ficou limitada em função da inexistência de outros parâmetros meteorológicos para comparação.

Cada dado de irradiação solar foi transformado em um valor de índice de claridade da atmosfera, K_T , definido como a relação entre a irradiação global diária em superfície horizontal e a irradiação extraterrestre diária, também horizontal, conforme a Eq. (1):

$$K_T = \frac{H}{H_o} \quad (1)$$

sendo K_T uma variável adimensional, com variação entre zero e um máximo teórico igual a um; H é a radiação global diária horizontal e H_o é a radiação solar extraterrestre, também em superfície horizontal.

Desta maneira, pode-se eliminar todos os dados cujo valor de K_T seja maior que um. Além disso, foi aplicado um controle mais restritivo, consistindo em eliminar todos os valores onde $K_T \geq 0,864$, de acordo com observações realizadas por Hollands e Huget (1983).

Os dados reprovados por este teste foram considerados valores nulos, não entrando nos demais cálculos. Cabe ressaltar aqui que todas as estações meteorológicas ligadas ao INMET, no período considerado (1978-1988) usavam piranômetros Eppley modelo 8-48. Nos Boletins Trimestrais de Radiação Solar não havia qualquer indicação dos critérios utilizados para a calibração dos sensores, nem da escala radiométrica utilizada.

Com os dados já filtrados, foram calculados os valores médios da irradiação solar global diária, o desvio padrão mensal e o coeficiente variação, definido pela Eq. (2):

$$CV = \frac{\sigma}{\bar{x}} \times 100 \quad (2)$$

onde CV é o coeficiente de variação, em %, σ é o desvio padrão e $\bar{x}$ é a média. O CV é uma medida útil quando se deseja comparar as variabilidades de várias amostras, no nosso caso, a radiação diária dentro de um determinado mês.

Outro dado analisado e apresentado é o índice de claridade, conforme definido pela Eq. (1). Este parâmetro é muito conveniente para quantificar a irradiação solar incidente em um determinado período de tempo e para comparar a condição climatológica de diferentes locais. Como sua variação vai desde zero até um máximo teórico igual a um, permite conhecer o estado, ou grau de transparência da atmosfera terrestre.

Além disso, como foi demonstrado por Liu e Jordan (1960), o comportamento climático em um determinado lugar pode ser caracterizado pelo valor médio mensal de K_T . Na verdade, eles demonstraram que a fração de tempo na qual K_T é igual ou inferior a um dado valor depende diretamente, e quase exclusivamente, de seu valor médio mensal, $\bar{K}_T$. Desta forma, serão apresentadas para cada um dos locais, as curvas de distribuição de probabilidade e de distribuição de frequência acumulada, ou de fração de tempo para esta variável.

3. RESULTADOS

Os resultados da análise estatística, obtidos através da aplicação da metodologia descrita anteriormente são mostrados nas Tab. 2 a 10. Na Tab. 2 são comparados os valores médios anuais da irradiação solar global diária horizontal de todas as localidades referidas na Tab. 1, destacando-se o valor mínimo para a estação de São Paulo e o máximo para a estação de Salvador.

Tabela 2. Comparação dos valores médios anuais da radiação global horizontal diária média mensal, para as localidades apresentadas na Tab. 1. Os valores estão em Whm^{-2} .

Local	$\bar{H}$, Whm^{-2}
Belém	4.851,3
Belo Horizonte	4.495,4
Brasília	5.007,6
Curitiba	4.026,6
Porto Alegre	4.309,9
Rio de Janeiro	4.747,7
Salvador	5.256,1
São Paulo	3.995,6

Tabela 3. Análise dos dados de irradiação solar global diária para a estação de Belém, PA. São apresentados os valores de irradiação solar média, mínima e máxima mensais (em Whm^{-2}), desvio padrão, σ , coeficiente de variação, CV, e o índice de transparência médio mensal, $\bar{K}_T$.

Mês	$\bar{H}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	σ	CV	$\bar{K}_T$
Jan	3.995,3	1.049,0	9.338,0	1.129,7	28,3	0,39
Fev	4.098,2	905,0	7.418,0	1.051,3	26,1	0,39
Mar	4.055,7	1.379,0	7.880,0	1.102,1	27,4	0,38
Abr	4.230,2	543,0	9.486,0	1.043,9	25,6	0,42
Mai	4.787,2	1.462,0	6.825,0	951,0	20,2	0,50
Jun	5.200,5	1.886,0	6.725,0	822,5	15,9	0,57
Jul	5.304,0	2.634,0	6.845,0	659,0	12,4	0,57
Ago	5.536,2	3.244,0	6.955,0	614,9	11,1	0,57
Set	5.409,8	2.485,0	7.090,0	610,2	11,3	0,53
Out	5.346,7	2.304,0	7.178,0	698,9	13,1	0,51
Nov	5.013,1	2.627,0	8.101,0	748,5	15,0	0,49
Dez	4.550,5	1.432,0	8.493,0	853,3	19,1	0,45

Tabela 4. Análise dos dados de irradiação solar global diária para a estação de Belo Horizonte, MG. São apresentados os valores de irradiação solar média, mínima e máxima mensais (em Whm⁻²), desvio padrão, σ , coeficiente de variação, CV , e o índice de transparência médio mensal, $\bar{K}_T$.

Mês	$\bar{H}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	σ	CV	$\bar{K}_T$
Jan	4.532,6	657,0	8.583,0	1.599,8	35,9	0,39
Fev	5.509,0	1.047,0	7.925,0	1.425,5	26,6	0,50
Mar	4.549,4	1.193,0	6.978,0	1.273,0	28,4	0,45
Abr	4.329,4	998,0	6.455,0	1.029,3	23,9	0,50
Mai	3.942,0	615,0	5.387,0	807,6	20,9	0,53
Jun	3.874,3	696,0	5.776,0	613,0	16,0	0,58
Jul	4.055,2	280,0	5.198,0	672,9	16,8	0,58
Ago	4.399,0	955,0	6.086,0	982,4	22,6	0,55
Set	4.664,8	431,0	6.886,0	1.225,3	26,6	0,50
Out	5.086,5	891,0	7.813,0	1.413,0	28,3	0,48
Nov	5.057,0	711,0	7.953,0	1.631,3	33,0	0,44
Dez	4.335,6	780,0	7.838,0	1.698,4	39,6	0,37

Tabela 5. Análise dos dados de irradiação solar global diária para a estação de Brasília, DF. São apresentados os valores de irradiação solar média, mínima e máxima mensais (em Whm⁻²), desvio padrão, σ , coeficiente de variação, CV , e o índice de transparência médio mensal, $\bar{K}_T$.

