

FOL  
03920

RESULTADOS PRELIMINARES DO PROJETO ZONEAMENTO DO DÉFICIT HÍDRICO DO TSA UTILIZANDO TÉCNICAS DE TELEDETECÇÃO ESPACIAL.

Por: CARDON, Daniel Alain - Pesquisador da ORSTOM  
AMORIM NETO, M. da Silva - Pesquisador da EMBRAPA.

1. DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.

O cálculo do balanço hídrico se faz utilizando-se dos dados de pluviometria, evapotranspiração, quantidade de água armazenada no solo e água de escoamento.

A região semi-árida do Nordeste, caracteriza-se por uma extrema irregularidade na repartição das chuvas no tempo e no espaço, tanto em um ano, como de um ano para outro.

De acordo com o trabalho de RAMOS (1974) constata-se que, na maioria dos casos, a estação chuvosa constitui-se de períodos chuvosos de pequena duração (1 a 8 dias) seguidos de períodos secos de duração maior (até 4 semanas ou mais) (Ver figura 1).

Calcular o balanço hídrico numa escala de tempo (mês, década), supõe que durante esse período os parâmetros usados tem valores constantes, o que, nas condições do Nordeste, com a irregularidade das chuvas, pode ser considerado errado. Embora a água armazenada no solo possa reduzir o efeito dessa hipótese, o erro pode ser de importância e GHOSE (1971) analisando a seca de 1970 na escala de década, mostrou que, para um mesmo valor de pluviometria, o resultado pode variar bastante considerando que as chuvas aconteçam no início ou no fim de década.

---

\* Seminário apresentado no CPATSA/EMBRAPA em 04 de fevereiro de 1983.

~~Resultados preliminares do~~  
1983 ~~FL-06351~~



Apesar disso a maioria dos pesquisadores; REIS (1972) ALVES (1971), HARGREAVES (1974), AMORIM (1982), Atlas Climatológico do estado da Bahia (1976), trabalharam na escala do mês, não foi por ignorância do problema mas em função da disponibilidade de dados para se trabalhar em uma escala menor.

A estimativa da evapotranspiração média mensal segundo THORNTWAITE (1952) é obtida a partir da temperatura média mensal, e segundo HARGREAVES (1974) a partir da temperatura e da higrometria mensais; mas se quisermos passar numa escala de tempo menor (década ou dia), o número dos parâmetros que precisamos é bem maior (vento, radiação solar insolação etc). Poucas estações são equipadas para a medida dos mesmos, além disto os dados disponíveis são geralmente médias mensais; enquanto que o volume de dados diários existentes necessitam serem tratados, o que implica no uso de um computador.

Pelo exposto, o obstáculo maior é a escassez de dados; nós vamos tentar superá-lo usando da maneira melhor os dados existentes. Neste sentido as características climáticas da região vão nos ajudar. Excluindo os raros dias de chuvas, constata-se que o clima apresenta uma certa regularidade. Essa característica já foi utilizada na estimativa da temperatura média mensal a partir de parâmetros astronômicos e de posição (data, altitude, longitude, latitude), por PEREIRA (1973) e por MILCIADES et alii (1981).

Esta particularidade do clima, será utilizada de duas maneiras:

. Na reconstituição de certos dados, a partir dos existentes

. Mediante o uso de correções apropriadas e quando não, tiver possibilidade de cálculo, substituir a fórmula de PENMAN no cálculo da evapotranspiração, por outra adaptada aos dados existentes (Piche, Tanque Classe A etc).

## II. APRESENTAÇÃO DO ORGANOGAMA DE TRABALHO A SER REALIZADO:

(Fig. 2)

Esse trabalho comporta três etapas essenciais:

- A partir do programa N° 1, constituição de um arquivo básico de dados consistentes.

- Com o programa N° 2, e a partir do arquivo básico, constituição de um arquivo de trabalho com os dados eventualmente reconstituídos e com várias grandezas calculadas de uso geral (E.T.P. seguindo PENMAN, duração do dia etc).

- Cálculo do déficit hídrico com o programa N° 5.

A reconstituição dos dados faltosos requer alguns estudos preliminares, para relacionar entre eles certos dados meteorológicos. No caso da insolação e da radiação solar será feita com o programa N° 4, e, para outros parâmetros será feita com outros programas menores não mencionados aqui.

Finalmente o estudo realizado com programa N° 3 a partir do arquivo de trabalho permitirá a escolha do modo de cálculo da evapotranspiração potencial em função dos parâmetros disponíveis.

## III. DADOS TRATADOS.

A necessidade de dados consistentes em número suficiente para estabelecer o método de trabalho, levou-nos a utilizar os dados disponíveis no Centro da seguinte maneira:

- Os dados de Mandacaru para estabelecer o método.

- Os dados de Bebedouro para verificar e aperfeiçoar.

