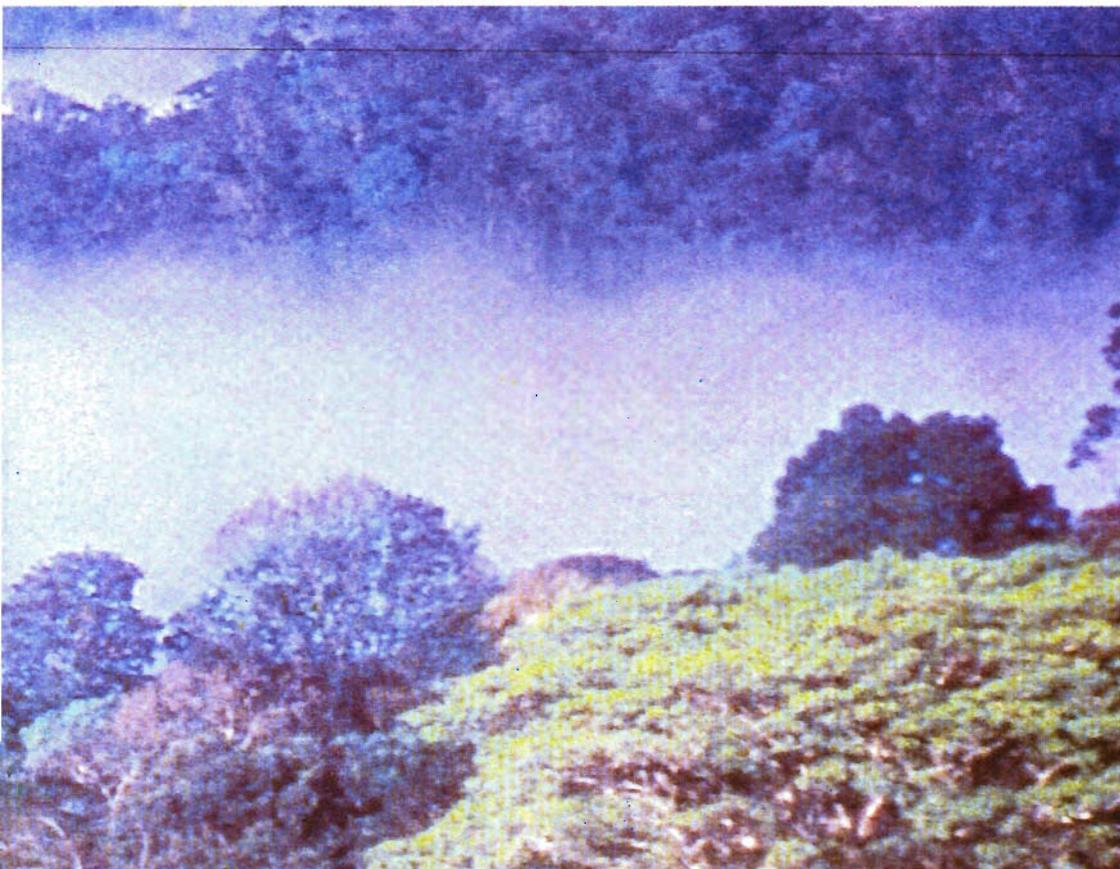


Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos





*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

ISSN 1517-2201

Fevereiro, 2002

Documentos 128

Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos

Therezinha Xavier Bastos

Nilza Araújo Pacheco

Dimitrie Nechet

Tatiana Deane de Abreu Sá

Belém, PA

2002

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Amazônia Oriental

Trav. Dr. Enéas Pinheiro, s/n
Caixa Postal, 48 CEP: 66095-100 - Belém, PA
Fone: (91) 299-4500
Fax: (91) 276-9845
E-mail: sac@cpatu.embrapa.br

Comitê de Publicações

Presidente: Leopoldo Brito Teixeira
Secretária-Executiva: Maria de Nazaré Magalhães dos Santos
Membros: Antônio Pedro da Silva Souza Filho
 Expedito Ubirajara Peixoto Galvão
 João Tomé de Farias Neto
 Joaquim Ivanir Gomes
 José de Brito Lourenço Júnior

Revisores Técnicos

Benedito Nelson Rodrigues da Silva – Embrapa Amazônia Oriental
Luiz Guilherme Teixeira da Silva – Embrapa Amazônia Oriental
Sandra Maria Neiva Sampaio – Embrapa Amazônia Oriental

Supervisor editorial: Guilherme Leopoldo da Costa Fernandes

Revisor de texto: Maria de Nazaré Magalhães dos Santos

Normalização bibliográfica: Silvio Leopoldo Lima Costa

Tratamento de ilustrações:

Foto(s) da capa:

Edição eletrônica: Euclides Pereira dos Santos Filho

1ª edição

1ª impressão (2002): tiragem - 300

Todos os direitos reservados.

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

Aspectos climáticos de Belém nos últimos cem anos/Therezinha Xavier Bastos...[et al.]. – Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 2002.

31p.; 21cm. – (Embrapa Amazônia Oriental. Documentos, 128).

ISSN 1517-2201

1. Climatologia – Belém – Pará – Brasil. I. Bastos, Therezinha Xavier.
II. Série.

CDD: 551.6098115

Autores

Therezinha Xavier Bastos

Engenheira Agrônoma, Ph.D em Climatologia, Pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, Fone: (91) 299-4562, CEP 66017-970, Belém, PA.
E-mail: txbastos@cpatu.embrapa.br

Nilza Araújo Pacheco

Engenheira Agrônoma, M.Sc. em Meteorologia, Pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, Fone (91) 299-4562, CEP.66017-970, Belém, PA.
E-mail: nilza@cpatu.embrapa.br

Dimitrie Nechet

Engenheiro Agrônomo, M.Sc. em Climatologia. Professor da Universidade Federal do Pará – UFPA, Centro de Geociências, Departamento de Meteorologia. Fone (91) 211-14410, Belém, PA.
E-mail: dimitrie@ufpa.br

Tatiana Deane de Abreu Sá

Engenheira Agrônoma, Doutora em Fisiologia Vegetal, Pesquisadora da Embrapa Amazônia Oriental, Caixa Postal 48, Fone (91) 299-4510, CEP.66017-970, Belém, PA.
E-mail: tatiana@cpatu.embrapa.br

Agradecimentos

A todos que, direta ou indiretamente, ao longo do tempo também contribuíram para a série de dados meteorológicos da Embrapa Belém, incluindo: Professor **Francisco Barreira Pereira**, Engenheiro Agrônomo **José de Souza Rodrigues**, Engenheira Agrônoma **Margarida Maria Maués da Silva**, Engenheiro Civil **Rizio Djard de Mendonça**, Pesquisador **Samuel Almeida**, Meteorologista **Sebastião F. C. Moutinho**, Meteorologista **Adiróseo Raimundo Alves dos Santos** e ao pessoal que trabalhou como observador meteorológico, entre os quais: **Teodorina do Espírito Santo Lopes**, **José Luiz de Souza Coelho** e **José Dugan Paula da Rocha**.