Mês	$\bar{H}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	σ	CV	$\bar{K}_T$
Jan	4.882,8	973,0	8.555,0	1545,8	31,7	0,43
Fev	5.479,8	876,0	8.374,0	1.611,6	30,2	0,49
Mar	4.966,5	636,0	7.739,0	1.377,0	27,9	0,48
Abr	5.007,0	1.104,0	7.073,0	1.119,8	22,5	0,55
Mai	4.712,7	1.064,0	6.497,0	923,8	19,7	0,59
Jun	4.709,1	2.113,0	5.725,0	609,8	13,2	0,64
Jul	4.920,1	670,0	6.757,0	652,1	13,4	0,65
Ago	5.269,9	792,0	7.841,0	863,0	17,0	0,62
Set	5.209,5	730,0	7.375,0	1.332,6	25,7	0,54
Out	5.137,9	960,0	8.017,0	1.516,5	29,8	0,48
Nov	4.968,3	1.192,0	8.501,1	1.570,3	31,8	0,44
Dez	4.794,2	763,0	8.224,0	1.472,8	30,7	0,42

Os resultados apresentados nas Tab. 3 a 10 englobam locais de cada uma das regiões do Brasil, na faixa de latitudes entre 1° e 30° Sul. Os dados de Belém, Tab. 3, apresentam características diferentes das demais localidades. Por estar localizada próxima à linha do equador, os valores de irradiação horizontal são menores nos meses de janeiro a março do que nos meses situados entre os dois equinócios, abril a setembro. Característico também são os baixos valores do índice de transparência da atmosfera, $\bar{K}_T$, nos primeiros meses do ano. Os resultados apresentados nas Tab. 4 e 5, Belo Horizonte e Brasília apresentam algumas similaridades. Entre elas a grande variabilidade dos valores de irradiação, notado pela variação de CV , com exceção dos meses entre maio e agosto, meses onde também os valores de $\bar{K}_T$ são mais elevados.

Nas Tab. 6 e 7 são apresentados os resultados de Curitiba, PR, e Porto Alegre, RS, dois locais característicos da região sul do Brasil, isto é, diferença marcante entre as estações de verão e inverno, com coeficientes de variação extremamente elevados quando comparados aos outros locais. Os valores de irradiação solar diária global horizontal, nos meses de inverno são os mais baixos apresentados, situando entre valores de 2.300 e 2.900 Whm⁻². Os valores dos coeficientes de transparência da atmosfera, $\bar{K}_T$, apresentam pequena variação ao longo do ano.

Tabela 6. Análise dos dados de irradiação solar global diária para a estação de Curitiba, PR. São apresentados os valores de irradiação solar média, mínima e máxima mensais (em Whm⁻²), desvio padrão, σ , coeficiente de variação, CV , e o índice de transparência médio mensal, $\bar{K}_T$.

Mês	$\bar{H}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	σ	CV	$\bar{K}_T$
Jan	5.412,2	1.493,0	9.019,0	1.587,2	29,6	0,46
Fev	4.863,2	941,0	8.246,0	1.479,0	31,0	0,44
Mar	4.182,4	869,0	7.528,0	1.350,0	32,7	0,43
Abr	3.419,5	563,0	6.335,0	1.120,3	33,9	0,42
Mai	2.898,2	268,0	5.272,0	1.047,7	37,1	0,44
Jun	2.780,4	208,0	5.422,0	943,0	34,5	0,47
Jul	2.888,8	301,0	4.728,0	1.085,8	38,0	0,47
Ago	3.233,4	412,0	5.954,0	1.359,0	42,8	0,44
Set	3.727,0	365,0	7.253,0	1.818,7	50,3	0,42
Out	4.607,9	598,0	8.352,0	1.900,7	41,9	0,44
Nov	5.063,2	946,0	8.845,0	1.999,0	40,0	0,44
Dez	5073,2	960,0	9.227,0	1.783,8	35,7	0,42

Tabela 7. Análise dos dados de irradiação solar global diária para a estação de Porto Alegre, RS. São apresentados os valores de irradiação solar média, mínima e máxima mensais (em Whm⁻²), desvio padrão, σ , coeficiente de variação, CV , e o índice de transparência médio mensal, $\bar{K}_T$.

Mês	$\bar{H}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	σ	CV	$\bar{K}_T$
Jan	6.284,8	926,0	9.051,0	1.696,5	27,6	0,52
Fev	5.438,6	708,0	8.455,0	1.695,1	31,5	0,51
Mar	4.866,7	747,0	7.317,0	1.409,4	29,2	0,52
Abr	3.625,5	298,0	7.547,0	1.330,9	37,2	0,48
Mai	2.847,1	90,0	4.993,0	1.110,5	40,3	0,48
Jun	2.367,1	212,0	4.930,0	1.052,3	45,5	0,46
Jul	2.426,5	215,0	6.671,0	1.121,7	47,1	0,44
Ago	2.809,1	121,0	6.529,0	1.399,4	50,6	0,42
Set	3.857,3	208,0	8.110,0	1.791,6	47,5	0,46
Out	4.963,7	391,0	7.936,0	2.030,5	41,3	0,48
Nov	5.678,2	327,0	8.932,0	2.075,1	36,9	0,49
Dez	6.245,0	727,0	9.164,0	1.939,4	31,2	0,51

Tabela 8. Análise dos dados de irradiação solar global diária para a estação de Rio de Janeiro, RJ. São apresentados os valores de irradiação solar média, mínima e máxima mensais (em Whm⁻²), desvio padrão, σ , coeficiente de variação, CV, e o índice de transparência médio mensal, $\bar{K}_T$.

Mês	$\bar{H}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	σ	CV	$\bar{K}_T$
Jan	5.872,8	977,0	11.339,0	2.127,5	37,8	0,50
Fev	6.326,7	639,0	9.998,0	1.693,5	27,7	0,57
Mar	5.393,3	784,0	10.754,0	1.551,5	29,7	0,54
Abr	4.363,0	395,0	8.687,0	1.439,6	33,5	0,52
Mai	3.714,1	376,0	7.387,0	1.164,6	32,4	0,53
Jun	3.348,6	479,0	6.976,0	1.090,2	33,1	0,53
Jul	3.488,7	184,0	6.746,0	1.154,6	33,9	0,53
Ago	3.873,8	292,0	8.353,0	1.396,9	36,9	0,51
Set	4.227,6	299,0	8.272,0	1.797,1	43,7	0,46
Out	5.062,4	584,0	10.065,0	1.966,9	39,4	0,48
Nov	5.715,9	715,0	10.558,0	2.171,6	38,4	0,50
Dez	5.600,6	450,0	10.256,0	2.009,9	36,8	0,47

Tabela 9. Análise dos dados de irradiação solar global diária para a estação de Salvador, BA. São apresentados os valores de irradiação solar média, mínima e máxima mensais (em Whm⁻²), desvio padrão, σ , coeficiente de variação, CV, e o índice de transparência médio mensal, $\bar{K}_T$.

