

DESEMPENHO DE REGISTRADORES DIGITAIS DE TEMPERATURA E UMIDADE DO AR EM ABRIGO METEOROLÓGICO PADRONIZADO – ESTUDO COMPARATIVO PRELIMINAR VISANDO USO EM TRABALHOS DE CAMPO

Tarik Rezende de Azevedo*
Frederico Luiz Funari**

RESUMO:

Neste trabalho é feita comparação da temperatura e da umidade relativa do ar obtida a partir de instrumentos minirregistradores digitais e dos instrumentos analógicos tradicionalmente empregados em observações meteorológicas. Todos estiveram submetidos à mesma condição ambiente de um abrigo meteorológico padrão durante um mês. Conclui-se que as séries obtidas apresentam atributos distintos e que, tomadas determinadas precauções, são compatíveis e comparáveis apenas para os valores médios diários, horários e/ou mensais.

ABSTRACT:

This paper compares air temperature and relative humidity obtained by digital minidatalog instruments and by analogical instruments, used in meteorology. Both kind of instruments were submitted to the same conditions in a meteorological shelter for a month. It was observed that the obtained series have distinct attributes, but are comparable on their medium values.

1. Introdução

Tem ocorrido a incorporação maciça de instrumental automático digital baseado em microeletrônica para aquisição e armazenagem de informações de caráter meteorológico e climá-

tico, freqüentemente em substituição ao instrumental analógico tradicional, sobretudo na última década. As principais vantagens apontadas são: a eliminação da etapa de transcrição do formato papel para o formato digital e conferência, que caracterizou a década de 1980,

* Geógrafo e professor. Colaborador do Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo. Doutor pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

** Geógrafo. Técnico especializado da Estação Meteorológica da Água Funda do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo. Mestre pela Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo.

com a popularização dos microcomputadores no meio científico; a supressão de erros humanos na leitura de instrumentos; acesso à informação sobre localidades remotas ou esparsamente habitadas; e, sobretudo, redução do custo da mão-de-obra necessária na etapa de observação, e, conseqüentemente do custo unitário da própria informação.

As principais desvantagens apontadas são: os instrumentos analógicos tradicionalmente empregados, alguns em funcionamento ininterrupto ao longo de décadas, demonstraram superar as expectativas originais quanto à durabilidade, defeitos, desgaste e confiabilidade, constituindo, portanto, um investimento já amortizado e com excelente relação custo/benefício; os instrumentos baseados em tecnologia digital são indiscutivelmente mais sensíveis se submetidos às mesmas condições que os tradicionais, apresentando uma taxa de reposição de peças maior; a rápida evolução da microeletrônica e da tecnologia digital traz a obsolescência precoce e a falta de peças de reposição em poucos anos, dando aos instrumentos um caráter descartável, que impediria a obtenção de séries longas e homogêneas de observação dos atributos da atmosfera; os instrumentos analógicos tradicionais, mesmo os registradores baseados em cronômetros mecânicos, permitem que o observador meteorológico domine o funcionamento integral do instrumento, permitindo que ele faça a manutenção, o diagnóstico de problemas e a reposição de peças, às vezes desde sua confecção, o mesmo não ocorrendo com instrumentos eletrônicos; o monitoramento constante dos instrumentos analógicos tradicionais implica, quando ocorrem, períodos curtos de interrupção das séries de dados, normalmente passíveis de reconstituição pelos próprios observadores, enquanto os outros são assistidos em intervalos que chegam a meses, tornando muito mais provável a perda irreparável de informação; e, finalmente, não há evidências suficientes para afirmar que as informações geradas pelos instrumentos automáticos digitais

sejam portadoras dos mesmos atributos que as geradas ao longo de mais de um século de observações meteorológicas sistemáticas com instrumentos analógicos tradicionais. Este trabalho se propõe a contribuir para a discussão deste último aspecto.

A observação da atmosfera não se resume à quantificação de variáveis específicas por instrumentos de medida. Muitas variáveis, mas não todas, são passíveis da mediação entre o objeto de estudo, o tempo meteorológico e o homem. Nas estações meteorológicas tradicionais completas são realizadas observações de caráter qualitativo que foram e continuam sendo essenciais para a compreensão dos processos atmosféricos. Exemplos significativos são a classificação da nebulosidade, da visibilidade e de fenômenos diversos, como raios, trovões, halos etc. Ao menos até a presente data, não há estações meteorológicas automáticas digitais que registrem essas informações. Esse tipo de registro está sendo irremediavelmente perdido onde as estações tradicionais foram simplesmente fechadas. Por outro lado, é admissível dizer que os sensores remotos instalados em plataformas orbitais permitam a reconstituição de parte dessas informações e apresentem a vantagem de sua inserção em escalas de generalização maior. No entanto, sua incorporação ao conjunto das bases de informação implica reconsiderar o custo da obtenção de informação meteorológica e climática, sobretudo em estudos de caso. Além disso, não há evidência concreta de que sejam passíveis de comparação sistemática com as séries de informações de caráter qualitativo obtidas em terra. São informações que se referem a escalas diferentes, constituindo duas bases de dados distintas mas complementares (TARIFA, 1976).

Resta investigar se determinadas variáveis quantificadas através de instrumentos distintos são de mesma natureza. Os princípios físicos de alguns dos sensores empregados nos instrumentos automáticos já haviam sido testados ao longo de décadas de desenvolvimento de

instrumentos registradores analógicos e foram descartados em função de sua menor eficiência. Um exemplo notório é o uso dos termopares. Não houve, historicamente, solução tecnológica para que esse tipo de transdutor ligado a um circuito de amplificação resultasse em um instrumento meteorológico com performance melhor que a dos melhores termômetros de coluna de mercúrio. Um fato notório é que instrumentos desenvolvidos a partir de princípios físicos distintos freqüentemente apresentam desempenhos semelhantes sob condições rigidamente controladas, o mesmo não ocorrendo sob condições reais de uso. O segundo aspecto é que instrumentos semelhantes produzidos em série também podem produzir registros discrepantes. Nas estações meteorológicas tradicionais a questão faz parte da rotina de trabalho do observador. Normalmente a substituição de instrumentos é acompanhada de longo período de observações simultâneas. Para observação meteorológica e climática torna-se imperativa, portanto, a investigação comparativa do desempenho dos instrumentos sob condições reais de uso.

Dentre os instrumentos automáticos digitais disponíveis no mercado, os minirregistratoros digitais autônomos suscitam particular interesse. Os principais motivos, além dos apresentados anteriormente: são pequenos e leves; alimentados por microbaterias, consomem quantidades ínfimas de energia, chegando a ter autonomia energética de muitos meses; são relativamente baratos ante o custo de um instrumento convencional somado ao custo da mão-de-obra da observação; em estudos de caso, permitem o registro simultâneo e regular de algumas variáveis sem que o responsável pela pesquisa tenha que empreender a tarefa de arregimentar um grande contingente de auxiliares.

Neste trabalho é avaliado o desempenho de dois minirregistratoros digitais autônomos, um de temperatura e o outro de umidade relativa do ar, por comparação com os registros produzidos por três instrumentos analógicos convencionais.

2. Instrumental empregado e procedimentos adotados

Todos os instrumentos empregados permaneceram no interior do abrigo meteorológico padronizado, segundo as normas da OMM, da Estação Meteorológica da Água Funda pertencente ao Instituto Astronômico e Geofísico (IAG) da Universidade de São Paulo, localizada no Parque das Fontes do Ipiranga, Município de São Paulo (MARQUES, 1964). Essa estação, em funcionamento ininterrupto desde 1933, mantém uma série contínua de dados meteorológicos horários de grande confiabilidade (XAVIER, 1994).

A temperatura horária do ar obtida diretamente da leitura dos diagramas diários do termógrafo¹, neste trabalho é chamada temperatura do registrador analógico (Tr).

Adotou-se a temperatura horária do ar divulgada pela Estação Meteorológica da Água Funda como a temperatura padrão do ar (Tp). A Tp é obtida em intervalos de 1 hora, das 7:00h à meia-noite (horário local) através do psicrômetro de aspiração de Assmann². A Tp dos seis horários entre 1:00h e 6:00h é obtida por interpolação a partir de Tr (temperatura do registrador analógico), distribuindo linearmente a diferença entre Tr e Tp à meia-noite e às 7:00h.

A temperatura horária, registrada pelo termômetro minirregistrator digital (TMD)³, é a temperatura do miniregistrator digital (Td). O TMD é composto de quatro partes:

- a) O programa Box Car – pró, versão 3.51 para sistema operacional Windows, que constitui a interface indispensável entre o usuário e o instrumento propriamente dito.
- b) Um cabo serial que permite a conexão física temporária do registrador a um microcomputador, inicialmente para fornecer os parâmetros e desencadear o funcionamento e, posteriormente, para recuperar os dados armazenados.
- c) Um termopar com cabo de 1,5 m e conector, eficiente no intervalo -5 a +37°C.

d) Unidade de registro embutida em invólucro plástico com dimensões 4,5 x 4,5 x 1,5 cm. Há uma entrada para conexão com o termopar e outra com o cabo serial, um botão de acionamento e um led que indica o instante do registro. A unidade de registro tem capacidade de armazenamento fixa de 1.800 registros (ONSET, 1996). O tempo máximo de registro ininterrupto é inversamente proporcional ao intervalo entre um registro e o outro. Optou-se neste trabalho pelo registro horário.

A umidade relativa do ar, obtida da leitura direta do diagrama diário do higrógrafo⁴, é a umidade relativa do ar do registrador analógico (U_r).

A umidade relativa do ar horária divulgada pela estação é considerada, neste trabalho, a umidade relativa padrão (U_p). Do psicrômetro de aspiração de Assmann, obtém-se simultaneamente à T_p , a temperatura de bulbo úmido (T_u). U_p (umidade relativa padrão) é obtida a partir de T_p (temperatura padrão do ar), T_u (temperatura de bulbo úmido) e da pressão atmosférica reduzida a zero °C no período das 7:00h à meia noite. Nos seis horários intermediários U_p (umidade relativa padrão) é obtida a partir de U_r (umidade relativa do registrador analógico) segundo a mesma metodologia adotada para T_p (temperatura padrão do ar) (IAQ, 1999).