Agradecimento especial aos empregados da Embrapa Amazônia Oriental, **Francisco Roberto Xavier do Nascimento**, **Raimundo Bento Ferreira** e **Reginaldo Ramos Frazão**, pela continuação das tarefas de observação meteorológica, bem como ao Professor **Francisco Barreira Pereira**, um dos primeiros entusiastas da agroclimatologia no Pará e que, em 1966, iniciou essa série de dados, com a instalação da estação meteorológica em campus do antigo Ipean, em substituição a estação meteorológica do Inmet, desativada a partir de 1960.

A estação da Embrapa Amazônia Oriental tem sido referência para várias instituições, incluindo: Sudam, UFPA, FCAP, Ceplac, Museu Goeldi e Unama. Para as instituições de ensino superior e médio, em Belém, esta estação tem sido referência para aulas demonstrativas.

Apresentação

O trabalho intitulado *Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos* reúne importantes informações sobre a natureza do clima da cidade de Belém.

É resultado de esforços de autores e colaboradores que, por longo tempo, vêm reunindo e analisando informações meteorológicas de Belém, onde a maioria foi obtida da estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental.

Embora as informações tenham sido obtidas da estação da Embrapa, e divulgadas sob a forma de boletins e anuários, verificou-se a necessidade de se elaborar um trabalho de forma mais abrangente como contemplado neste trabalho, que se destina a todos que buscam promover e desenvolver estudos aplicados em diversas áreas, onde o clima tem influência marcante, incluindo agricultura, ciências ambientais, turismo e defesa civil do município.

Emanuel Adilson de Souza Serrão
Chefe-Geral da Embrapa Amazônia Oriental

Sumário

Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos	11
Introdução	11
Metodologia	12
Dinâmica do Clima de Belém.....	14
Características Climáticas no período de 1967 a 1996.....	15
Flutuação Termopluviométrica no Período de 1896 a 1996	23
Conclusões	28
Referências Bibliográficas.....	28

Aspectos Climáticos de Belém nos Últimos Cem Anos

Therezinha Xavier Bastos

Nilza Araújo Pacheco

Dimitrie Nechet

Tatiana Deane de Abreu Sá

Introdução

Este trabalho é resultado de estudos ligados ao subprojeto de pesquisa: *Avaliação do clima para atividades agrícolas na Amazônia*, liderado pela Embrapa Amazônia Oriental e concluído em 1999. Tem como principal objetivo colocar à disposição de profissionais cujas atividades estão sujeitas aos rigores do clima, notadamente os ligados à agricultura, pecuária, ciências ambientais, construtores de edifícios e estradas, os principais aspectos climáticos de Belém, relativos ao período de 1896 a 1996.

A região de Belém desempenha papel importante para o desenvolvimento agrícola do nordeste paraense, além de sediar instituições de pesquisa agropecuárias como a Embrapa Amazônia Oriental, Faculdade de Ciências Agrária do Pará —FCAP, Universidade Federal do Pará —UFPA, Museu Paraense Emílio Goeldi — MPEG e Comissão Executiva do Plano de Valorização da Lavoura Cacaueira — Ceplac. Estas instituições dispõem de campos experimentais dentro da grande Belém, contribuindo para que a paisagem da região apresente, além do aspecto urbano, aspecto agrícola com comunidades vegetais, constituídas de vários sistemas de produção agrícola, incluindo capoeiras e fragmentos de floresta.

A região de Belém está localizada às margens da Baía do Guajará, na confluência com o Rio Guamá à aproximadamente 120 km do Oceano Atlântico, apresentando uma área de 719 km², com altitude média de 12 m. Sua principal característica fisiográfica, além da baixa altitude, é de apresentar inúmeros pequenos corpos de água, conhecidos regionalmente como furos e igarapés, os quais associados à baixa latitude, condicionam à região, um ambiente climático quente e úmido.

Sobre o clima de Belém, vários aspectos têm sido descritos, destacando-se os artigos sobre tendências de temperatura e chuva, variabilidade das chuvas para vários períodos de tempo e associada ao horário de maior ocorrência, estimativa de radiação solar global e determinação de velocidade do vento (Santos, 1993; Bastos et al. 1986; Nechet, 1984b e 1993; Diniz et al. 1984; Bastos et al. 1999).

O Laboratório de Climatologia da Embrapa Amazônia Oriental, através de seus pesquisadores e colaboradores, desde a época do antigo Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Norte — Ipean, vem fornecendo ao público interessado informações meteorológicas coletadas a partir de 1967, em sua estação situada no campus de Belém, através de informativos meteorológicos, anuários climatológicos e boletins agrometeorológicos, os quais têm servido de base para importantes trabalhos dentro de diversas áreas de pesquisa, incluindo, urbanística, ambiental, agrícola e pecuária (Boletim... 1967; Anuário... 1971; Bastos & Diniz, 1974; Diniz & Bastos, 1980; Nascimento, 1995; Pacheco, 1999; Bastos & Pacheco, 1999; Cardoso et al. 1999).

O trabalho objetiva ainda disponibilizar ao público interessado, uma visão do clima local a partir de séries de dados que, em conjunto, totalizam cem anos, considerando que a interpretação do ambiente climático de um local tem maior validade quando efetuado a partir de 30 anos ou mais .

Metodologia

A descrição da dinâmica do clima foi baseada em trabalhos publicados, enquanto que para a caracterização climática do período de 1967 a 1996, foram utilizados dados diários de temperatura e umidade do ar, brilho solar, precipitação pluviométrica e vento, obtidos na estação meteorológica da Embrapa Amazônia Oriental, situada a 01° 28' de latitude de sul e 48° 27' de longitude oeste de Greenwich, em Belém. Os dados meteorológicos foram obtidos de instrumentos

meteorológicos de leitura direta (termômetros de máxima e de mínima, termômetros de bulbos seco e úmido) e registradores mecânicos: anemógrafo (a 2 m de altura), pluviógrafo, heliógrafo e termohigrógrafo, e a radiação solar foi estimada pela equação de Angstrom a partir de dados de heliógrafo.

A caracterização climática envolveu a utilização das seguintes etapas:

determinação de valores diários e mensais dos elementos meteorológicos através de estatísticas como médias e somatórias;

aplicação de modelos agrometeorológicos convencionais para a determinação de altura solar, fotoperíodo e balanço hídrico (Vianello & Alves, 1991);

determinação de tipos climáticos segundo a metodologia proposta por Köppen e Thornthwaite, citados em Bastos (1990);

caracterização de períodos de chuva seguindo a metodologia adotada por Bastos & Pacheco (1999), que utiliza o conceito de chuva efetiva, evapotranspiração de referência e resultados do balanço hídrico. Considera-se que a chuva é efetiva, quando o total diário ou mensal é igual ou acima da evapotranspiração de referência, uma vez que esse elemento indica a quantidade de água necessária para atender as necessidades de água de uma superfície vegetada (Oldeman & Frére, 1982; Bastos, 1990; Guyot, 1997). Dentro desse critério, um mês foi considerado: chuvoso ou úmido, quando $P \geq ET$, onde P = precipitação do mês e ET = evapotranspiração de referência do mês; estiagem, quando $P < ET$, seco, quando $P < ET/2$ e transição quando, $P > ET/2$. Considerou-se, ainda, que valores mensais de deficiência hídrica abaixo de 20 mm apresentam pequeno ou nenhum prejuízo para a produção vegetal (Bastos, 2000).