Mês	$\bar{H}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	σ	CV	$\bar{K}_T$
Jan	6.123,0	1.043,0	8.751,0	1.480,8	24,9	0,55
Fev	6.106,8	1.634,0	8.341,0	1.472,4	25,0	0,55
Mar	5.736,5	716,0	7.868,0	1.348,7	24,2	0,55
Abr	4.348,3	630,0	8.609,0	1.482,6	34,6	0,46
Mai	4.134,8	805,0	9.951,0	1.085,6	26,7	0,50
Jun	3.955,4	844,0	5.648,0	1.081,2	27,4	0,51
Jul	4.155,2	1.504,0	6.018,0	1.041,2	25,1	0,53
Ago	4.910,3	2.123,0	7.288,0	1.048,6	21,5	0,56
Set	5.236,1	675,0	8.097,0	1.320,4	25,9	0,53
Out	5.840,6	666,0	9.231,0	1.442,5	25,1	0,55
Nov	5.833,6	593,0	8.275,0	1.510,1	26,8	0,53
Dez	6.220,5	1.135,0	9.717,0	1.463,2	24,1	0,55

Os resultados das análises para as localidades do Rio de Janeiro e Salvador, apresentados nas Tab. 8 e 9, apresentam semelhanças muito grandes entre si. São duas localidades litorâneas, com valores de irradiação solar maiores nos meses de verão do que nos meses de inverno. O coeficiente de variação, apesar de mais elevado para o Rio de Janeiro, apresenta para os dois locais uma certa uniformidade ao longo do ano.

A análise dos dados de irradiação para o Rio de Janeiro ficou prejudicada em função da existência de um grande número de dados com baixa confiabilidade. A existência de um número extremamente elevado de dados que apresentaram valores de $KT \geq 1,0$ e que, portanto, foram

anulados. Também apresentaram dados de irradiação cujo valor do índice de transparência diário, K_T , estava muito próximo do valor máximo observado, ou seja, 0,864. Isto não permitiu a anulação destes valores, mas colocou em dúvida a calibração do instrumento de medida. Cabe ressaltar aqui que todas as estações meteorológicas ligadas ao INMET, no período considerado, usavam piranômetros Eppley modelo 8-48. Não foi indicado nem a frequência de calibração nem a escala radiométrica utilizada.

Por fim, na Tab. 10, são apresentados os valores da análise para a localidade de São Paulo, SP. A característica mais marcante é a uniformidade climática ao longo do ano, indicada pelos diversos parâmetros analisados e pelos baixos valores de irradiação apresentados nos meses de verão.

Tabela 10. Análise dos dados de irradiação solar global diária para a estação de São Paulo, SP. São apresentados os valores de irradiação solar média, mínima e máxima mensais (em Whm^{-2}), desvio padrão, σ , coeficiente de variação, CV , e o índice de transparência médio mensal, $\bar{K}_T$.

Mês	$\bar{H}$	$H_{\min}$	$H_{\max}$	σ	CV	$\bar{K}_T$
Jan	4.745,7	764,0	9.083,0	1.797,8	38,3	0,40
Fev	4.607,6	526,0	7.792,0	1.550,2	34,7	0,41
Mar	4.129,1	529,0	9.551,0	1.366,0	34,5	0,42
Abr	3.664,4	255,0	6.144,0	1.216,1	33,6	0,44
Mai	3.134,0	388,0	5.150,0	1.190,8	38,7	0,45
Jun	3.034,4	350,0	4.480,0	1.034,4	34,5	0,49
Jul	3.092,0	368,0	4.876,0	1.147,9	37,3	0,48
Ago	3.476,6	284,0	5.762,0	1.425,8	41,2	0,46
Set	3.797,9	226,0	6.605,0	1.774,4	48,8	0,41
Out	4.546,0	582,0	7.717,0	1.783,0	40,3	0,43
Nov	4.896,7	763,0	8.287,0	1.942,1	39,8	0,43
Dez	4.717,4	629,0	8.261,0	1.754,2	37,3	0,40

Nas Fig. 1 a 4 são apresentados os histogramas de frequência para os valores de irradiação solar global diária horizontal para cada uma das localidades da Tab. 1.

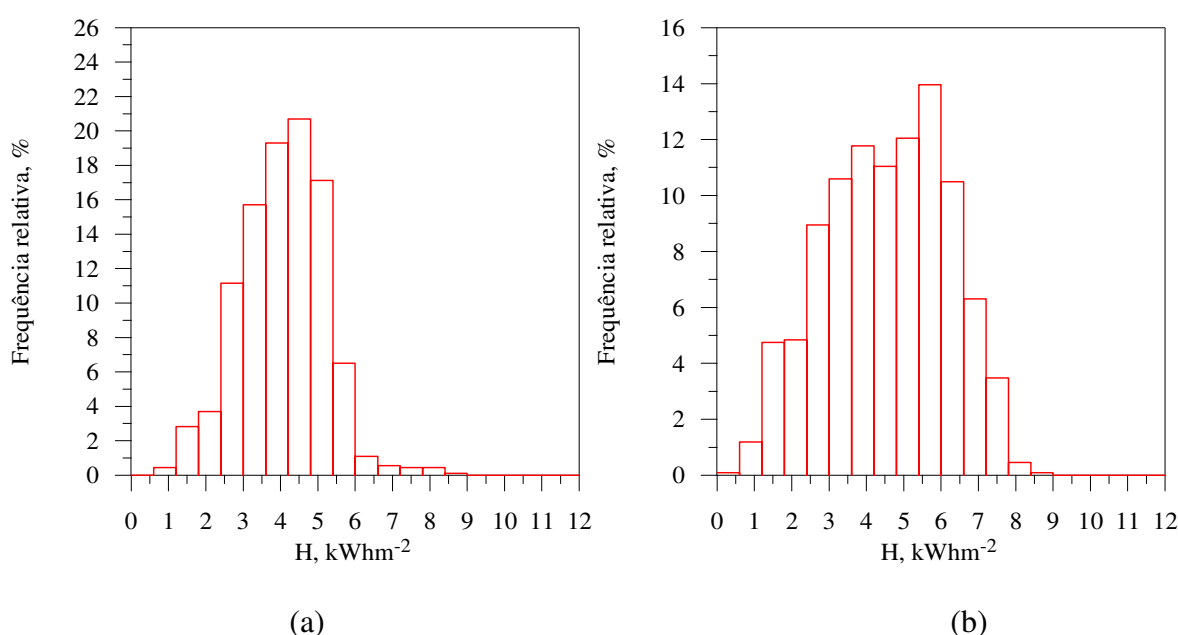


Figura 1. Distribuição de frequência dos valores de irradiação solar diária global horizontal, para: (a) Belém e (b) Belo Horizonte.