A umidade relativa do ar, registrada hora a hora pelo higrômetro minirregistrator digital (HMD)⁵, é a umidade relativa do minirregistrator digital (U_d). O HMD é composto de três partes: o programa Box Car – pró, o cabo serial, ambos descritos acima, e a unidade registradora, em tudo semelhante ao TMD, exceto pelo fato de o sensor estar incorporado à tampa frontal do instrumento. Este é composto por uma película de polímero semicondutor higrófilo cuja resistência elétrica varia em função de seu teor de umidade (ONSET, 1996).

O TMD e o HMD permaneceram no interior do abrigo meteorológico durante 38 dias. Desprezados os registros iniciais e os registros

finais, obteve-se uma série de 720 T_d e U_d correspondentes ao mês de abril de 2000. Os outros instrumentos estão permanentemente no interior do abrigo, constituindo parte do instrumental da própria estação meteorológica.

Preliminarmente foi realizada a verificação qualitativa da coerência entre os registros e o conjunto das observações meteorológicas procurando identificar discrepâncias e possíveis falhas de notação ou transcrição, sem recorrer a métodos estatísticos.

Foram calculados os seguintes parâmetros estatísticos de cada série de registros obtidos:

- a) mínimo, máximo, média aritmética simples, desvio médio, variância, curtose e assimetria sem distinções horárias e diárias;
- b) os mesmos parâmetros do item a, por horário do dia para cada série de registros e para as seguintes diferenças entre séries: d-p (registrator digital - padrão), d-r (registrator digital - registrator analógico) r-p (registrator analógico - padrão);
- c) os mesmos parâmetros do item a, por dia para cada série de registros e para as mesmas diferenças entre séries do item b.

Deve ser ressaltado que nos casos b e c a amostragem é muito menor que no caso a; 24 por dia ou 30 por hora para cada série de temperaturas, não permitindo a comparação segura dos parâmetros de simetria e dispersão, pois um único valor excepcional pode alterar significativamente os resultados, sobretudo se as variações entre os valores obtidos para cada parâmetro forem pequenas. Apesar de calculados, foram desprezados os parâmetros de simetria e dispersão, evitando a construção de conclusões pouco seguras. Priorizou-se a análise gráfica nesses dois casos.

Foram calculados o coeficiente de correlação linear, os parâmetros da reta de regressão linear pelo método dos mínimos quadrados e o coeficiente de determinação para as seguintes relações: $d = f(p)$, $r = f(p)$, $r = f(d)$.

3. Resultados

Abril de 2000 foi o mês de abril menos chuvoso e mais seco desde 1933 segundo as informações da própria Estação Meteorológica da Água Funda. Ao contrário do que se poderia supor, foi um mês propício para a investigação proposta neste trabalho. A baixa pluviosidade e a não-ocorrência de precipitação originada em processos convectivos tornaram possível a obtenção de uma série relativamente curta de registros mas com uma homogeneidade maior que a normalmente observada, simplificando a interpretação dos resultados obtidos e aumentando a segurança das conclusões. Por outro lado, os instrumentos foram submetidos a condições mais próximas às extremas para um único dia, sobretudo no que diz respeito à umidade relativa do ar. Nas horas que antecederam o amanhecer do dia 11, por exemplo, U_p (umidade relativa padrão, obtida por meio do psicrômetro) foi de 95%, caindo acentuadamente até atingir 29% às 16:00h, o mesmo ocorrendo no dia posterior com um mínimo de 30% às 15:00h.

Reconstruiu-se qualitativamente a sucessão horária das condições atmosféricas a partir dos parâmetros meteorológicos da própria estação. A análise preliminar dos dados obtidos não identificou inconsistências ou possíveis erros isolados nas séries de temperatura e umidade. Identificaram-se apenas dois erros contíguos de transcrição da nebulosidade horária, e

outro na insolação diária, devidamente corrigidos. Nos demais parâmetros meteorológicos utilizados, nenhuma retificação se fez necessária, revelando a qualidade e confiabilidade dos registros dessa estação meteorológica.

3.1 Temperatura do ar

A partir da tabela 1, na qual os dados das séries foram agregados mensalmente, depreende-se que a média das diferenças entre os três registros simultâneos é significativamente diferente para $T_r - T_p$ e $T_d - T_r$. A diferença $T_d - T_p$ estaria situada no limite da precisão instrumental, neste caso entre 0,1 e 0,2°C. No entanto, quando tomados os valores extremos de cada série, identificam-se diferenças modulares de 1,4 até 4,2°C. As maiores diferenças ocorrem entre os dois instrumentos registradores. Por outro lado, a amplitude mensal é a mesma nos dois registradores enquanto em T_p é 1,0°C menor. O desvio médio em relação à média é semelhante para os dois registradores e significativamente menor para T_p (temperatura padrão). No entanto, as variâncias são significativamente distintas, resultando em uma seqüência ordenada $T_d > T_p > T_r$. Considerando a curtose, obtém-se um ordenamento inverso e coerente em relação ao da variância, $T_r > T_p > T_d$, sugerindo que os valores são sucessivamente mais dispersos em torno do valor médio nessa

Tabela 1: Séries de temperatura – atributos estatísticos elementares

Parâmetro	T_p	T_r	T_d	$T_r - T_p$	$T_d - T_p$	$T_d - T_r$
Mínimo	11,6	11,2	11,4	-2,7	-1,4	-2,6
Média	19,8	19,5	20,0	-0,4	0,1	0,5
Máximo	29,7	30,1	31,3	3,0	3,4	4,2
Variância	15,3	17,9	18,5	0,6	0,4	0,7
Desvio médio	3,2	3,5	3,5	0,6	0,4	0,6
Curtose	-0,51	-0,58	-0,41	1,12	4,57	2,79
Assimetria	0,37	0,37	0,46	0,62	1,61	0,69

mesma ordem. Note-se que T_r (temperatura do registrador analógico) é menos disperso em relação à T_p do que este em relação à T_d (temperatura do registrador digital). As três séries são consideravelmente assimétricas, fato conhecido e esperado para séries de temperatura. No entanto, a assimetria de T_p e a de T_r são semelhantes, ou seja, a temperatura na altura máxima da curva de distribuição em relação ao valor médio é equivalente, o mesmo não ocorrendo com T_d em relação a T_p e T_r . Que T_r apresente uma variância e dispersão menor que T_p é fato conhecido e atribuído à maior inércia térmica do termógrafo analógico, desenvolvido para homogeneizar flutuações de curta duração na temperatura do ar.

Da análise dos resultados da tabela 2, depreende-se, como esperado, que o coeficiente de correlação linear de Pearson entre os valores dos 720 registros simultâneos tomados aos pares é muito significativo, aproximando-se do índice máximo 1. No entanto, neste trabalho pequenas diferenças são significativas, já que, a rigor, pretende-se que instrumentos desenvolvidos para o mesmo fim submetidos às mesmas condições resultem em registros semelhantes. Dessa forma, T_d apresenta correlação ligeiramente maior que T_r em relação à T_p , neste caso sugerindo que, globalmente, representa a temperatura do ar de forma mais eficiente que T_r . A análise de regressão linear sugere que as correções impostas à T_d para torná-la comparável à T_p são ligeiramente maiores que aquelas impostas à T_r . Finalmente, o coeficiente de determinação para $T_d = f(T_p)$ é ligeiramente maior que para $T_r = f(T_p)$, sugerindo, novamen-

te que, uma vez corrigidas, T_d (temperatura do registrador digital) se aproxima, globalmente, mais de T_p (temperatura padrão) do que T_r (temperatura do registrador analógico).

Agregando as duas séries por dia e por hora, obtiveram-se resultados diferentes daqueles obtidos quando agregados mensalmente.

Da análise da figura 1 depreende-se que T_d é em média significativamente menor que T_p no período de meia-noite às 7:00h, enquanto no período de 9:00 às 18:00 é maior. As maiores diferenças médias ocorrem das 13:00 às 15:00h. Quanto às diferenças T_d-T_p mínimas há uma forte concordância com as diferenças médias. No entanto, as diferenças T_d-T_p máximas tendem a meio °C nos períodos noturnos enquanto atingem valores elevados, entre 2,5 e 3,0°C, nos períodos diurnos, sobretudo das 9:00 às 15:00h.

Da análise da figura 2 constata-se, como esperado, que T_r é em média menor que T_p no período da manhã e maior no período da tarde, com o pico mínimo às 8:00h e o pico máximo por volta das 16:00h em função da inércia térmica do próprio instrumento aludida anteriormente. As diferenças T_r-T_p mínimas e máximas apresentam uma concordância maior que no caso T_d-T_p (Figura 1). As máximas diferenças T_r-T_p tendem a ser progressivamente maiores com T_r-T_p maiores, mas não de forma tão acentuada quanto no caso anterior. O período em que ocorrem as maiores máximas para T_r-T_p é o das 15:00 às 19:00h.