A flutuação termopluviométrica foi efetuada comparando-se dados mensais de temperatura do ar e chuva de três séries históricas: 1896-1922, 1931-1960 e 1967-1996. O processo de obtenção de dados da última série já foi criteriosamente descrito. Para os períodos de 1896 a 1992 e 1930 a 1960, utilizaram-se informações publicadas (Cunha & Bastos, 1973; Brasil, 1968) e de informações junto ao Inmet.

Dinâmica do Clima de Belém

Os principais mecanismos que explicam o regime das chuvas dentro do contexto de escala global são: o resultado da combinação da atuação predominante da Zona de Convergência Intertropical - ITCZ, resultante da convergência dos ventos alísios de nordeste e sudeste, que é caracterizada por ventos fracos e precipitações intensas (Vianello & Alves, 1991), das brisas marítimas, da penetração de sistemas frontais oriundos do sul do continente e da fonte de vapor representada pela cobertura vegetal da região. Dentro do contexto mais local, pode-se dizer que as chuvas em Belém são resultantes das seguintes situações:

de dezembro a maio, época mais chuvosa, a precipitação é originada pela ITCZ e pelos efeitos de mesoescala, como as linhas de instabilidades que se formam na costa Atlântica da Guiana e Pará, e propagam-se para o oeste como uma linha de cumulonimbus. Estas linhas originam-se em associação à brisa marítima e se formam no período da tarde;

de junho a agosto, final do período chuvoso, as chuvas são provocadas por efeitos locais, como as brisas terrestres e marítimas e por Ondas de Este, vindas nas correntes dos ventos alísios, geralmente os do sudeste. Estas ondas são fenômenos que se formam no campo da pressão atmosférica, ao longo dos alísios, na faixa tropical do globo, deslocando-se de leste para oeste (Vianello & Alves, 1991);

de setembro a novembro, período de estiagem, a precipitação geralmente é provocada pelos fenômenos de mesoescala.

Belém se caracteriza ainda por apresentar temperaturas sempre altas, forte convecção, ar instável e alta umidade do ar favorecendo a formação de nuvens convectivas. As temperaturas altas estão associadas ao elevado potencial de radiação solar incidente, embora grande parte da energia seja convertida em calor latente de evaporação e outra parte convertida em calor sensível que é destinado ao aquecimento do ar. A forte convecção, a instabilidade e a alta umidade do ar favorecem a formação de nuvens convectivas, dando origem a uma grande incidência de precipitação na forma de pancadas, principalmente à tarde, situação característica de regime de chuva do tipo continental (Nechet, 1997). Segundo esse autor, a freqüente formação de nuvens do tipo cumulonimbus sobre Belém, favorece a ocorrência de vários tipos de trovoadas, cuja média anual está em torno de 165 dias. Esse tipo de fenômeno é produzido por

nuvens cumulonimbus e se manifesta com descargas elétricas, chuvas intensas e ventos muito fortes e, em algumas situações, a trovoada pode evoluir até o nível de tornado. De acordo com Nechet (1984a), os tornados que ocorrem em Belém são do tipo F0, e podem ocorrer em qualquer época do ano. Um tornado ocorrido em Belém e documentado por esse autor, em julho de 1984, na escala Fujita, alcançou a velocidade entre 60 e 120 km/hora, com duração em torno de dois minutos e percorreu uma distância variando de 100 m a 200 m, com diâmetro aproximado de 10 m.

Características Climáticas no período de 1967 a 1996

Antes de apresentar as características climáticas de Belém e para melhor entendimento dessas condições, é interessante definir o termo clima. Etimologicamente, a palavra significa “inclinação” e os antigos definiam as condições do clima pela inclinação dos raios solares de acordo com a latitude do local em estudo (Argentiére, 1957). A definição clássica de clima, utilizada até o dia de hoje, diz que: “O clima é o conjunto dos fenômenos meteorológicos que caracterizam o estado médio da atmosfera em um ponto qualquer da Terra” e a Organização Meteorológica Mundial — OMM, atualmente define o clima como sendo a síntese das condições meteorológicas correspondentes a uma dada área, baseada em um grande período, caracterizada pelas estatísticas, das variáveis referentes ao estado da atmosfera naquela área. A partir dessa visão e considerando o período de 1967 a 1996, os principais elementos do clima apresentaram as seguintes condições:

Temperatura do Ar

As temperaturas médias, máximas e mínimas no período de 1967 a 1996, foram 26.4 °C, 31.8 °C e 22.9 °C, respectivamente (Tabela 1) e apresentaram pouca variabilidade térmica dentro do ano. De acordo com a Fig. 1, verifica-se a distribuição mensal das temperaturas máximas e mínimas do ar durante o período mencionado, e a ocorrência de pequena flutuação térmica durante o ano. As temperaturas sempre elevadas são explicadas pela situação geográfica de proximidade do equador e pela baixa altitude local, e a pequena variação térmica está associada com o regime das chuvas na região, visto que as temperaturas máximas menos acentuadas com maior frequência ocorrem por ocasião do período mais chuvoso, enquanto as mais elevadas coincidem com o período menos chuvoso.

Tabela 1. Dados meteorológicos médios e extremos de Belém. Período: 1967 a 1996.

Mês	Temperatura do ar °C					UR(%)	Chuva (mm)			Vento	
	Máx.	Mín.	TXA	TMA	Média		Total	Máx. 24h	Ins. (h)	D	V m/s
Jan	31,1	22,9	34,3	20,0	26,0	88	378,1	107	140,9	NE	1,3
Fev	30,7	23,0	34,7	20,2	25,8	89	426,6	130	108,4	NE	1,3
Mar	30,7	23,1	36,0	20,5	26,0	89	441,2	136	111,5	NE	1,3
Abr	31,2	23,3	34,0	20,7	26,2	89	381,5	125	134,2	E	1,3
Mai	31,8	23,3	34,6	21,0	26,4	86	299,8	105	190,4	E	1,4
Jun	32,0	22,9	33,9	19,9	26,4	83	172,0	95	236,7	E	1,6
Jul	32,0	22,5	34,0	20,0	26,2	82	160,7	101	259,0	E	1,5
Ago	32,4	22,6	35,2	20,5	26,5	81	140,0	88	268,4	E	1,5
Set	32,5	22,6	35,2	19,4	26,6	81	139,8	54	242,5	NE	1,6
Out	32,6	22,7	35,0	20,0	26,8	80	119,3	73	244,2	NE	1,6
Nov	32,7	22,9	35,7	20,0	27,0	80	122,7	59	214,8	NE	1,6
Dez	32,2	23,0	36,6	20,4	26,7	83	219,6	109	187,3	NE	1,4
Ano	31,8	22,9	36,6	19,4	26,4	84	3001,3	136	2338,3	NE	1,5

Máx. = temperatura máxima; Mín. = temperatura mínima; TXA = temperatura máxima absoluta; TMA = temperatura mínima absoluta; Média = temperatura média; UR = umidade relativa; Total = chuva total; Máx. 24h = Chuva máxima em 24 horas; h = insolação; D = direção do vento e V m/s = velocidade do vento.