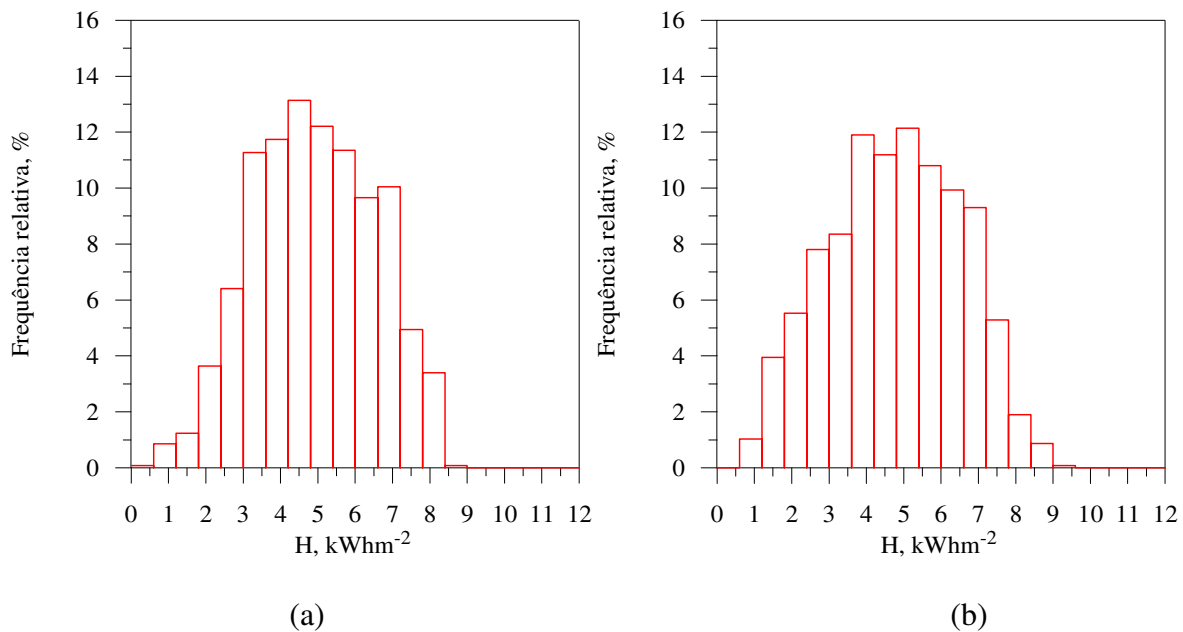


Figura 2. Distribuição de frequência dos valores de irradiação solar diária global horizontal, para: (a) Brasília e (b) Curitiba.

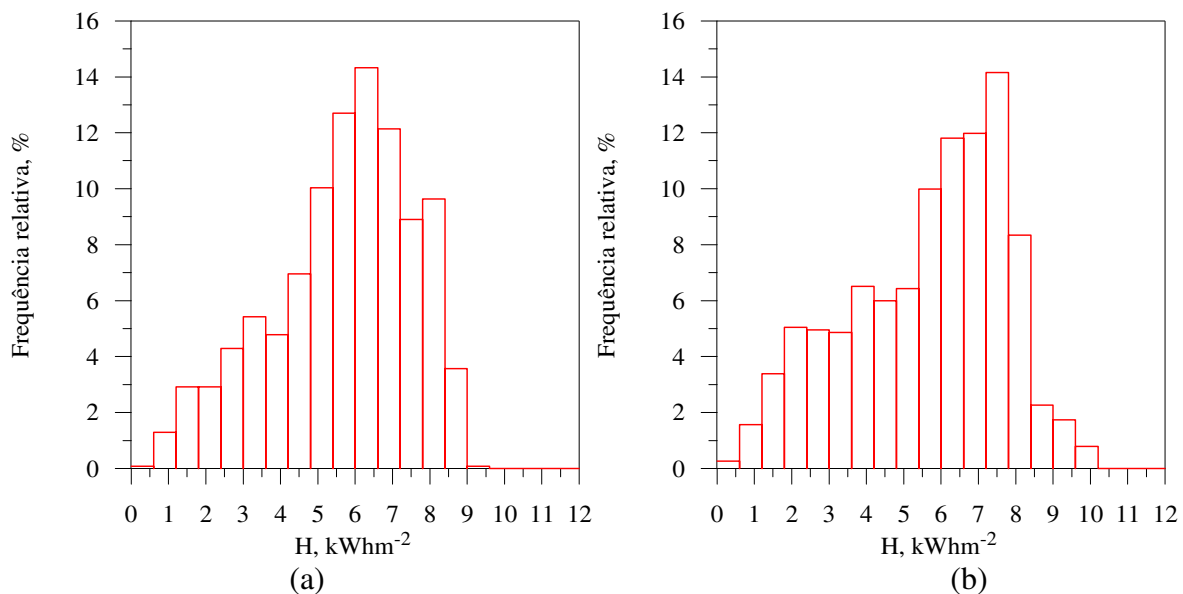


Figura 3. Distribuição de frequência dos valores de irradiação solar diária global horizontal, para: (a) Porto Alegre e (b) Rio de Janeiro.

Como esperado, as distribuições de frequência são diferentes para cada um dos locais analisados. Apresentam, em geral, uma forte assimetria para a esquerda, fugindo da hipótese de normalidade. Estas distribuições são basicamente unimodais, de acordo com o esperado para dados diários de irradiação solar global (Garrison, 1984).

Conforme trabalho anterior de Macagnan (1989), foram aplicados testes sobre estas distribuições, verificando-se que a mais adequada é a distribuição de valores extremos, mais precisamente a distribuição de valores mínimos tipo I (ou Gumbel).