Da observação da figura 3, onde as curvas horárias médias do mês das três séries de temperatura foram representadas sobrepos-

Tabela 2: Redução de T_d e T_r à T_p

Atributo	$T_d = f(T_p)$	$T_r = f(T_p)$
Coeficiente a	1,0894	1,0644
Coeficiente b	1,6580	-1,6530
Coeficiente de correlação linear de Pearson	0,9863	0,9691

Figura 1: Desvio da temperatura do registrador digital em relação à temperatura do ar ($T_d - T_p$) por horário

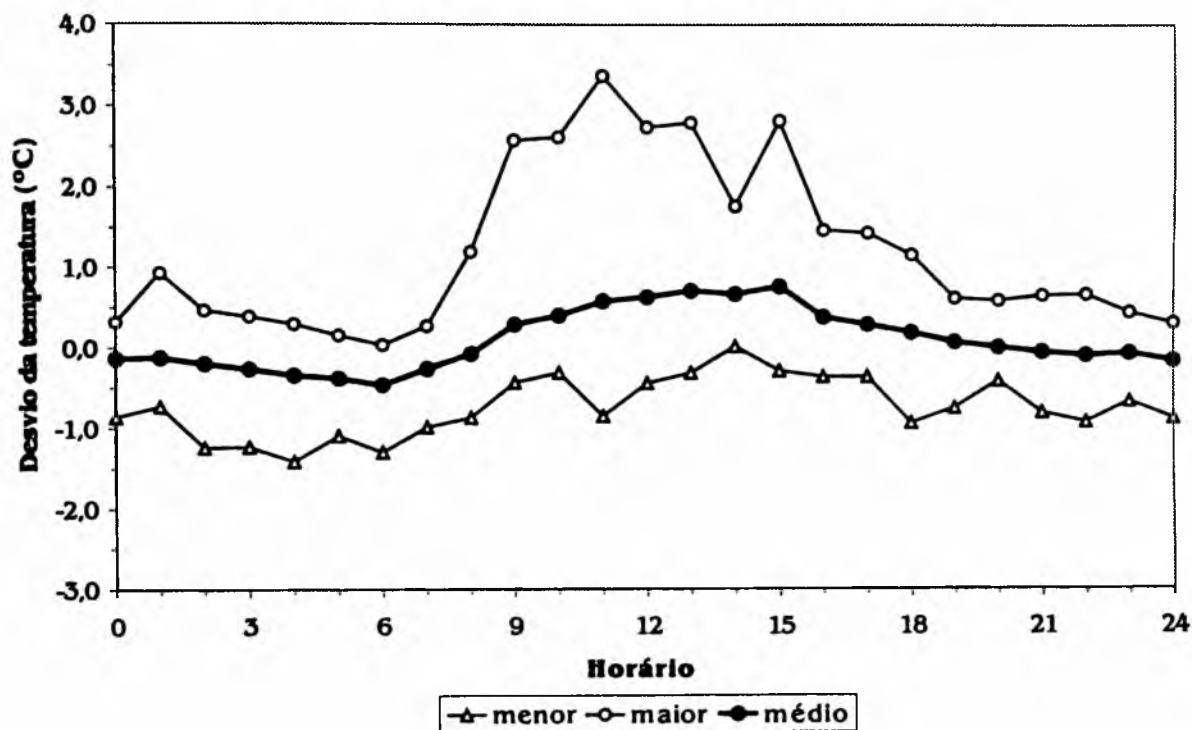


Figura 2: Desvio da temperatura do registrador analógico em relação à temperatura padrão do ar ($T_r - T_p$) por horário

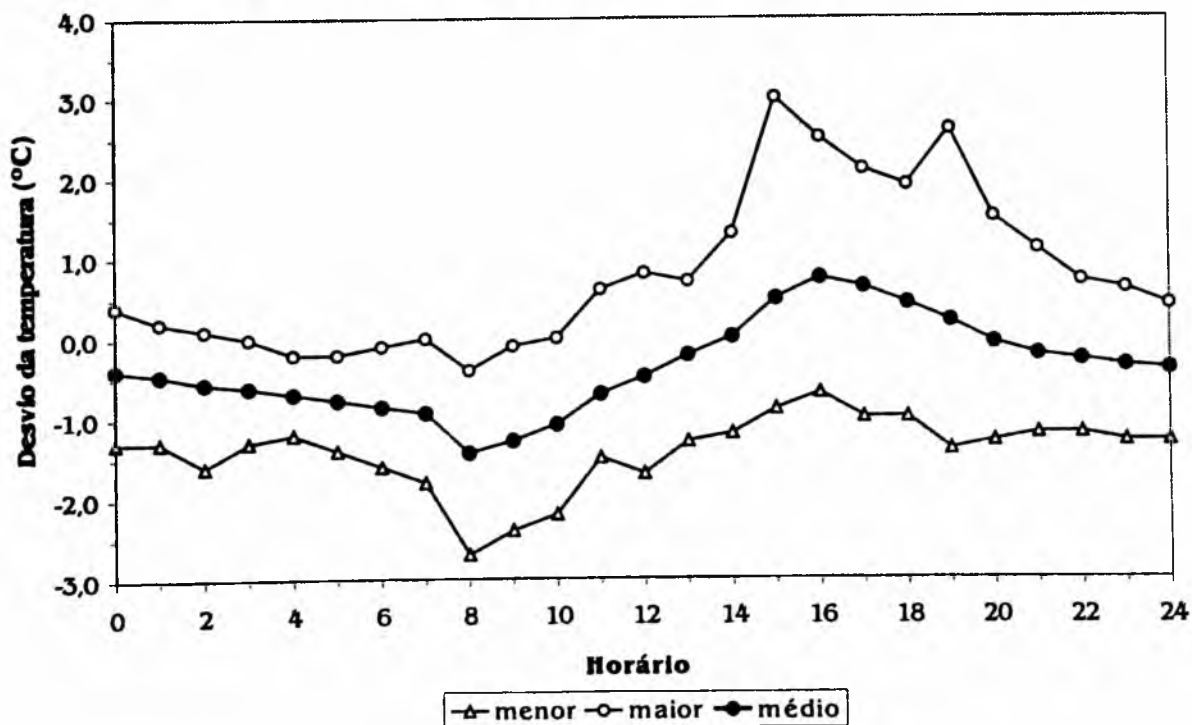
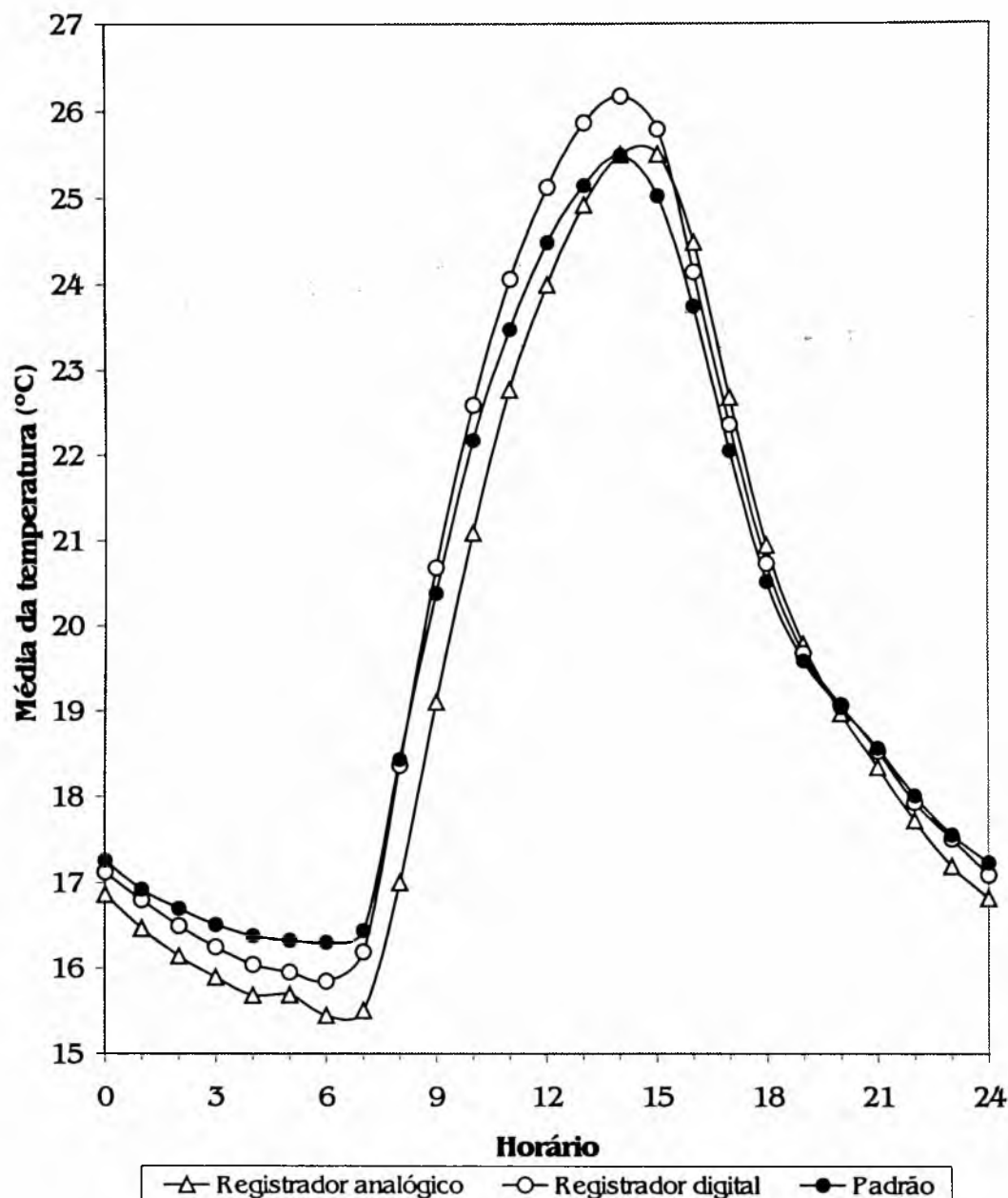


Figura 3: Média da temperatura por horário

tas, depreende-se que as curvas horárias de T_d e T_p são semelhantes na forma mas discrepantes na amplitude, sugerindo ser possível um ajuste linear de escala para corrigir T_d em função de T_p , o mesmo não ocorrendo com T_r em função de T_p . A comparação das figuras 4 e 5 permite fazer a distinção de forma mais clara. As curvas $T_r \text{ hor} = f(T_p \text{ hor})$ e $T_d \text{ hor} = f(T_p \text{ hor})$ são periódicas. No entanto, a segunda

apresenta a particularidade de o período de resfriamento do final da tarde e noite percorrer o mesmo lugar geométrico que o do período de aquecimento, além de a média horária de T_d ser linearmente proporcional à média horária de T_p , o mesmo não ocorrendo para T_r .