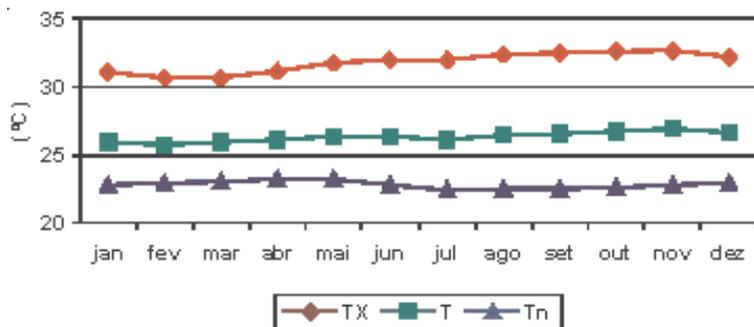


Fig.1. Distribuição mensal da temperatura do ar em Belém, durante 1967 a 1996. TX = temperatura máxima; T = temperatura média; Tn = temperatura mínima.

Fotoperíodo, Insolação e Radiação Solar

Em Belém, dada a baixa latitude, o fotoperíodo, que é a duração do dia astronômico e que corresponde ao número máximo possível de horas de insolação ou brilho solar, na ausência de nuvens é em torno de doze horas. Todavia, como era esperado, esse potencial de horas de insolação foi reduzido pela considerável concentração de nuvens, principalmente durante o período chuvoso, e assim o total anual de insolação ficou em torno de 2.300 h (Tabela 1), o que implicou em valor médio de 6.4 horas por dia.

Em termos de radiação solar global, a condição de baixa latitude de Belém faz com que a altura do sol seja sempre elevada às doze horas, com a menor altura acima de 60° , condicionando assim a um elevado potencial de radiação solar incidente nos meses de maior altitude solar, porém como já mencionado, a considerável concentração de nuvens na época chuvosa reduziu o potencial de brilho solar e, conseqüentemente, a radiação solar. Na Fig. 2, verifica-se a distribuição mensal da porcentagem de insolação ou razão de insolação: n/N , em que n é a insolação ou brilho solar ocorrido e N é o máximo possível de horas brilho solar e a radiação solar global estimada em W/m^2 , onde se pode verificar que os valores mais elevados de radiação solar global estiveram em torno de $500 W/m^2$, ocorrendo em geral de agosto a outubro e a menor intensidade (valores abaixo de $460 W/m^2$ por dia) ocorrendo de dezembro a maio. Nesses meses, foram registrados os menores índices de brilho solar em termos de razão de insolação (abaixo de 60 %) e totais mensais de horas de insolação (abaixo de 200 h). A relação da altura solar, com a radiação global, brilho solar e fotoperíodo em Belém, pode ser observada na Tabela 2.

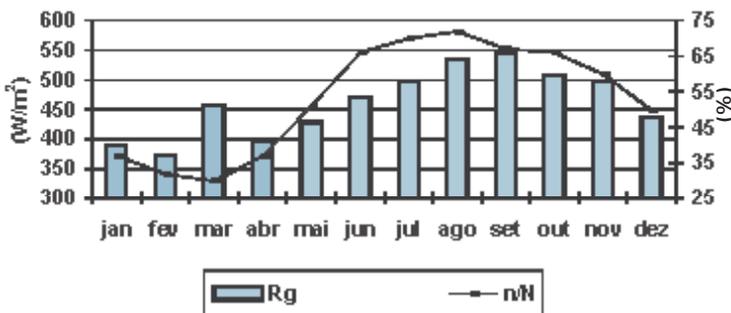


Fig.2. Distribuição mensal da razão de insolação (n/N) em porcentagem e da intensidade de radiação solar (R_g) em W/m^2 , para a região de Belém.

Tabela 2. Altura do sol, radiação solar, insolação e fotoperíodo em Belém, em 1996.

Mês	A.sol graus	Radiação solar				Total Mj/m ²	Ins (h)	N (h)
		9h W/m ²	12h W/m ²	17h W/m ²	Média W/m ²			
Jan	70	399,59	621,93	87,62	358,52	15,57	3,7	12,05
Fev	78	349,48	545,31	71,38	312,89	13,56	2,1	12,02
Mar	87	442,62	685,12	97,80	398,15	17,20	4,1	12,00
Abr	79	334,53	525,79	67,32	302,03	13,03	2,0	11,97
Mai	70	519,48	804,10	11,43	469,44	20,21	7,2	11,95
Jun	66	581,93	897,97	13,44	525,87	22,60	9,5	11,94
Jul	67	432,77	672,27	90,30	390,46	16,78	5,4	11,94
Ago	75	605,17	930,81	141,17	546,62	23,54	8,9	11,97
Set	85	397,36	618,42	85,09	358,32	15,45	3,3	11,99
Out	82	606,68	924,99	141,30	542,55	23,48	7,9	12,02
Nov	72	581,40	889,77	136,65	520,50	22,56	7,8	12,04
Dez	68	621,88	950,72	148,07	556,08	24,14	9,2	12,05

A.sol = Altura do sol em graus as 12 horas; valores médios de radiação solar global por hora e dia em W/m² e total dia em Mj/m²
h = insolação e N = duração do fotoperíodo, para o 15 ° dia de cada mês.

Umidade Atmosférica

A umidade do ar, que é a água existente na atmosfera na fase de vapor, originada pela evaporação da água em seu estado líquido, apresentou média anual de umidade relativa no período considerado de 84 % (Tabela 1). A umidade relativa é a forma mais conhecida de umidade atmosférica e corresponde a porcentagem entre a pressão do vapor existente no ar, também conhecida como pressão parcial e a pressão máxima ou de saturação do vapor de água na pressão e temperatura em que o ar se encontra (Vianello & Alves, 1991). Esse elemento apresentou estreita relação com a distribuição mensal das chuvas e com a temperatura do ar no decorrer do dia. Na Fig. 3, verifica-se a distribuição mensal da umidade relativa relacionada com a distribuição das chuvas, e que os valores mais elevados de umidade ocorreram nos meses de maior pluviosidade. Com relação à temperatura do ar, verificou-se relação inversa do seguinte modo: à noite, quando a temperatura do ar esteve menos elevada, a umidade aumentou atingindo valores próximos ou acima de 95 % a partir das 24 horas, mantendo-se neste nível até entre seis e sete horas da manhã. Entre 12 e 15 horas, a umidade diminuiu atingindo valores próximos de 50 %, registrando-se nesse período elevado déficit de pressão de saturação de vapor de água. Nesse intervalo do dia, como era esperado, a temperatura do ar esteve mais alta (em geral acima de 30 °C). Na Fig. 4 mostra-se a concentração de vapor de água na atmosfera para a região de Belém, nas formas de umidade relativa, pressão parcial do vapor d' água e déficit de saturação, em termos mensais, onde se pode verificar que durante o período menos chuvoso (junho a dezembro) os déficit de saturação de vapor de água foram mais elevados (acima de 5 mb).