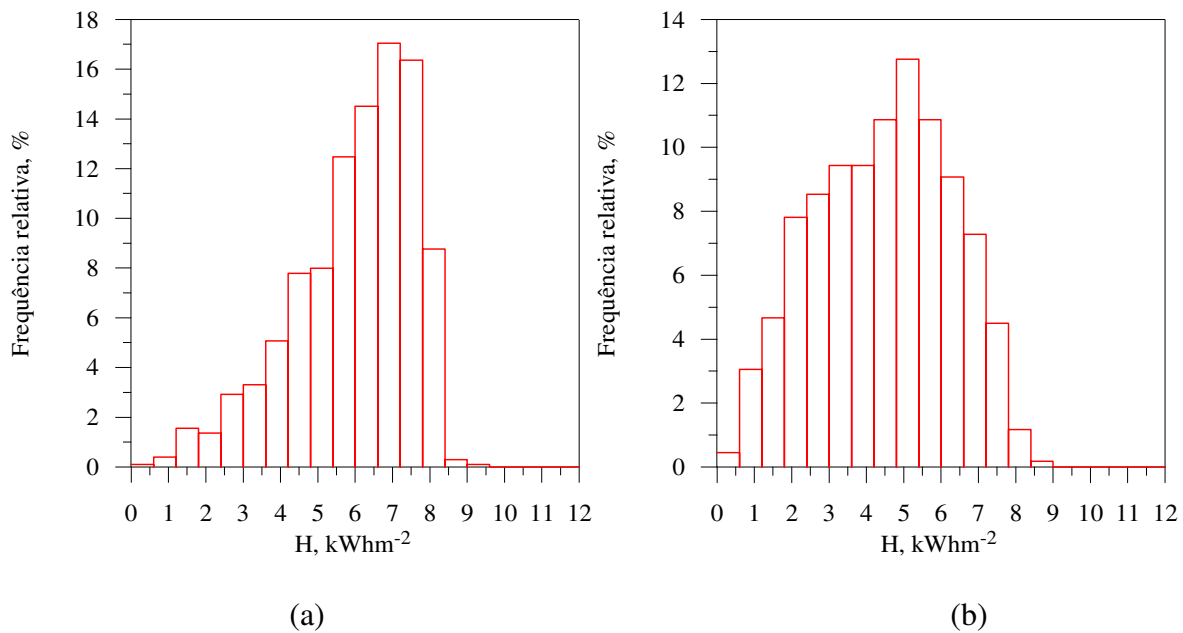


Figura 4. Distribuição de freqüência dos valores de irradiação solar diária global horizontal, para: (a) Salvador e (b) São Paulo.

Nas Fig. 5 a 8 são mostradas as distribuições acumuladas (ou fração de tempo) para os dados de irradiação solar global diária horizontal, para as localidades da Tab. 1, a partir dos histogramas anteriores. Cada uma destas figuras, a integral da distribuição de freqüência, representa a probabilidade de encontrar valores de irradiação solar menor ou igual a um valor definido. Servem de base para os modelos de dimensionamento baseados no conceito de utilizabilidade (Braum et al, 1983).

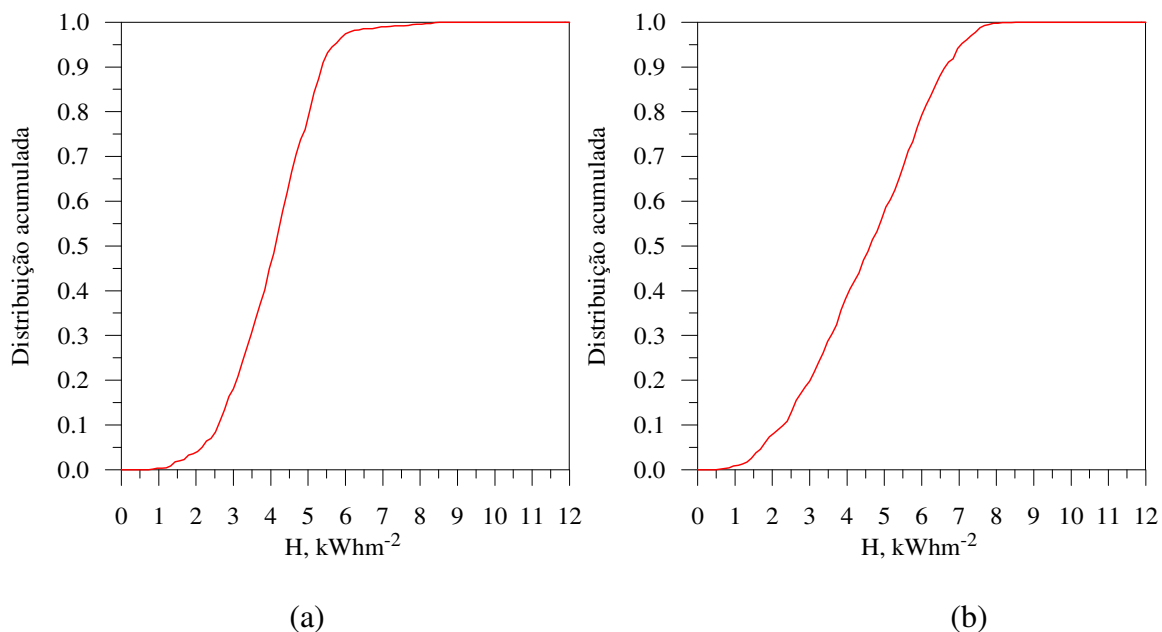


Figura 5. Distribuição de freqüência acumulada dos valores de irradiação solar diária global horizontal, para: (a) Belém e (b) Belo Horizonte.

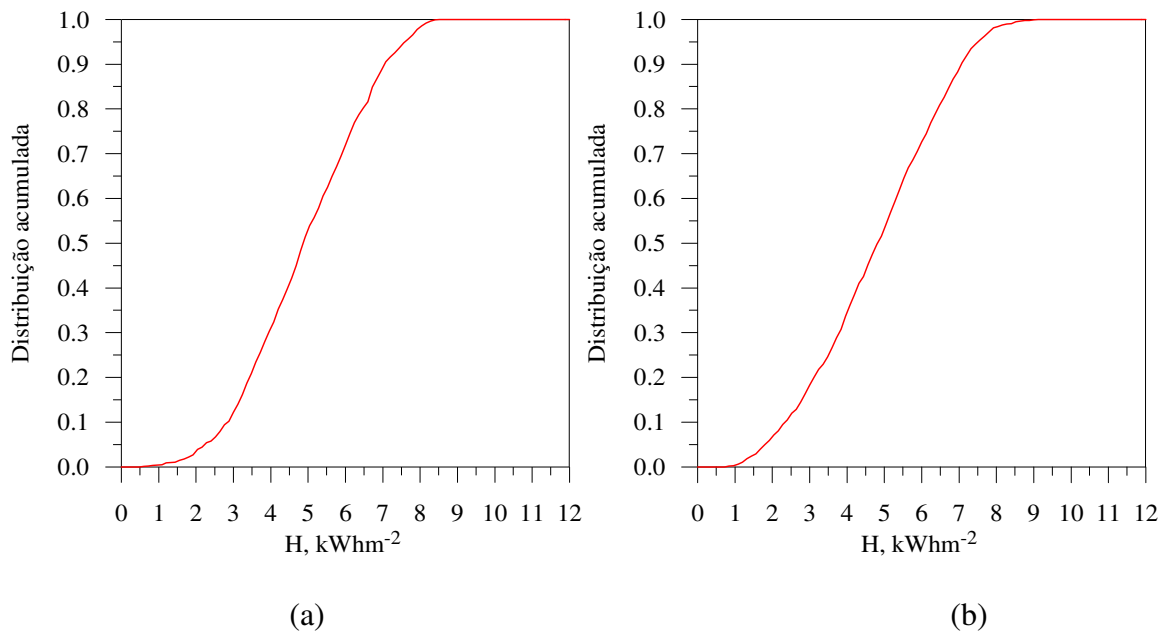


Figura 6. Distribuição de frequência acumulada dos valores de irradiação solar diária global horizontal, para: (a) Brasília e (b) Curitiba.