A tabela 3 evidencia que o coeficiente de correlação linear entre as médias horárias de T_d em função das médias horárias de T_p é

Figura 4: Média da temperatura do registrador analógico por horário em função da média da temperatura padrão por horário $mTr(\text{hor}) = f(mTp(\text{hor}))$

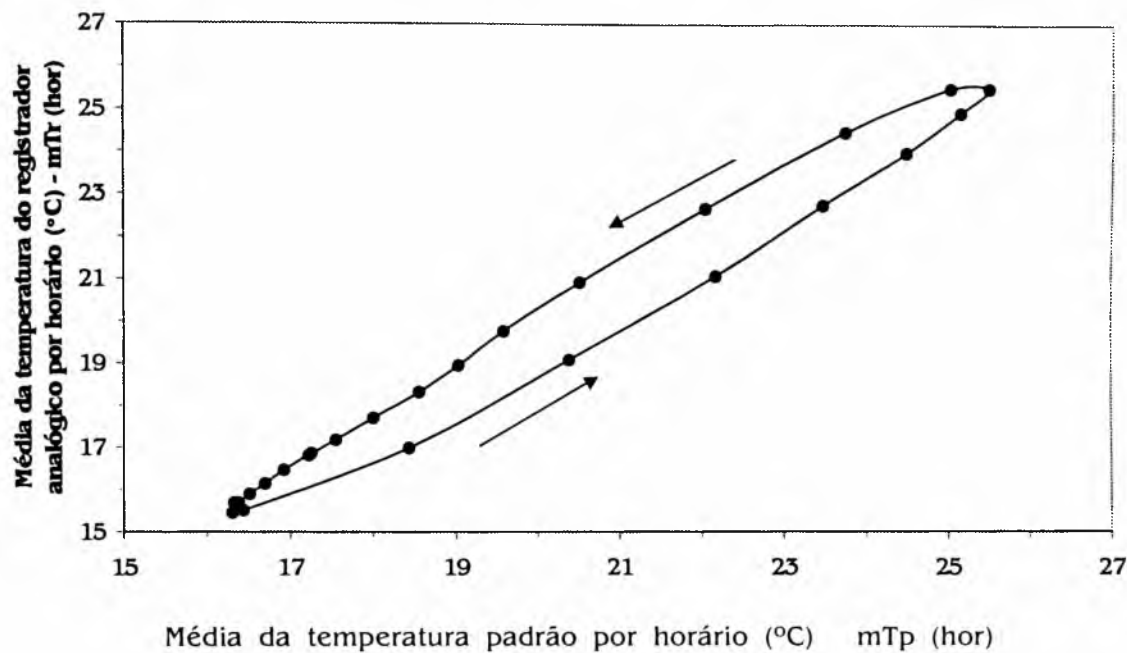
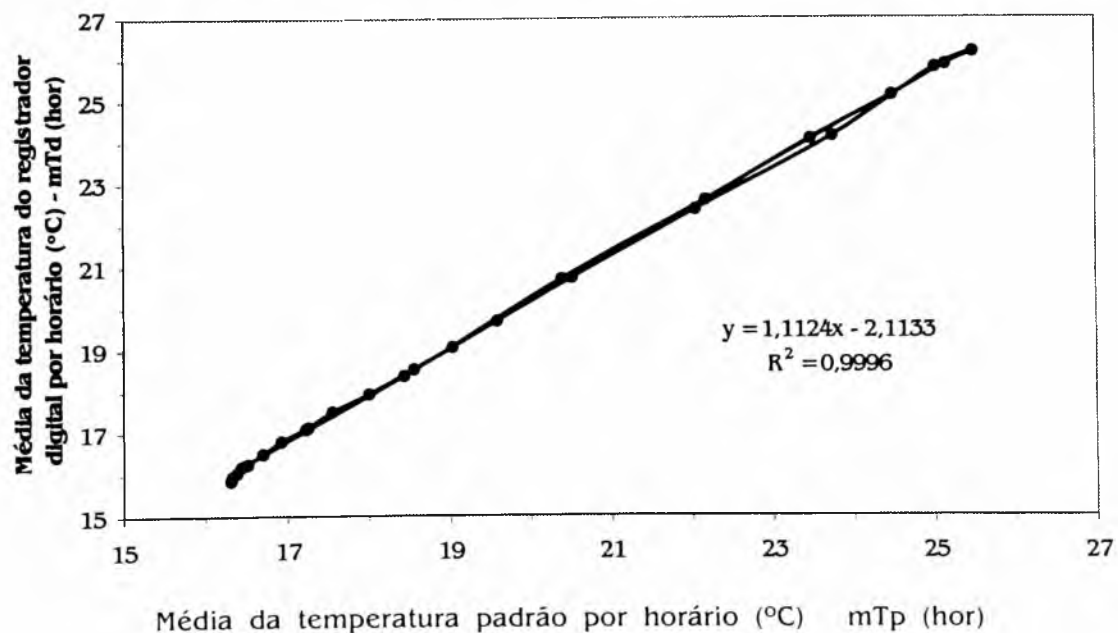


Figura 5: Média da temperatura do registrador digital por horário em função da média da temperatura padrão por horário $mTd(\text{hor}) = f(mTp(\text{hor}))$



menor que entre as médias horárias de T_r em função das médias horárias de T_p . Os parâmetros da análise de regressão linear sugerem que as correções impostas às médias horárias de T_d para que sejam comparáveis às médias horárias de T_p são mais significativas que as impostas para as médias horárias de T_r . No entanto, o coeficiente de determinação para $mT_d \text{ hor} = f(mT_p \text{ hor})$, quase igual a 1, é significativamente maior que para $mT_r \text{ hor} = f(mT_p \text{ hor})$. Para T_r horária a correção mais adequada é aquela obtida por dedução da diferença horária tabelada empiricamente ou de uma função tri-

gonométrica em que o intervalo 2π seja equiparado ao ciclo diário (Figura 4).

Nas figuras 6 e 7 estão representadas respectivamente as diferenças T_d-T_p e T_r-T_p agregadas por dia. Comparando-as, pode-se afirmar que as médias diárias de T_r-T_p são negativas em quase todos os dias, enquanto para T_d-T_p são ligeiramente positivas. T_r-T_p apresenta valores extremos mais dispersos, sendo o padrão aparentemente aleatório. T_d-T_p apresenta valores médios e máximos diários mais discrepantes concentrados no período do dia 10 ao dia 15, com picos secundários nos

Tabela 3: Correlação linear da média de T_r e T_d em função da de T_p por horário

Parâmetro	$mT_d \text{ hor} = f(mT_p \text{ hor})$	$mT_r \text{ hor} = f(mT_p \text{ hor})$
Coeficiente a	1,1124	1,0740
Coeficiente b	-2,1133	1,8297
Coeficiente de determinação	0,9996	0,9791

Figura 6: Desvio da temperatura do registrador digital em relação à temperatura padrão do ar (T_d-T_p) por dia