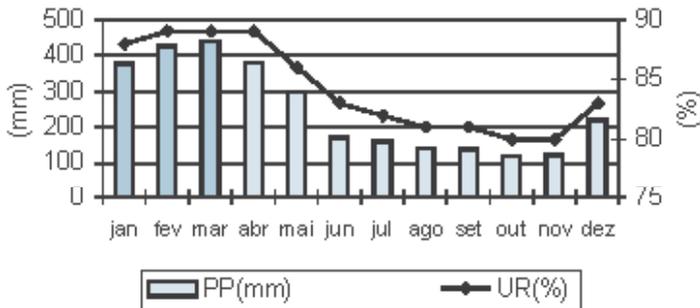


Fig.3. Distribuição mensal da umidade relativa do ar (UR) relacionada com a chuva (PP) na região de Belém.

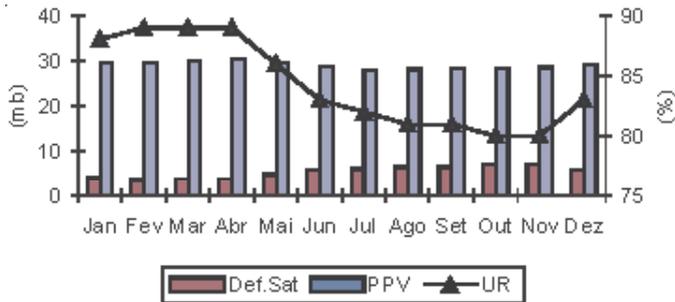


Fig.4. Umidade relativa em porcentagem (UR), pressão parcial de vapor de água em mb (PPV) e déficit de saturação em mb (Def.Sat.) para a região de Belém.

Regime das Chuvas

Os totais de chuva anual no período de 1967 a 1996, oscilaram entre 2.188 mm, em 1983, e 3.980 mm, em 1989, e com a média do período alcançando valor de 3.001 mm. Verifica-se na Fig. 3, a distribuição das chuvas relacionadas à umidade do ar durante os meses, e que a maior pluviosidade ocorreu com maior frequência entre fevereiro e abril e a maior diferença, entre os totais mensais de chuva registrou-se entre os meses de março e outubro. Em termos de chuvas máximas em 24 horas, Bastos et al. (1998) mostraram que os valores máximos de chuva de 24 horas oscilaram entre 59 mm e 136 mm (Tabela 1), e o valor máximo observado correu em março de 1985, com tempo médio de retorno de 30 anos. Para os anos de menor e maior pluviosidade, dentro do período estudado, foram registrados 135 e 186 dias, respectivamente, com totais de chuva igual ou acima de 5 mm.

Com relação ao horário de ocorrência das chuvas, considerando o do dito popular que diz que Belém se caracteriza pelos encontros após as chuvas das três horas da tarde, tem sido observado que a maior concentração das chuvas em Belém ocorrem no período da tarde. Por exemplo, Nechet (1984b, 1997) observou a seguinte variabilidade nos horários dos picos dos eventos de precipitação: período mais chuvoso (dezembro a maio) entre 14 e 15 horas, final do período chuvoso (junho a agosto) entre 17 e 21 horas e no período de estiagem (setembro a novembro) entre 15 e 16 horas. Tal situação pode ser atribuída à natureza das chuvas equatoriais, que são estimuladas pelas máximas temperaturas diurnas que, por sua vez, geram maior convecção (Miller, 1966). Segundo Santos (1993), as chuvas da tarde em Belém são de origem convectivas, com formação local cujo desenvolvimento das células começa durante o período da manhã.

Períodos de Chuva

A distribuição das chuvas durante o ano, em termos médios em Belém, definiu a ocorrência de dois períodos de chuva: chuvoso e de estiagem. Todavia, ao longo do tempo foi possível, em alguns anos, ocorrer ainda os períodos seco e de transição. De acordo com Bastos (2000), as principais características desses períodos são:

Período chuvoso - Definido como período em que, em uma seqüência de meses, o total pluviométrico mensal é maior ou igual a evapotranspiração de referência, com ocorrência de excedentes hídricos. É resultante da atuação de vários

mecanismos formadores de chuva, sendo os mais conhecidos: Zona de Convergência Intertropical – ZCI, brisas marítimas, sistemas frontais oriundos do sul do continente e extensa cobertura florestal atuando como fonte de calor latente de evaporação. Esse período apresenta duração média de 10 meses estendendo-se de dezembro a setembro.

Período de estiagem - Período em que o montante mensal das chuvas está abaixo da evapotranspiração sem, todavia, evidenciar deficiências hídricas. Em geral, ocorre entre outubro e novembro.

Período seco - Ocorre quando o total pluviométrico mensal está muito abaixo da evapotranspiração de referência, provocando deficiência hídrica. Adota-se como indicador para esse período a relação $P < ET/2$, onde: P é igual ao total pluviométrico mensal e ET é igual a evapotranspiração de referência mensal. Sob condições média e na maioria dos anos não se registra esse período em Belém.

Período de transição - Ocorre após o período seco, quando as chuvas começam a aumentar, todavia o montante mensal, em geral, alcança nível pouco abaixo ou levemente acima da evapotranspiração de referência, sem causar excedente hídrico.

Vento

A velocidade do vento a 2 m de altura em Belém é baixa, e a média do período de 1989 a 1995 acusou valor anual de 1,5 m/s (Tabela 1), com pequena variação entre os meses, verificando-se porém que a menor média (1,3 m/s) ocorreu nos meses de maior pluviosidade (janeiro, fevereiro, março e abril) enquanto que a maior média (1,6 m/s) ocorreu com maior frequência nos meses de menor pluviosidade (setembro, outubro e novembro). A influência da concentração das chuvas na velocidade do vento para a região de Belém pode ser visualizada na Fig. 5, onde se compara a variação da velocidade do vento durante dois dias climaticamente opostos (um dia chuvoso, com baixa razão de insolação e um dia sem chuva, com alta razão de insolação). Nessa Figura observa-se que no dia chuvoso, a velocidade média foi bem menor que no dia seco e que nas duas situações, os valores mais baixos ocorrem durante a parte noturna. No período diurno, os valores mais elevados ocorreram entre 9 e 16 horas. Com relação a direção, verificou-se que a primeira e a segunda predominantes foram respectivamente, NE e E.