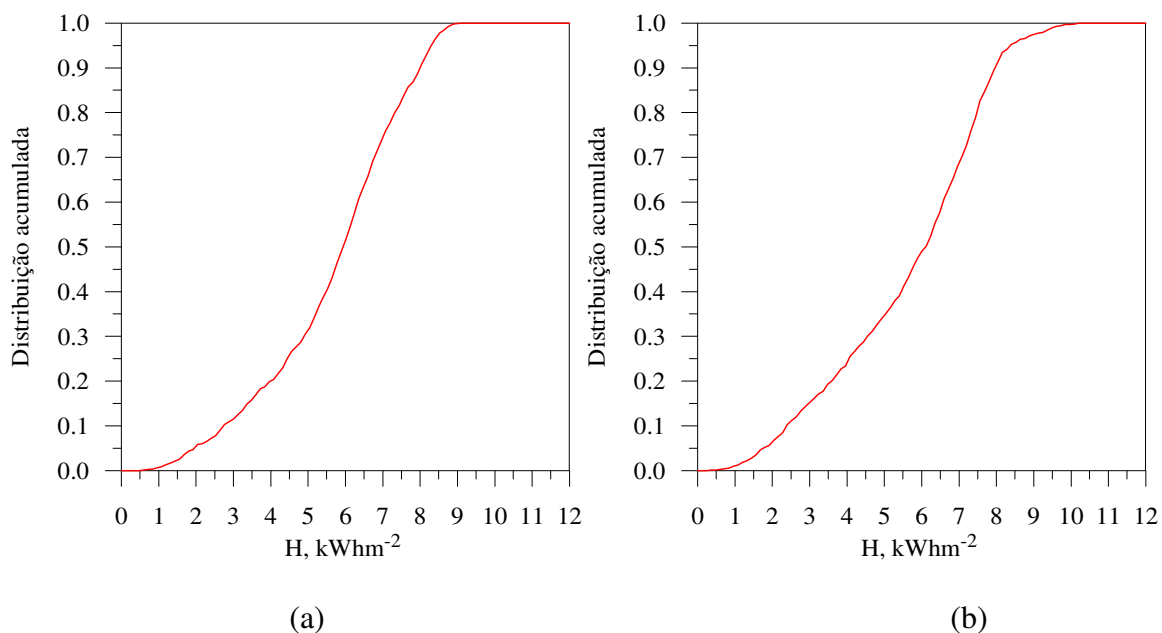


Figura 7. Distribuição de frequência acumulada dos valores de irradiação solar diária global horizontal, para: (a) Porto Alegre e (b) Rio de Janeiro.

Nas Fig. 9 a 12 são mostrados as curvas de distribuição acumulada (ou de fração de tempo) do índice de transparência da atmosfera, K_T , em função do valor médio mensal deste índice, $\bar{K}_T$. Conforme comentado anteriormente, as observações de Liu e Jordan (1960), posteriormente corroboradas por Bendt et al. (1981), mostraram que a distribuição dos valores mensais de $\bar{K}_T$ depende exclusivamente de seu valor médio mensal, $\bar{K}_T$, e não do local ou da época do ano. Isto implica a existência de uma função universal $F(K_T, \bar{K}_T)$ válida para qualquer parte do mundo e para qualquer mês de ano. Para as localidades estudadas, as curvas de $\bar{K}_T$ ficaram na faixa entre 0,3 e 0,6, chegando a $\bar{K}_T=0,7$ para as localidades de Brasília e Rio de Janeiro.

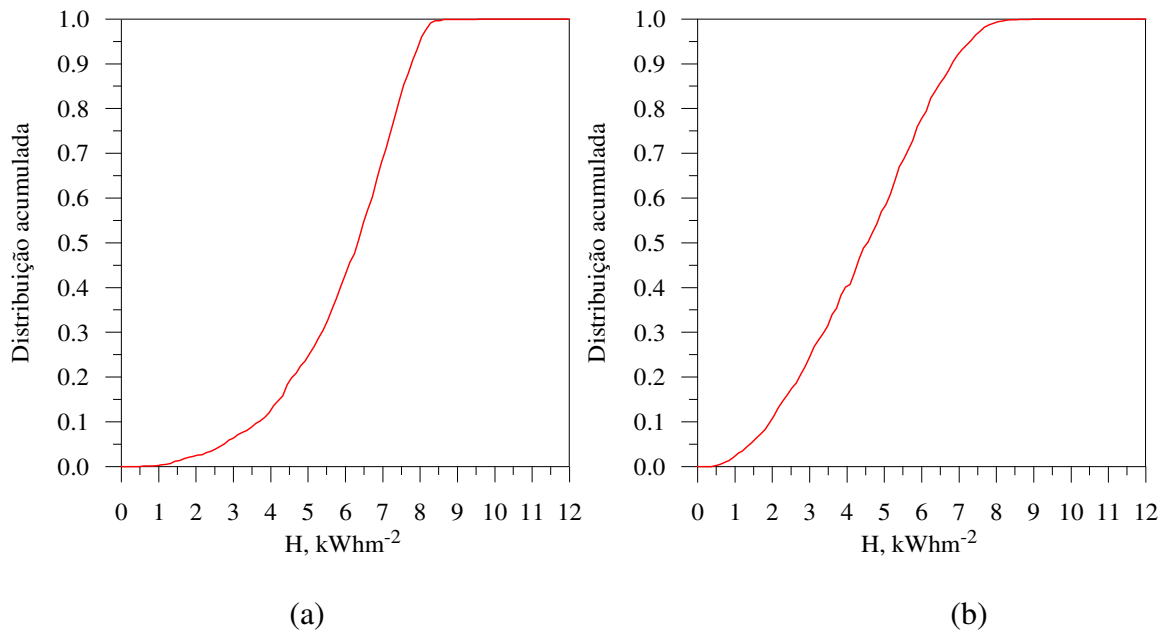


Figura 8. Distribuição de freqüência acumulada dos valores de irradiação solar diária global horizontal, para: (a) Salvador e (b) São Paulo.