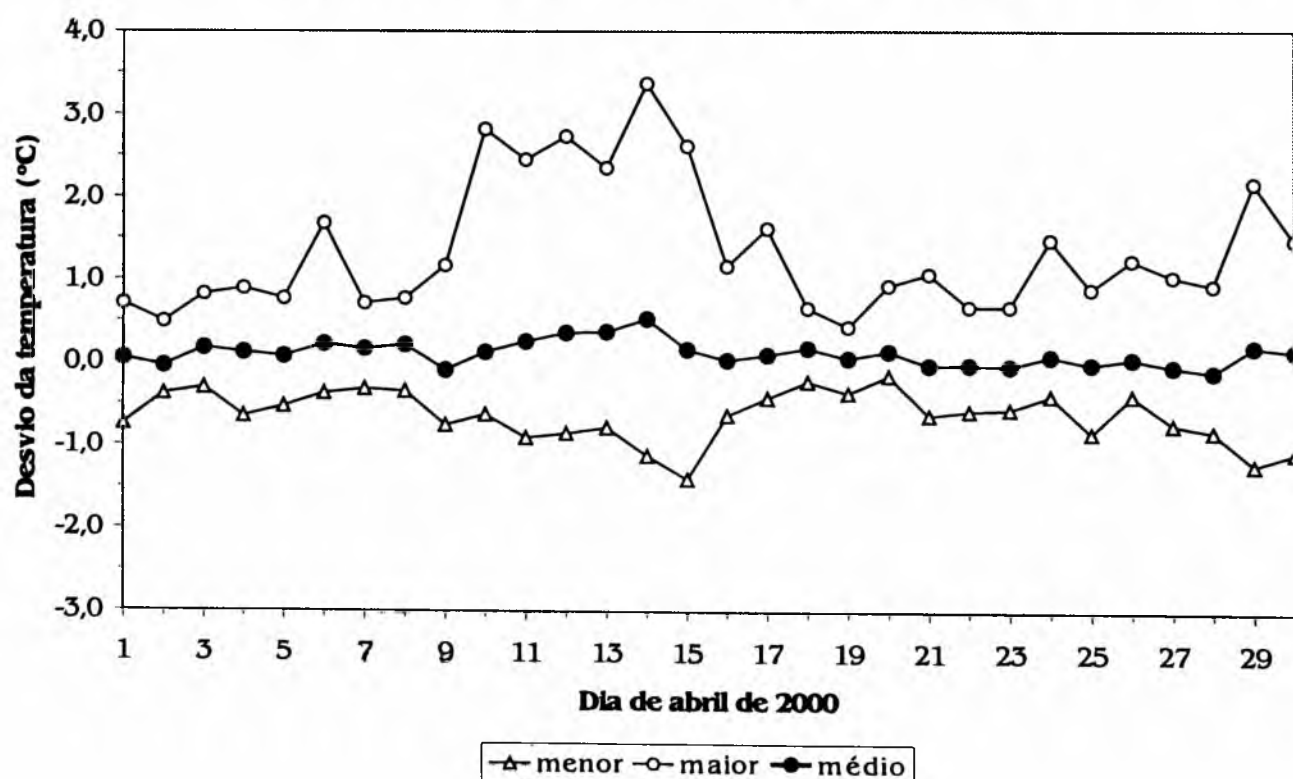
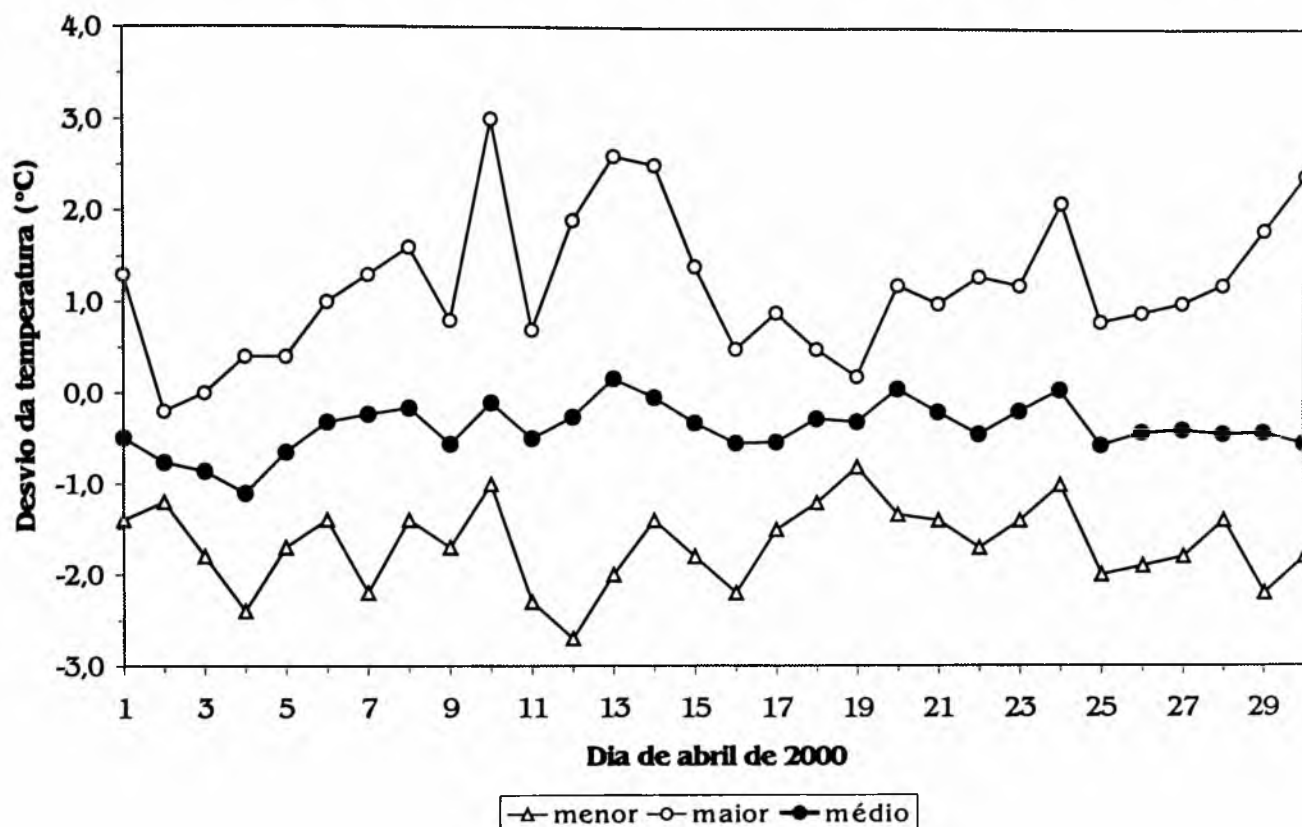


Figura 7: Desvio da temperatura do registrador analógico em relação à temperatura padrão do ar ($T_r - T_p$) por dia



dias 6 e 29, o que sugere que haja evoluções diárias do tempo atmosférico nas quais T_d apresente maior desvio em relação à T_p .

Análises de regressão linear ou polinomial não permitiram isolar satisfatória dependência de T_d de qualquer variável atmosférica quantificada tomada isoladamente, a não ser de T_p . No entanto, a análise da série $T_d - T_p$ representada como superfície contínua num campo bitemporal desenvolvido a partir de eixos ortogonais que representam os dias e as horas (Figura 8), permite identificar que há uma nítida concentração dos valores superestimados de T_d em três áreas. Estas correspondem às horas de maior insolação e aquecimento máximo, precedidas de intenso resfriamento noturno sob céu claro, em dias sob moderada a forte subsidência. A ocorrência de T_d subestimadas concentra-se nas noites e madrugadas desses mesmos dias. O primeiro caso corresponde a períodos em que se estabelece balanço de radiação de curto pra-

zo extremamente positivo na interface entre o ar e as superfícies, enquanto o segundo corresponde a balanço extremamente negativo. Em síntese, nos dias em que os instrumentos são submetidos a condições extremas de aquecimento e resfriamento radiativo é que ocorrem as maiores discrepâncias.

3.2 Umidade relativa do ar

Da análise da tabela 4, constata-se que as médias mensais de U_d (umidade do registrador digital) e U_r (umidade do registrador analógico) são iguais, pois a diferença de 0,1% encontra-se no limite da precisão dos instrumentos. No entanto, ambas são significativamente maiores que a média mensal de U_p (umidade padrão). A amplitude entre as umidades do ar extremas do mês é igual segundo U_p (umidade padrão) e U_d (umidade do registrador digital), sendo ambas significativamente maiores que a

Figura 8: Desvio da temperatura do registrador digital em relação à temperatura padrão ($^{\circ}\text{C}$) ($T_d - T_p$)

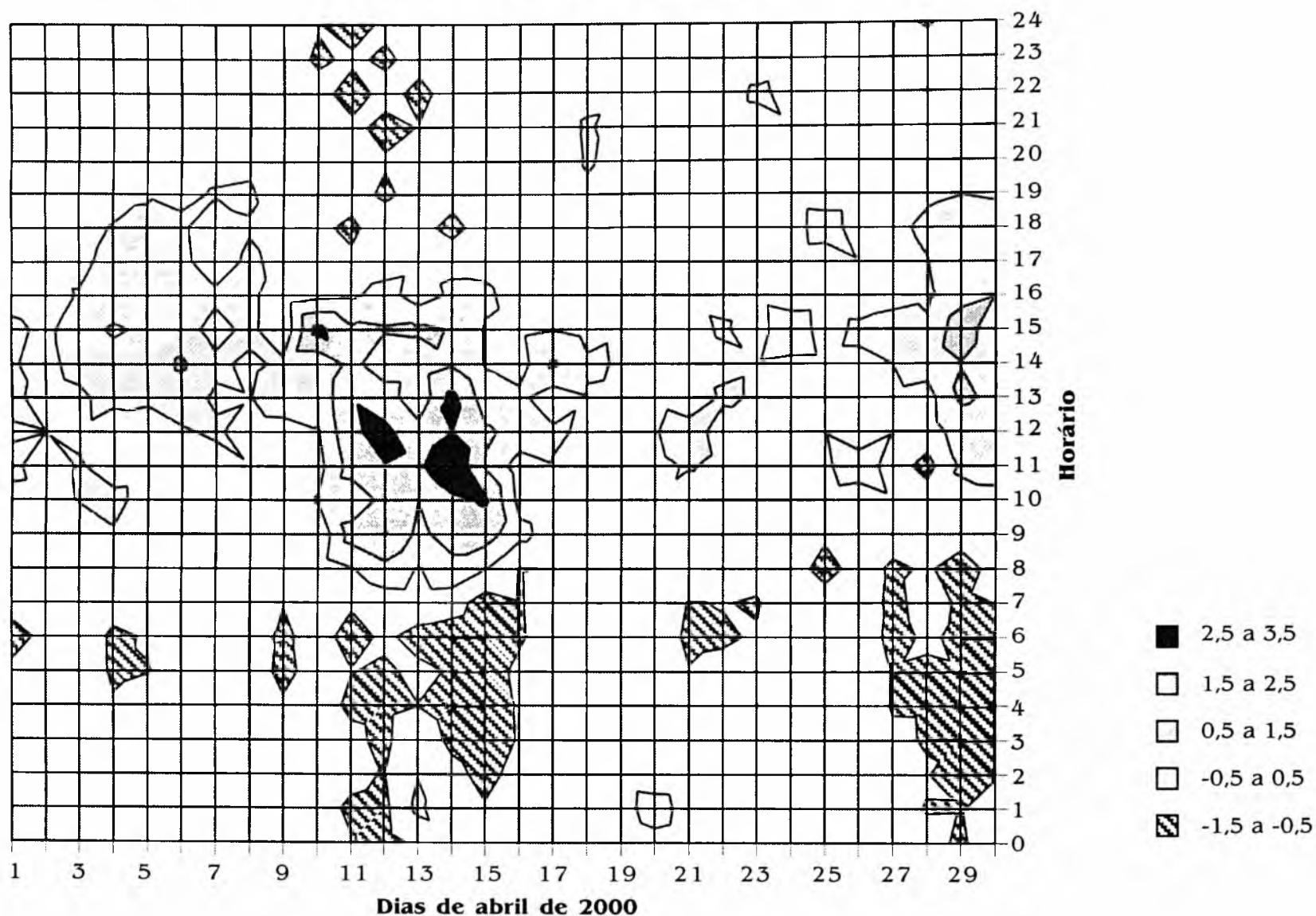


Tabela 4: Séries de umidade relativa – atributos estatísticos elementares

Umidade	Up	Ur	Ud	Ur-Up	Ud-Up	Ud-Ur
Mínimo	28,6	38,0	31,0	-3,7	-9,6	-10,3
Média	77,4	83,1	83,2	5,7	5,8	0,1
Máximo	97,8	99,0	100,0	16,1	16,7	11,3
Var	299,0	248,6	303,8	6,7	9,7	10,0
Desvio médio	14,4	13,3	14,3	2,0	2,4	2,4
Curtose	0,02	-0,12	0,45	0,58	0,98	1,08
Assimetria	-1,01	-0,99	-1,14	0,47	0,01	-0,36

obtida a partir de U_r (umidade do registrador analógico). Embora a variância de U_d seja ligeiramente maior que a de U_p , o desvio médio é ligeiramente menor, pois a média mensal é significativamente maior que a de U_p . Por outro lado, a variância e o desvio médio de U_r são significativamente menores em relação às outras duas. A curtose de U_p sugere uma distribuição muito próxima à normal, enquanto U_r é ligeiramente mais dispersa que a normal. No entanto, a dispersão de U_d em torno da média é significativamente menor que das outras duas. Todas possuem distribuição com pico em valores menores que o médio, e para U_r e U_p são equivalentes enquanto para U_d ligeiramente menor.