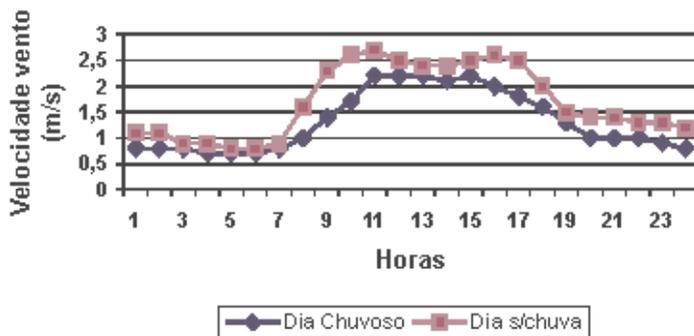


Fig.5. Distribuição horária da velocidade do vento em Belém em dia chuvoso, no mês de janeiro, e em dia sem chuva, no mês de setembro.

Os valores médios dos elementos meteorológicos acima descritos e observados na Estação da Embrapa em Belém, no período de 1967 a 1996, são apresentados na Tabela 1 e, de acordo com as análises desses elementos no contexto do balanço hídrico e da classificação climática verifica-se a seguinte situação:

Balanço Hídrico

A energia recebida proporcionou, em termos anuais, uma demanda evaporativa (1.606 mm) muito menor que a chuva (3.001 mm), resultando em elevado excedente hídrico anual (1.402 mm.). A distribuição da demanda evaporativa ou evapotranspiração de referência e das chuvas no decorrer dos meses, produziu excessos e deficiências de água para as culturas em determinados períodos, do seguinte modo: de janeiro a setembro, o total de chuvas (2.540 mm) excedeu bastante a evapotranspiração de referência (1.174 mm), proporcionando considerável excedente hídrico (1.403 mm); de outubro a novembro, o total de chuva (242 mm) foi um pouco menor que a evapotranspiração (289 mm), resultando em reduzida deficiência hídrica (8 mm); em dezembro, o total das chuvas (220 mm) novamente excedeu a evapotranspiração (143 mm), resultando primeiramente em reposição de água no solo, seguido de excedente hídrico (38 mm). Na Fig. 6, observa-se a distribuição mensal dos principais componentes do balanço hídrico na região de Belém, com relação ao período de 1967 a 1996.

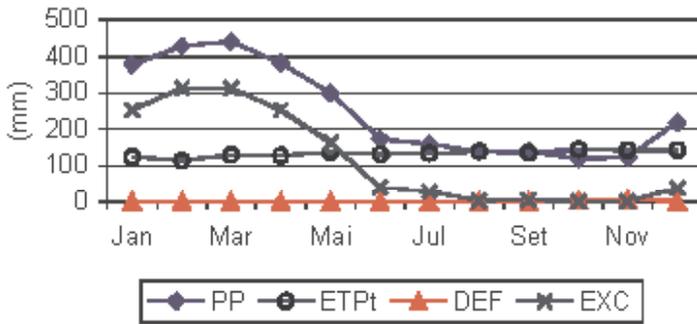


Fig.6. Balanço hídrico mensal, considerando retenção de água no solo de 125 mm para a região de Belém, PA, durante o período de 1967 a 1996. PP (chuva mensal), ETPt (evapotranspiração de referência), DEF (deficiência de água) e EXC (excedente de água).

Tipos Climáticos

Foram evidenciados os tipos climáticos Afi, segundo Köppen e $B_4rA'a'$, da classificação de Thornthwaite. No primeiro caso, pode-se dizer que Belém pertence à categoria de clima chuvoso, não apresentando estação seca. No segundo caso, Belém se enquadra em clima úmido da 4a classificação, podendo apresentar ausência ou pequena deficiência hídrica. Ambos pertencem ainda à classe de clima tropical, sem ocorrência de inverno estacional.

Flutuação Termopluviométrica no Período de 1896 a 1996

Optou-se pela análise dos elementos temperatura e chuva porque são fundamentais para a manutenção da vida, e seus efeitos combinados controlam a quantidade de água disponível para o crescimento de plantas e animais. Com relação à chuva, pode-se ainda acrescentar que de todos os componentes integrantes do processo das mudanças globais, incluindo mudanças na composição da atmosfera, mudança no uso da terra e mudança na biodiversidade, a mudança climática, particularmente, a mudança no regime das chuvas, é a que apresenta, na Amazônia, o maior potencial para alterar o funcionamento

dos seus sistemas terrestres. Isto ocorre devido ao efeito direto da precipitação sobre os sistemas naturais e antrópicos, a sua importância no ciclo hidrológico e a associação com os outros elementos climáticos: radiação global, temperatura e umidade do ar.

Temperatura do Ar

Na Fig. 7, verifica-se a variação das temperaturas médias mensais em Belém, para três períodos de tempo: 1896-1922; 1930-1960 e 1967-1996, nos quais pode-se observar que a temperatura do ar foi sempre mais elevada no último período. Analisando-se as médias anuais desses períodos, respectivamente, 25,6 °C; 25,9 °C e 26,4 °C (Tabelas 3, 4 e 1), verifica-se que o maior incremento da temperatura ocorreu entre o primeiro período (o mais antigo) e o terceiro período (o mais recente) indicando que em Belém nos últimos 100 anos, houve aumento de temperatura do ar de 0,8 °C.

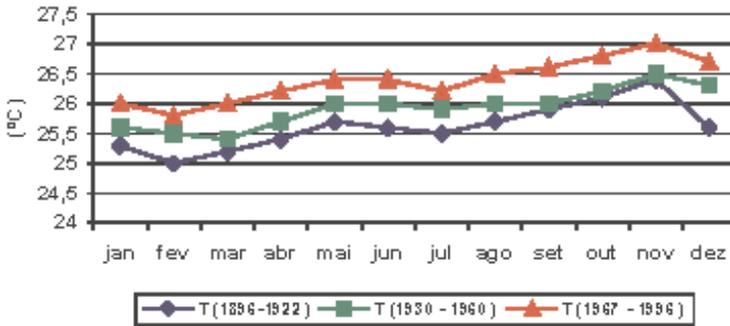


Fig.7. Variação da temperatura média do ar ao longo do tempo em Belém.

Tabela 3. Dados meteorológicos médios e extremos de Belém. Período: 1896 – 1922.