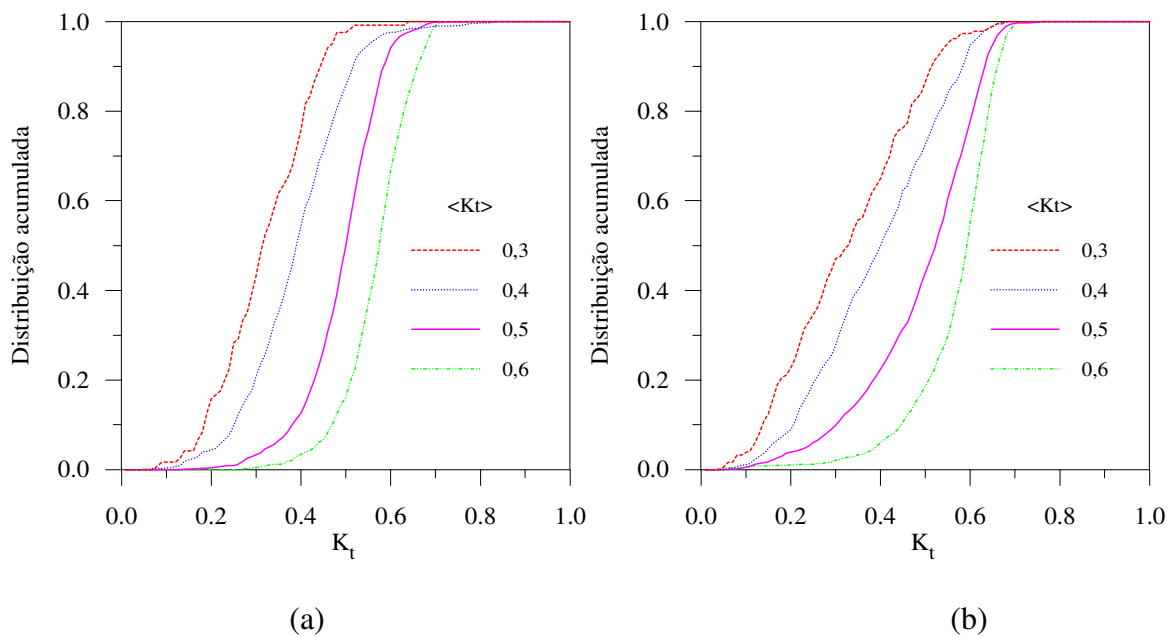


Figura 9. Distribuição de freqüência acumulada (ou fração de tempo) do índice de transparência da atmosfera, K_T , em função dos valores médios mensais, $\bar{K}_T$ para: (a) Belém e (b) Belo Horizonte.

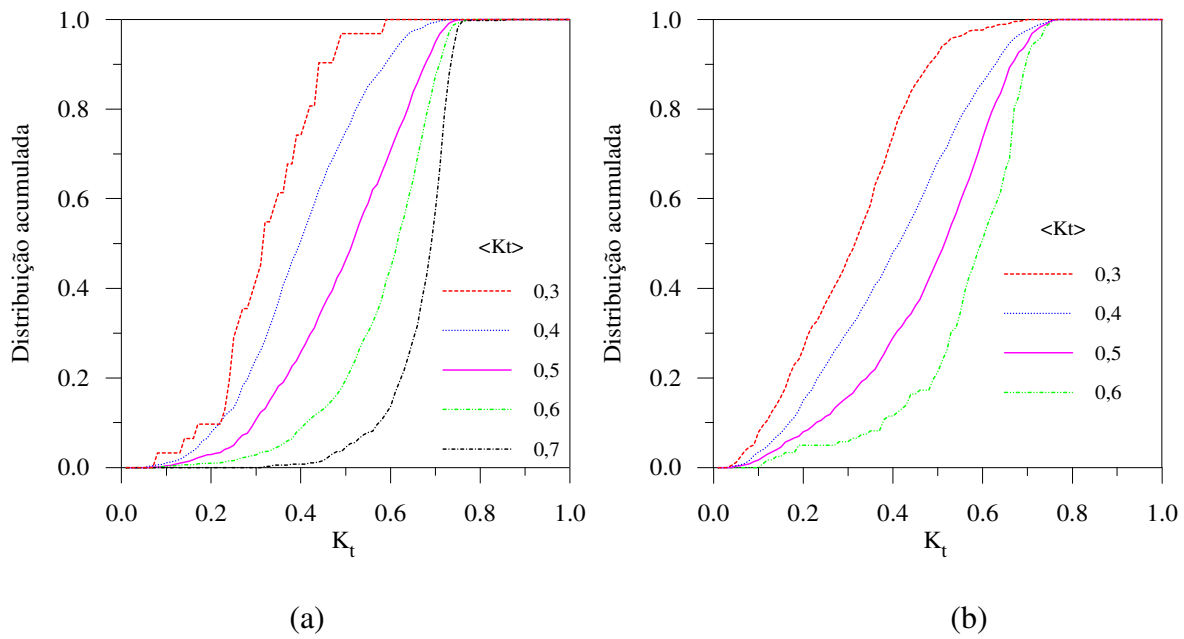


Figura 10. Distribuição de frequência acumulada (ou fração de tempo) do índice de transparência da atmosfera, K_T , em função dos valores médios mensais, $\bar{K}_T$ para: (a) Brasília e (b) Curitiba.