O coeficiente de correlação linear de Pearson entre as 720 U_r e U_p simultâneas é pouco mas significativamente maior do que entre U_d e U_p , o que, nesse caso, pode ser evidenciado pelo simples exame visual das figuras 9 e 10. A análise de correlação linear sugere que as correções impostas à U_r são maiores que as

impostas à U_d para torná-las comparáveis à U_p . No entanto, o coeficiente de determinação sugere que a relação $U_r = f(U_p)$ é mais segura que $U_d = f(U_p)$. Em síntese, globalmente U_r (umidade do registrador analógico) representa melhor U_p (umidade padrão) do que U_d (umidade do registrador digital), uma vez corrigidas.

Da análise das figuras 11 e 12, nas quais os registros foram agregados segundo o horário, depreende-se que, nos horários da noite e madrugada, as médias horárias de U_r - U_p são consideravelmente homogêneas, sugerindo uma majoração de 5% da umidade relativa do ar em relação à U_p . Das 7:00 às 15:00h a diferença aumenta gradativamente e depois diminui até o final do dia. Os valores mínimos de U_r - U_p são consideravelmente variáveis das 8:00h à meia-noite mas tendem a acompanhar os valores médios. Os valores mínimos de U_r - U_p da madrugada são consideravelmente estáveis, atribuíveis ao fato de U_p ser obtida a partir de U_r da 1:00 às 6:00h e da natural estabilidade das condições atmosféricas nesses horários. No

Figura 9: Umidade do registrador analógico em função da umidade padrão (%) – $U_r=f(U_p)$

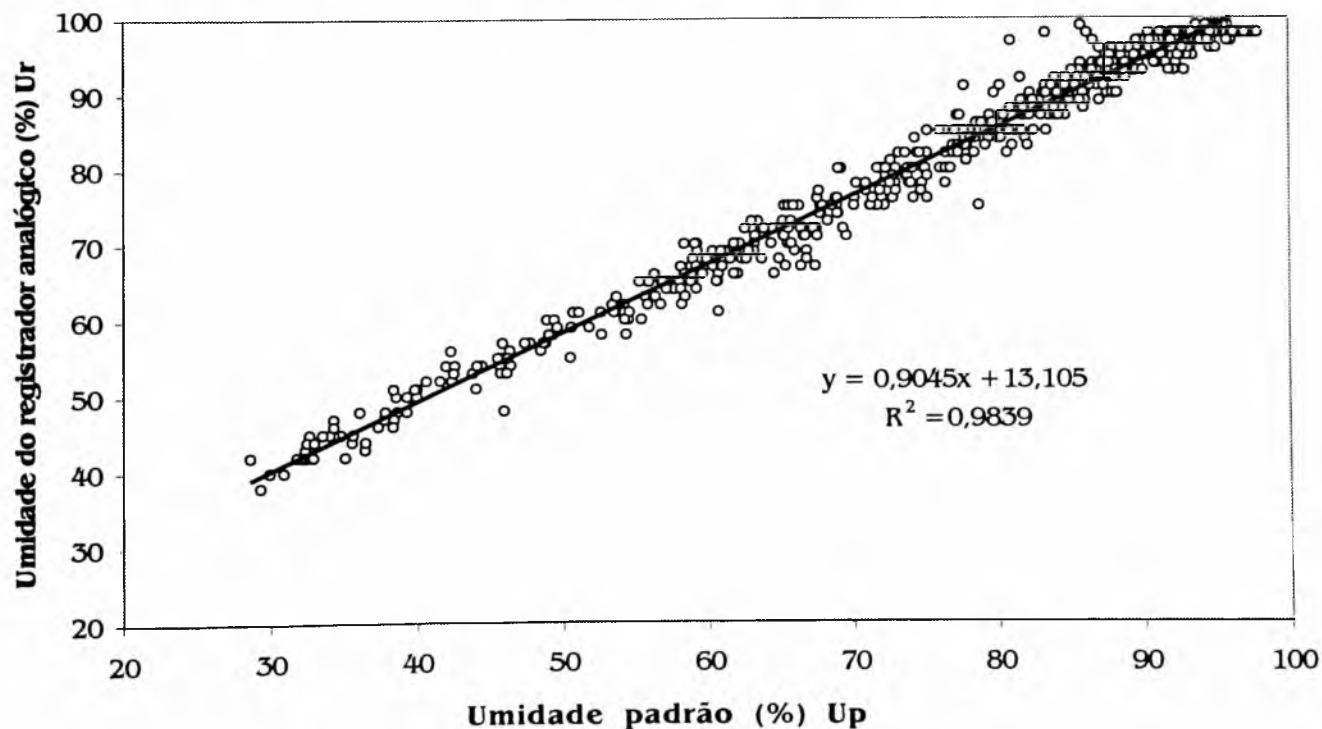


Figura 10: Umidade do registrador digital em função da umidade padrão (%) $U_d = f(U_p)$

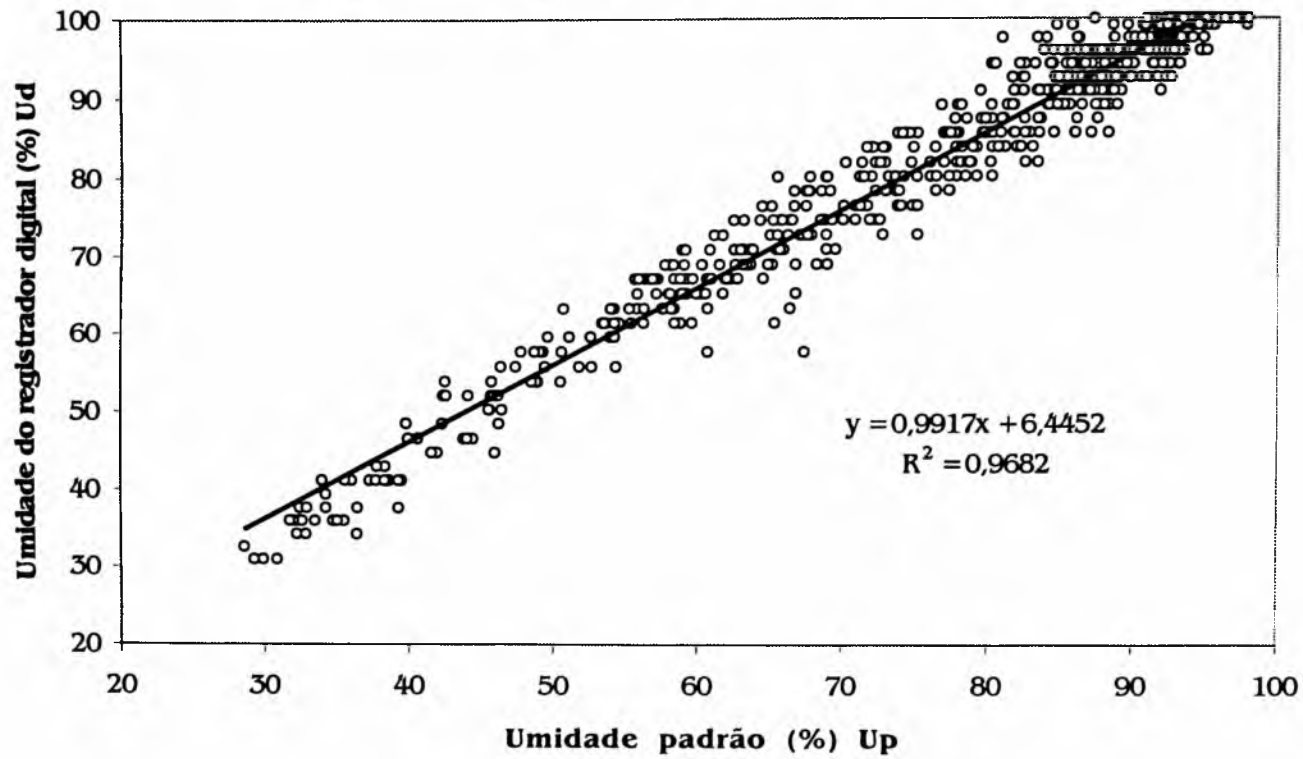


Figura 11: Desvio da umidade do registrador analógico em relação à umidade padrão ($U_r - U_p$) por horário