Mês	Temperatura do Ar °C					UR (%)	Chuva (mm)	
	Máx	Mín	TXA	TMA	Média		Total	Máx (24h)
Jan	31,2	22,2	35,0	19,0	25,3	92	317,9	96,0
Fev	30,8	22,2	35,0	19,8	25,0	92	347,1	206,0
Mar	30,7	22,4	34,9	19,0	25,2	92	384,1	125,0
Abr	30,9	22,5	37,1	20,3	25,4	92	338,5	131,5
Mai	31,4	22,6	34,5	19,8	25,7	90	262,4	92,3
Jun	31,5	22,0	33,8	20,0	25,6	88	181,8	63,0
Jul	31,5	21,7	34,3	18,0	25,5	87	172,8	87,0
Ago	31,8	21,7	35,5	20,0	25,7	87	125,2	50,5
Set	32,1	21,6	35,7	18,1	25,9	87	96,4	71,3
Out	32,5	21,6	36,6	19,5	26,1	86	79,9	41,0
Nov	32,9	21,8	37,5	19,4	26,4	86	70,0	44,2
Dez	32,3	21,9	37,0	19,0	25,6	88	162,0	141,5
Ano	31,6	22,0	37,5	18,0	25,6	89	2538,1	206,0

Máx. = temperatura máxima; Mín. = temperatura mínimas; TXA = temperatura máxima absoluta; TMA = temperatura mínima absoluta; Média = temperatura média; UR = umidade relativa; Total = chuva total; Máx. 24h = chuva máxima em 24 horas.

Fonte: Cunha & Bastos (1973).

Tabela 4. Dados meteorológicos médios e extremos de Belém. Período: 1930 – 1960.

Mês	Temperatura do ar °C					UR(%)	Chuva (mm)		Ins (h)
	Max	Min	TXA	TMA	Média		Total	Máx (24h)	
Jan	31,0	22,6	34,6	19,5	25,6	89	318,1	78,2	156,6
Fev	30,4	22,7	33,7	20,2	25,5	91	407,1	118,2	112,3
Mar	30,3	22,8	34,5	19,6	25,4	91	436,3	102,1	102,2
Abr	30,8	23,8	34,1	21,1	25,7	90	381,9	101,1	131,5
Mai	31,4	22,9	34,1	20,4	26,0	87	264,5	125,6	195,8
Jun	31,8	22,5	34,1	20,2	26,0	84	164,7	63,0	239,5
Jul	31,7	22,2	34,2	19,5	25,9	83	160,9	102,0	268,1
Ago	32,0	22,1	34,0	19,1	26,0	83	116,2	54,6	267,3
Set	31,9	22,0	33,7	19,4	26,0	84	119,7	64,3	235,2
Out	32,0	22,0	34,4	18,9	26,2	83	104,6	61,3	247,0
Nov	32,2	22,1	35,1	19,4	26,5	82	90,0	98,4	220,7
Dez	31,8	22,4	35,4	19,3	26,3	85	197,3	84,6	213,2
Ano	31,4	22,4	35,4	18,9	25,9	86	276,6	125,6	2389,4

Máx. = temperatura máxima; Mín. = temperatura mínimas; TXA = temperatura máxima absoluta; TMA = temperatura mínima absoluta; Média = temperatura média; UR = umidade relativa; Total = chuva total ; Máx. 24h = chuva máxima em 24 horas; h = insolação.

Fonte: Brasil (1968).

Precipitação Pluviométrica

Nas Fig. 8 e 9 apresentam-se, respectivamente, totais mensais e de máximas de 24 horas de chuva em Belém, para os períodos de tempo: 1896-1922; 1931-1960 e 1967-1996, onde se pode observar que houve predominância de totais mais elevados de chuva nos últimos períodos.

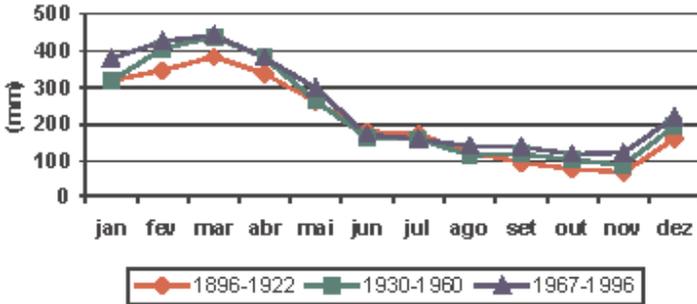


Fig.8. Totais mensais de chuva em Belém, em três períodos de tempo: 1896 - 1922, 1931 - 1960 e 1967 - 1996.

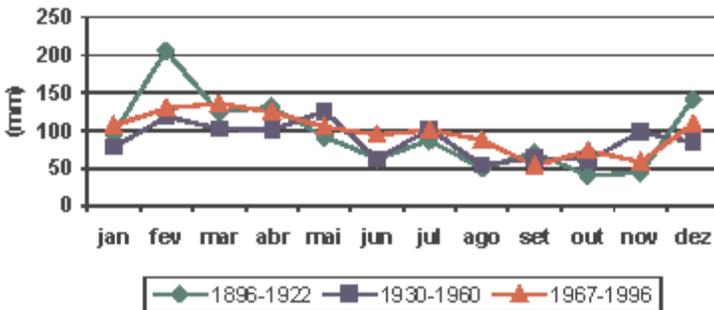


Fig.9. Totais máximos de chuva em 24 horas em Belém, em três períodos de tempo: 1896 - 1922, 1931 - 1960 e 1967 - 1996.

Analisando-se as médias anuais desses períodos, respectivamente 2.538 mm, 2.752 mm e 3.001 mm, verifica-se que o maior incremento das chuvas ocorreu entre o primeiro e o terceiro período, indicando que nos últimos 100 anos, em Belém, houve aumento no total pluviométrico anual de 463 mm. Nechet (1993), analisando a precipitação em Belém nos períodos: 1901-1930, 1931-1961 e 1961-1990, observou também aumento de precipitação nos totais médios anuais (300 mm). Em termos de duração nos períodos de chuva, os resultados obtidos (Fig. 10), da série 1896-1996, apontam para um período chuvoso que variou de 5 a 11 meses, sendo mais freqüente a duração entre 7 e 8 meses, enquanto o período de estiagem variou entre zero e 6 meses, sendo mais freqüente a duração entre 1 a 4 meses. Os períodos secos e de transição oscilaram entre zero e 3 meses, e na maioria dos anos estudados não houve ocorrência desses períodos, podendo-se dizer que em Belém, a flutuação na duração dos períodos de chuva é bastante variável, notadamente com relação aos períodos chuvoso e de estiagem, além de que a maior duração desses períodos ocorreu com maior freqüência nos últimos 30 anos.

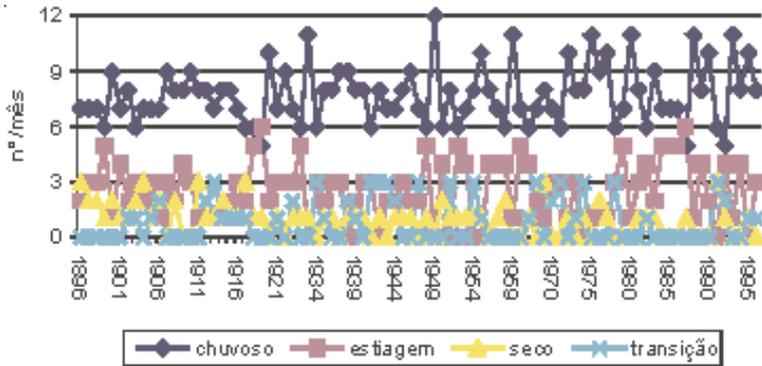


Fig.10. Flutuação de períodos de chuva em Belém durante o período de 1896 a 1996.