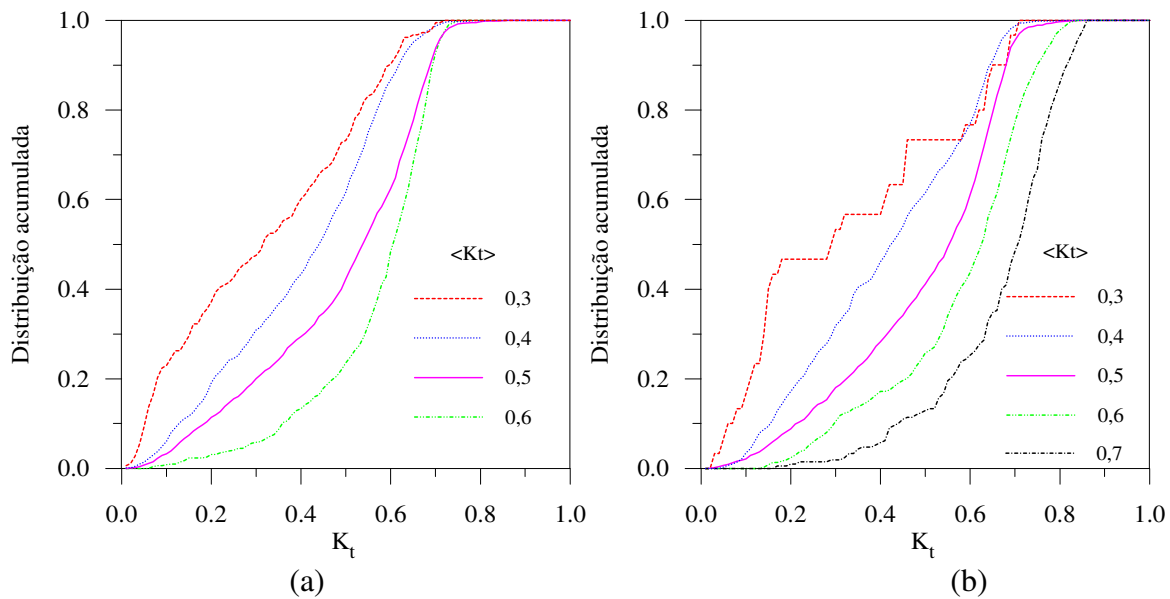


Figura 11. Distribuição de frequência acumulada (ou fração de tempo) do índice de transparência da atmosfera, K_T , em função dos valores médios mensais, $\bar{K}_T$ para: (a) Porto Alegre e (b) Rio de Janeiro.

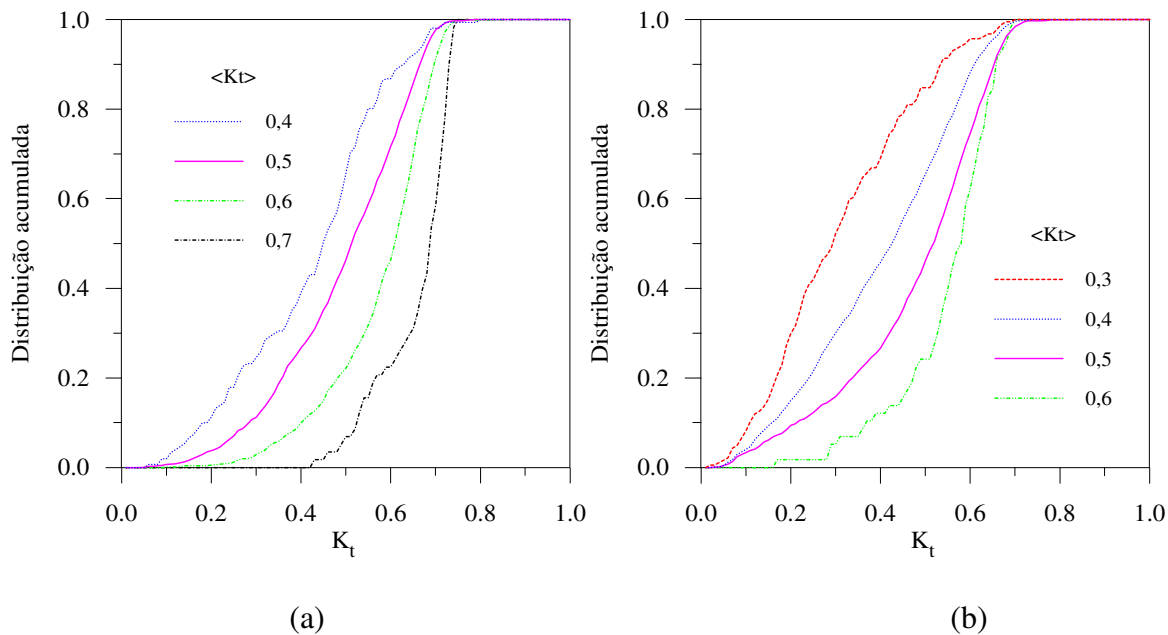


Figura 12. Distribuição de frequência acumulada (ou fração de tempo) do índice de transparência da atmosfera, K_T , em função dos valores médios mensais, $\bar{K}_T$ para: (a) Salvador e (b) São Paulo.

4. CONCLUSÃO

Neste trabalho foram apresentadas análises estatísticas para algumas localidades do Brasil, a partir de dados de irradiação solar global diária horizontal, medidos e disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os parâmetros estatísticos utilizados foram: média anual, valor médio, mínimo e máximo mensal, desvio padrão e coeficiente de variação. Também foram apresentadas análises em relação ao índice de transparência da atmosfera, K_T , por seu significado em relação à climatologia local. Foram apresentadas também as distribuições de frequência e de frequência acumulada para cada um destes locais.

A exatidão das informações aqui apresentadas é completamente dependente da qualidade dos dados medidos pelas diversas estações climatológicas. Como a única informação disponível foi a irradiação solar diária global horizontal, foi impossível estabelecer critérios mais rigorosos para validar estes dados.

No entanto, as informações aqui disponibilizadas podem ser utilizadas para estimativas do potencial de energia solar disponível para cada uma destas localidades, para projetos de engenharia de sistemas solares.

REFERÊNCIAS

- Bendt, P.; Collares-Pereira, M.; Rabl, A., 1981. The frequency distribution of daily insolation values. *Solar Energy*, vol. 27, pp.1-5.
- Braun, J.E.; Klein, S.A.; Pearson, K.A., 1983. An improved design method for solar hot water system. *Solar Energy*, vol. 31, pp.597-606.
- Colle, S., 1998. Atlas de irradiação solar do Brasil. Instituto Nacional de Meteorologia, INMET, Brasília.
- Garrison, J., 1984. A study of solar irradiation data for six sites. *Solar Energy*, vol. 32, pp. 237-249.
- Hollands, K.G.T. e Juget, R.G., 1983, a probability density function for the clearness index, with applications, *Solar Energy*, vol.30, pp.195-209.
- Liu, B.Y.H. e Jordan, R.C., 1960, The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation, *Solar Energy*, vol. 4, pp.1-19.

Macagnan, M.H., 1989. Estudos de modelos de sintetização de dados de radiação solar. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS. 113p.
Tiba, C.; Fraindenraich, N., (Org.), 1997. Atlas solarimétrico do Brasil.

STATISTICAL ANALYSIS OF SOLAR RADIATION DATA IN BRAZIL

Abstract. *The purpose of this paper is to presents the statistical analysis of daily global horizontal solar radiation data, measured in some meteorological stations in Brazil by the Instituto Nacional de Meteorologia, INMET, among the time periods of 1978 and 1988 and data measured by the newly automatic surface stations, from the year 2000 until now. The results provide statistical parameters adequate to describe the long term behavior of solar irradiation. These informations can be used as a tool for solar engineering projects.*

Key words: solar radiation, statistical analysis, solar potential.