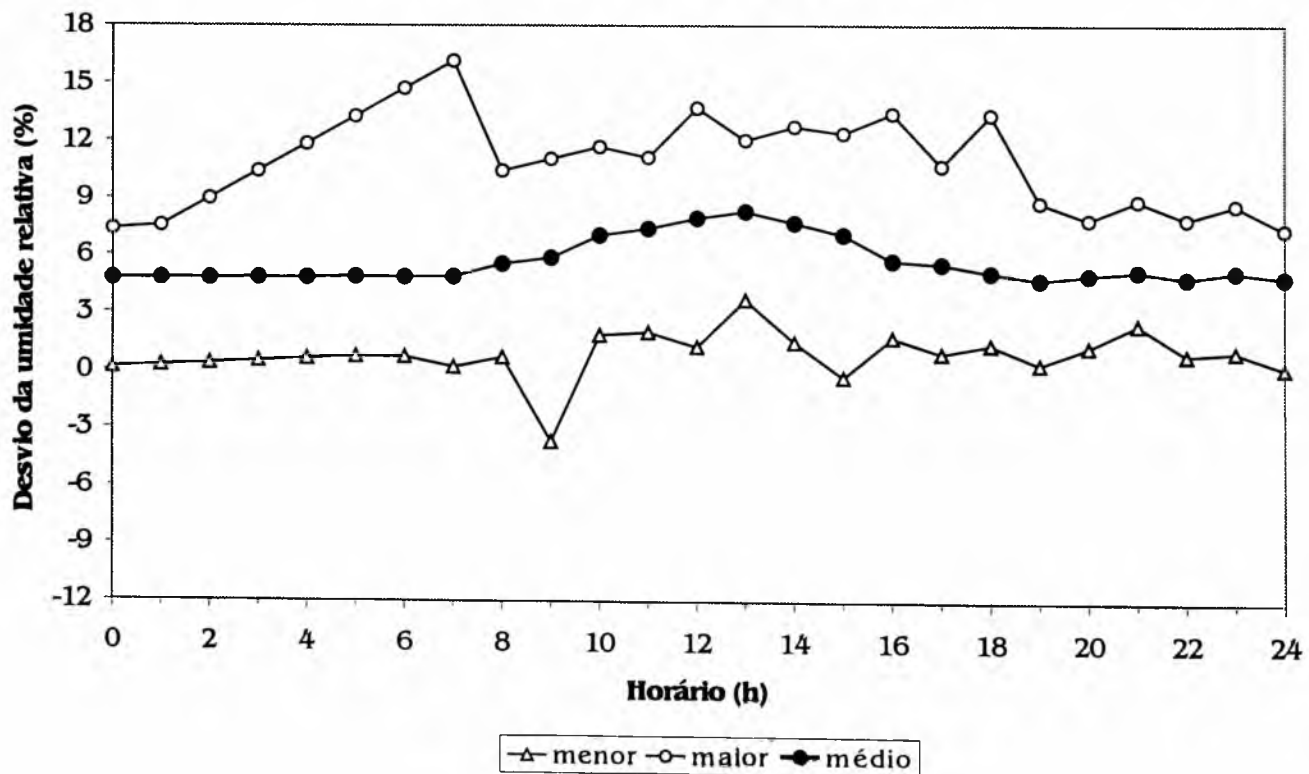
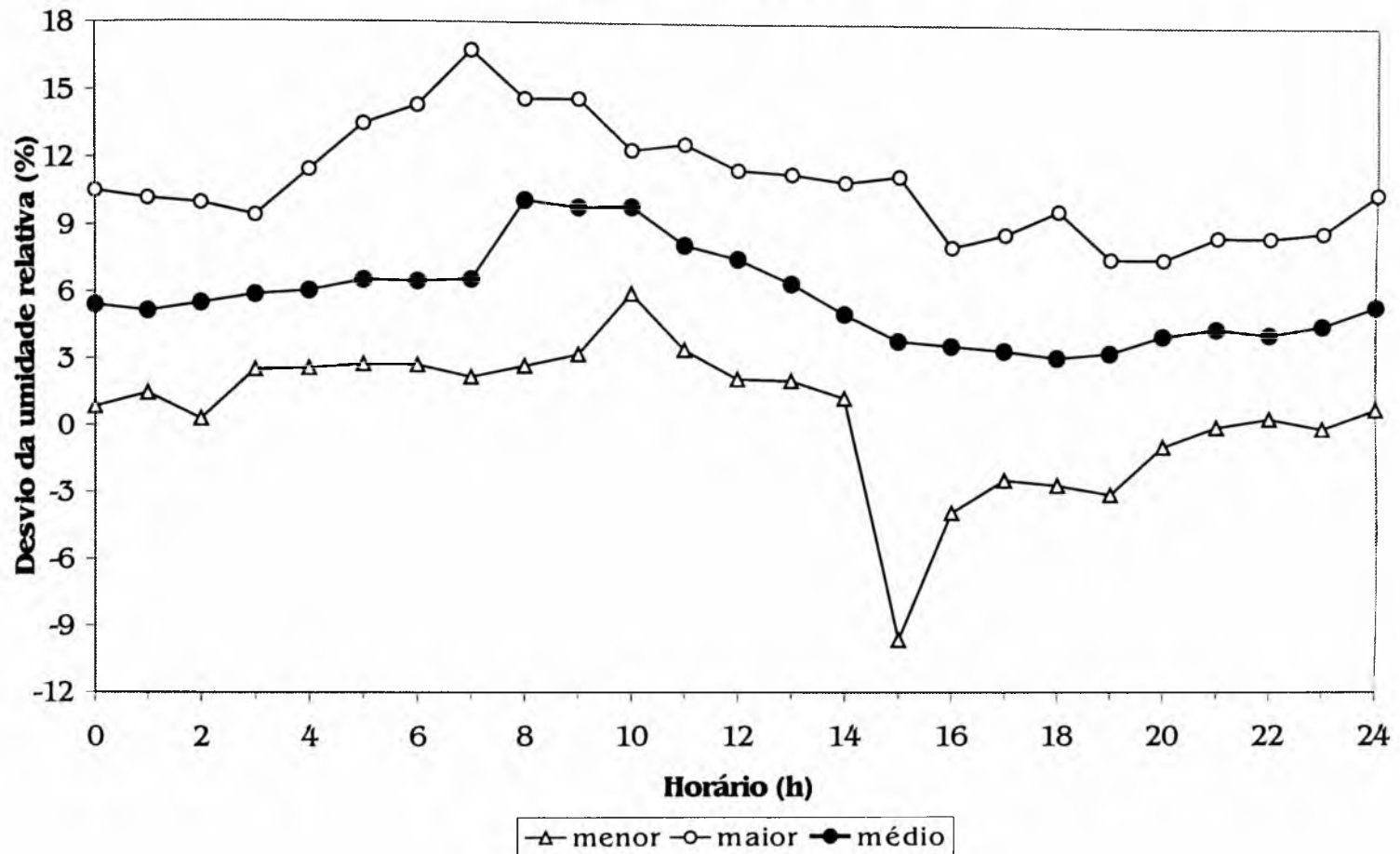


Figura 12: Desvio da umidade do registrador digital em relação à umidade padrão (Ud-Up) por horário



entanto, as Ur-Up máximas crescem linearmente nos horários em que Up é obtida por interpolação, sugerindo que, embora a metodologia adotada produza, na média, resultados satisfatórios, para valores isolados há discrepâncias. Os valores médios de Ud-Up nunca chegam a zero e apresentam uma curva horária típica de instrumento com inércia em relação à grandeza que se propõe a quantificar. Nos horários do início da manhã as diferenças são maiores, diminuindo até o início da noite. No período noturno as diferenças aumentam suave e continuamente, sugerindo que o sensor do HMD absorve água do ar com velocidade maior do que perde para gradientes horários equivalentes de umidade relativa do ar. Os valores mínimos diários de Ud-Up são razoavelmente equidistantes da média diária, havendo discrepâncias maiores nos horários das 8:00 e 9:00h da

manhã e entre 15:00 e 19:00h. São atribuíveis respectivamente a franco aquecimento do ar sob céu claro pela manhã e à entrada da brisa marítima no período da tarde, momento em que há um brusco aumento da umidade relativa do ar, sobretudo em função da redução da temperatura.

A comparação das curvas diárias da umidade relativa do ar (Figura 13) reforça a hipótese de que tanto Ur (umidade do registrador analógico) quanto Ud (umidade do registrador digital) são, em média, sempre maiores que Up (umidade padrão) e que ambas apresentam inércia instrumental em relação ao fenômeno. No entanto, a curva horária de Ur é mais concordante do que a de Ud em relação à de Up, sugerindo que Ur possa ser corrigida em função de Up por meio de ajuste linear de escala com mais segurança que Ud (Figura 14).