A situação do aumento das chuvas ao longo do tempo observado em Belém pode ser atribuída às alterações ocorridas na região, devido ao processo de urbanização, que implicou em maior aquecimento da superfície ao nível do solo, maior convecção e, conseqüentemente, em maior aumento de chuvas por efeito local.

Conclusões

As principais características climáticas da região de Belém em termos médios anuais são:

Temperatura do ar 26,7 °C, umidade relativa 84 %, precipitação pluviométrica 3.001 mm e 2.338 horas de brilho solar.

Na maioria das vezes, ocorrem dois períodos de chuva: um chuvoso e outro de estiagem e pequeno déficit hídrico.

O clima ao final da série (1896-1996) apresenta-se mais quente e mais chuvoso do que no início da mesma

Referências Bibliográficas

ANUÁRIO AGROMETEOROLÓGICO DO IPEAN. Belém: IPEAN, v.5, 1971.

ARGENTIERI, R. **A atmosfera**. São Paulo: Pincar, 1957, 244p.

BASTOS T.X.; SOUZA FILHO, R.M.; PACHECO, N.A. **Velocidade e direção do vento na região de Belém (resultados preliminares)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11.; REUNIÃO LATINOAMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999. Florianópolis. **Programa e resumos dos anais**. Florianópolis: SBA, 1999. p.629.

BASTOS, T.X., DINIZ, T.D. de A.S. **Temperatura em solo de floresta equatorial úmida**. Belém: IPEAN, 1974. p.73-83. (IPEAN. Boletim Técnico, 64).

BASTOS, T.X.; CHAIB FILHO, H.; DINIZ, T.D. de A.S.; LOBATO, V.H. de B. **Flutuação das chuvas na região de Belém em distintos intervalos de tempo, período 1967 – 1983**. In: SIMPOSIO DO TROPICO UMIDO, 1, 1984, Belém, **Anais**. Belém: Embrapa-CPATU, 1986. v.1, p. 37 – 43. (Embrapa-CPATU. Documentos, 36).

BASTOS, T.X.; MARQUES, A.F.S., ROCHA, M.S.S.; OLIVEIRA, R.P., PACHECO, N.A, SÁ T.D. de A. Chuvas máximas de 24 horas em Belém, probabilidade de ocorrência e tempo de retorno. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10.; CONGRESSO DA FLISMET, 8., 1998., Brasília. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMET, 1998. 1 CD-ROM.

BASTOS, T.X.; PACHECO, N.A. **Características agroclimáticas de Igarapé-Açu, PA e suas implicações para as culturas anuais: feijão caupi, milho, arroz e mandioca.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 30p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 25)

BASTOS, T.X. Aspectos agroclimáticos do dendezeiro na Amazônia Oriental. In: VEIGAS, I de J. M.; MULLER, A. A. **A Cultura do dendezeiro na Amazônia.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental; Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2000. p.48-60.

BASTOS, T.X. **Delineating agroclimatic zones for deforested areas in Para State, Brazil.** 1990. 170f. Doctor of Philosophy thesis in Geography. University of Hawaii.

BOLETIM AGROMETEOROLÓGICO DO IPEAN. Belém: IPEAN, v.1, 1967.

BRASIL. Ministério da Agricultura. Escritório de Meteorologia. **Normais climatológicas: Acre-Amazonas-Pará-Maranhão.** Rio de Janeiro, 1968. 39p. Mimeografado.

CARDOSO, E.M.R.; MASCARENHAS, R.E.B.; BASTOS, T.X.; MODESTO JÚNIOR, M. de S.; SAMPAIO, J.E. de. **Secador solar para raspas de mandioca.** Belém: Embrapa Oriental, 1999. 18p. (Embrapa Amazônia Oriental. Circular Técnica, 1).

CUNHA, O.R.; BASTOS, T.X. **Contribuição do Museu Paraense Emílio Goeldi a meteorologia na Amazônia.** Belém. Museu Paraense Emílio Goeldi, 1973. 69p. (Museu Paraense Emílio Goeldi. Publicações Avulsas, 23).

DINIZ, T.D. de A. S.; BASTOS, T.X. **Efeito do desmatamento na temperatura do solo em região equatorial úmida.** Belém: Embrapa-CPATU, 1980. 14p. (Embrapa-CPATU. Boletim de Pesquisa, 7).

DINIZ, T.D. de A. S.; CARDON, D.A.; BASTOS, T.X.; MALTEZ, M.G.L. Relação entre radiação solar global e insolação para a região de Belém. In: SIMPÓSIO DO TRÓPICO ÚMIDO, 1., 1984, Belém. **Anais**. Belém: Embrapa-CPATU, 1986, v.1, p.68-74. (Embrapa-CPATU. Documentos, 36).

GUYOT, G. **Climatologie de l'environnement**. Paris: Masson, 1997. 505p.

MILLER, A.A. **Climatologia**. 3. Ed.. Barcelona: OMEGA, 1966. 379p.

NASCIMENTO, C.C. do. **Clima e morfologia urbana em Belém**. Belém: UFPa-NU-MA, 1995. 85P. Originalmente apresentada como tese de mestrado do autor ao Instituto de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília, em 1993.

NECHET, D. Análise da precipitação em Belém-PA, de 1896 a 1991. **Boletim de Geografia Teorética**, Rio Claro, SP, v.23, n.45/46, p.150-156, 1993.

NECHET, D. **Ocorrência de um tornado em Belém-PA**. Belém: Seção de Meteorologia do Serviço Regional de Proteção ao Vão de Belém, 1984a. 9p. Mimeografado.

NECHET, D. Variabilidade diurna da precipitação em Belém-PA, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3., 1984, Belo Horizonte. **Anais**. Rio de Janeiro: SBM, 1984b. p.204-211.

NECHET. D. Variabilidade diurna de precipitação em Belém-PA: aplicação em planejamento a médio e longo prazo. **Boletim Climatológico**. Presidente Prudente, SP, v.2, n.3, p.223-227, jul. 1997.

OLDEMAN, L.R.; FRERE, M.A. **A study of the agroclimatology of the humid tropics of Southeast Asia**. Rome: FAO, 1982. 229p.

PACHECO, N.A. **Definição de áreas aptas e épocas de plantio para cultura da soja no nordeste e sudeste do Estado do Pará**. Campina Grande: UFPb-DCA-CMMTD, 1999. 108p.(UFPb-DAC-CMMTD. Publicação, 1). Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Ciências Atmosféricas da UFPb.

SANTOS, A. R.A. **Análise das tendências da chuva e das temperaturas extremas na região de Belém (PA)**. 1993. 124f. Dissertação (Mestrado) – ESALQ.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A. R. **Meteorologia e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449p.

Embrapa

Amazônia Oriental

CGPE 3105

Patrocínio:



BANCO DA AMAZÔNIA

1 1 1 5 9 1

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA,
PECUÁRIA E ABASTECIMENTO

Governo do
BRASIL