Figura 13: Umidade relativa do ar por horário

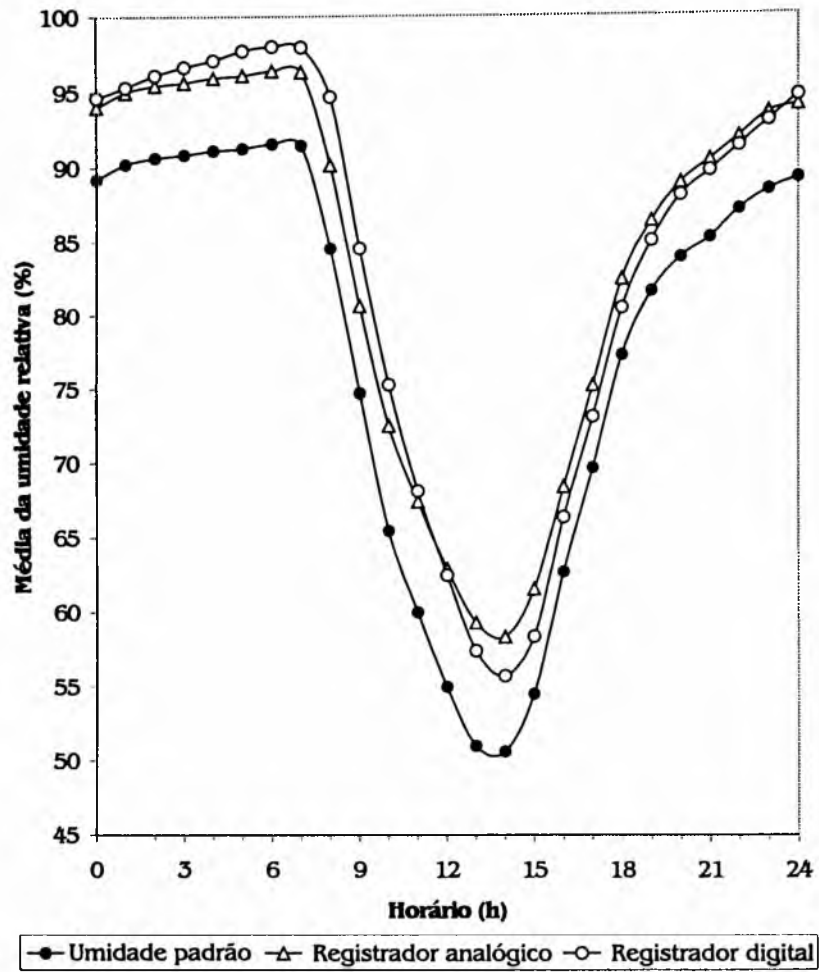
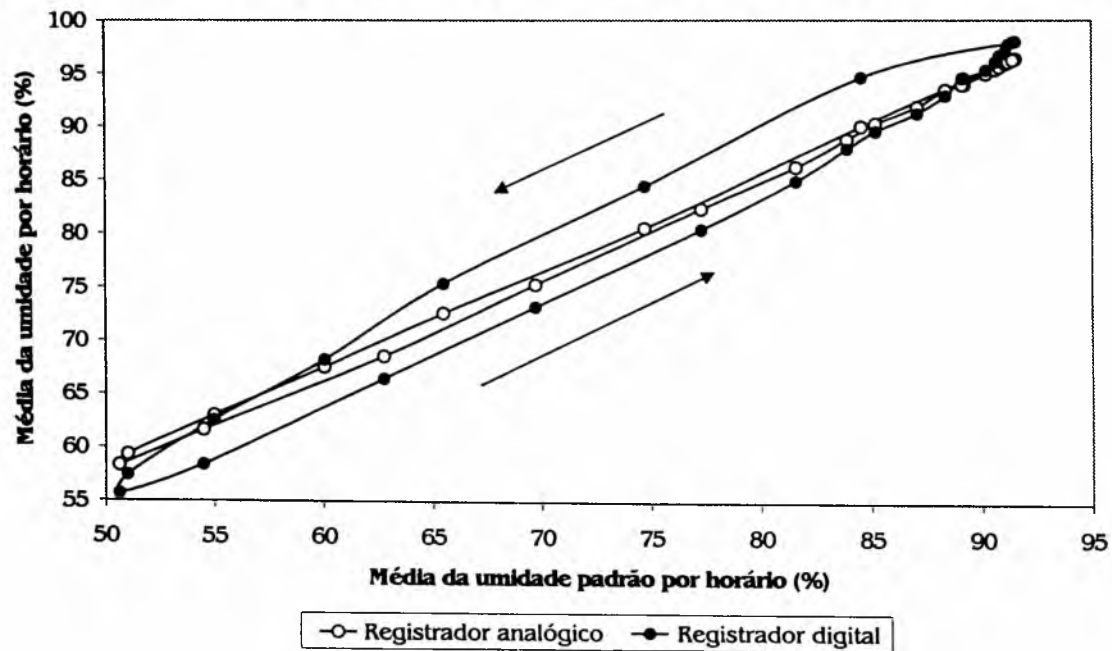


Figura 14: Média da umidade dos registradores em função da média da umidade padrão por horário



4. Conclusão

O termômetro minirregistrator digital testado gera série de temperatura significativamente distinta daquelas obtidas a partir do termômetro de bulbo de mercúrio e do termógrafo, mesmo quando submetidos às mesmas condições internas do abrigo meteorológico padronizado. No entanto, a série mensal de temperatura do ar gerada pelo TMD (termômetro minirregistrator digital), uma vez corrigida, é um pouco mais confiável que a gerada a partir do termógrafo. Os resultados obtidos sugerem que o TMD não apresenta inércia térmica instrumental em relação ao termômetro de mercúrio, no entanto, é susceptível, aparentemente, a fluxos negativos ou positivos muito intensos no balanço de radiação de curto prazo. Esse efeito, há muito conhecido para o termômetro de mercúrio fora do abrigo meteorológico e que foi base do desenvolvimento inicial da actinometria, deve ser mais acentuado no caso de trabalhos de campo que investiguem a distribuição espacial da temperatura do ar. Nesses trabalhos, comuns em microclimatologia, normalmente são utilizados abrigos simplificados que apenas impedem que a insolação direta atinja o instrumento, mas limitam muito pouco as trocas de radiação, sobretudo em ondas longas, entre o instrumento, as superfícies circundantes e parcela do céu (AZEVEDO, 2001). Deve ser assinalado que o sensor do TMD é revestido por uma membrana plástica de cor preta, o que acarreta resposta mais rápida e mais intensa aos processos de troca de calor por radiação, mesmo no interior do abrigo. Sugere-se, nesses casos, que pelo menos o sensor do TMD seja abrigado no interior de um envoltório com calor específico baixo, com alta inércia térmica e com baixo coeficiente de permeabilidade térmica, estanque à luz em que o ar seja aspirado continuamente. Além disso, aconselha-se manter um instrumento no interior de um abrigo meteorológico padrão com pelo menos um termômetro de bulbo de mercúrio padrão devidamente calibrado para obtenção posterior dos coeficientes de correção.

Os valores médios diários, horários ou mensais da temperatura do ar obtidos por meio do TMD, uma vez corrigidos, são confiáveis e comparáveis com os obtidos pelo instrumental analógico tradicional. Para os valores instantâneos, o mesmo não é verdadeiro. Donde se depreende que o TMD, do ponto de vista estritamente instrumental, não apresenta um desempenho superior aos registradores mecânicos tradicionais, mas, no máximo, equivalente.

O higrômetro minirregistrator digital testado produz uma série de umidade relativa do ar menos confiável que a produzida pelo higrógrafo tradicional. Embora ambos apresentem inércia instrumental, no caso do HMD (higrômetro minirregistrator digital) ela interfere mais nos registros obtidos. Em investigação posterior à deste trabalho pretende-se determinar se o desempenho do HMD melhora se submetido às mesmas condições sugeridas para a utilização do TMD fora do abrigo meteorológico padrão. Ambos poderiam ser acondicionados no mesmo envoltório com ar aspirado. Provavelmente, nessas condições, as trocas de água entre o ar e o sensor ocorram mais rapidamente e resultem em uma série de umidade em que as diferenças em relação à umidade relativa do ar obtida por psicrômetro de aspiração sejam mais homogêneas.

Uma vez corrigidos, os valores médios diários, horários e mensal da umidade relativa, obtida por meio do HMD, podem ser comparados com valores obtidos em estações meteorológicas convencionais, desde que seja revelada, nesse caso, possível influência instrumental, sobretudo quando forem comparações sobre pequenas amplitudes e variações. Desaconselha-se a comparação de valores instantâneos da umidade do ar obtida por HMD, o que é desde há muito reconhecido para a comparação entre valores obtidos pelos higrógrafos tradicionais e pelos psicrômetros.

Voltando à hipótese inicial, há evidências de que as séries de temperatura e umidade obtidas a partir dos instrumentos registradores digitais testados possuam atributos distintos das

produzidas a partir de instrumentos convencionais. Essas séries são compatíveis e comparáveis quando reduzidas a valores médios e corrigidas. Este trabalho contribui para a solução do problema.

5. Agradecimentos

Ao Laboratório de Climatologia e Biogeografia do Departamento de Geografia da Uni-

versidade de São Paulo, pela cessão dos minirregistradores digitais. Ao Instituto Astronômico e Geofísico pelos dados meteorológicos da Estação Meteorológica da Água Funda e por abrigar e zelar pelos instrumentos do LCB no período desta pesquisa. À FAPESP pelos recursos necessários à aquisição dos minirregistradores digitais. Ao Prof. Dr. José Roberto Tarifa pela revisão do texto, sugestões e críticas oportunas.

Notas

- 1 Marca FUESS, modelo 79, número de série 2243, acervo da Estação da Água Funda – IAG – USP.
- 2 Marca FUESS, modelo 32e, número de série D-3727, acervo da Estação da Água Funda – IAG – USP.
- 3 Marca Onset, Modelo Stow Away XT102, número de série 223016, acervo do Laboratório de Climatologia e Biogeografia – DG – USP.
- 4 Higrógrafo de harpa de fio de cabelo, marca FUESS, Modelo 77g e número de série 2243, acervo da Estação da Água Funda – IAG – USP.
- 5 Marca Onset, Modelo Stow Away RH02, número de série 234333, acervo do Laboratório de Climatologia e Biogeografia – DG – USP.

Bibliografia

- AZEVEDO, Tarik Rezende de. *Derivação antrópica do clima na Região Metropolitana de São Paulo abordada como função do ritmo semanal das atividades humanas*. Tese de Doutorado apresentada à Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas da Universidade de São Paulo, desenvolvida no Laboratório de Climatologia e Biogeografia sob orientação do Prof. Dr. José Roberto Tarifa, 2001.
- IAG. *Observações de Superfície Efetuadas na Estação Meteorológica*. Vol.3, Departamento de Ciências Atmosféricas do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo, 1999.
- ONSET. *StowAway XTI User's Manual*. ONSET Computer Corporation, Bourne, Massachusetts, 1996.
- SANTOS, P. M. dos. *O Serviço Meteorológico do Instituto Astronômico e Geofísico da Universidade de São Paulo*. Observatório Astronômico de São Paulo, São Paulo, 1964.
- TARIFA, José Roberto. Sobre um Programa de 'Climatologia Experimental' na Região Metropolitana de São Paulo. In: *Boletim Paulista de Geografia*, n.52, Associação dos Geógrafos Brasileiros, São Paulo, 1976.
- XAVIER, T. de M. B. S. et al. Evolução da Precipitação Diária num Ambiente Urbano: o Caso da Cidade de São Paulo. In: *Revista Brasileira de Meteorologia*, vol.9(1), Sociedade Brasileira de Meteorologia, São Paulo, 1994.