O acesso aos diagramas originais nos permitiu, não só detectar, mas muitas vezes corrigir, os dados errados.

Para tratar no computador os dados mencionados, foi preciso coloca-los num suporte físico (cartões perfurados).

Esse trabalho foi realizado (através de amizade) no Serviço de Processamento de Dados da Universidade Federal da Bahia. Por isso, até hoje, limitamo-nos a 13 anos de dados da estação de Mandacaru (de 1968 a 1980).

São esses treze anos que nos permitiram todo o estudo a seguir.

#### IV. CONSTITUIÇÃO DO ARQUIVO BRUTO.

Os erros nos dados tem várias origens possíveis:

- . A coleta (sensor, observador)
- . A transferência para fichas apropriadas.
- . O preenchimento dos gabaritos de perfuração.
- . A perfuração dos cartões.

Todos os tipos de erros foram analisados de uma só vez com o programa N° 1. O organograma de execução é mostrado na figura N° 3.

A análise dos dados foi feita ano por ano, sendo que cada mês é tratado em 3 fases:

Na primeira fase o computador indica as anomalias maiores detectadas através dos 25 testes do programa.

Esses testes são, na maioria, aqueles usados pelo Serviço Meteorológico do Centro Nacional de Pesquisa Agrônômica Francês. Alguns outros testes, específicos da região, foram obtidos com estudos particulares, assim o valor da temperatura média, é testado a partir de um valor calculado com as temperaturas mínima e máxima. O processo de cálculo foi apresentado por CARDON e AMORIM ao Congresso de Meteorologia de Pelotas (outubro de 1982).

- A segunda fase é a recapitulação de todos os dados numa tabela.

- A terceira parte permite a detecção de anomalias mais sutis através de 7 gráficos dentro dos quais são comparados grandezas climáticas estreitamente correlacionados.

Seja:

- As temperaturas máxima, média, mínima
- As temperaturas mínima, úmida, de orvalho
- As temperaturas no solo a 2 e 20 centímetros
- A insolação e a radiação global
- A velocidade do vento a 50 cm e 2 metros
- A velocidade do vento a 2m e a evaporação do Piche
- A evaporação do Piche e a evaporação do tanque clas

se A.

Os valores anormais detectados foram divididos em duas categorias (Ver figura 3);

Na primeira os valores errados, que não tínhamos dúvida, foram corrigidos no arquivo de dados a fim de construir o arquivo bruto. Na segunda foram agrupados os valores que, por experiência, nós decidimos errados a fim de corrigi-los somente em nossos estudos.

#### V. RECONSTITUIÇÃO DOS DADOS FALTOSOS.

Aproveitamos as relações existentes entre os dados meteorológicos para reconstituir dados errados ou faltosos.

O trabalho já citado a respeito das temperaturas permite a reconstituição de uma das três temperaturas máxima, mínima e média a partir das duas outras com uma precisão maior que 1,5 graus para 95% dos dados.

Igualmente foram relacionados as medidas de velocidade do vento a 50 centímetros e a 2 metros; os resultados obtidos permitem a reconstituição de uma delas a partir da outra com um erro relativo menor de 30% no pior dos casos; infelizmente, devido ao tipo de anemômetro usado, esse estudo não tem nenhum valor geral e deverá ser feito cada vez que se mudar de estação meteorológica ou simplesmente de anemômetro.

Os resultados de um estudo comparativo das temperaturas mínima e úmida nos permitiu a reconstituir a temperatura

úmida com menos de 2 graus de precisão para 90% dos casos. Para calcular o déficit de saturação essa precisão é insuficiente, mas, na obtenção da evapotranspiração por alguns dias, é aceitável.

No estudo da relação entre a radiação do sol e a duração do brilho solar, vários trabalhos já foram desenvolvidos na região a respeito disso por SÁ (1973), REIS et alii (1973), AZEVEDO et alii (1982). Os vários autores procuravam uma relação do tipo:

$$G = G_0 ( a + b \frac{SS}{SS_0} )$$

onde G é a radiação global por dia

$G_0$  a radiação global acima da atmosfera

SS a duração do brilho solar

$SS_0$  a duração do dia

a, b dois coeficientes calculados.

Os valores de a e b obtidos variam bastante, resolvemos então usar nosso arquivo de 13 anos, para estudar de novo essa relação.

O processo de análise usada é bem conhecida por já ter sido apresentado num seminário anterior e só foram feitas pequenas modificações a fim de adaptar o programa nº 4 à mudança de computador.

Aproveitando o grande número de dados tentamos dividir o ano em períodos, apresentando entre eles relações significativamente diferentes.

Por isso, foram calculados, classificados e através do teste de DUNCAN comparados, os coeficientes a e b mensais (Ver tabela 1).

Sem nenhuma dúvida há diferença entre dois períodos:

- 1) os meses de abril, maio, junho e fevereiro
- 2) os meses de agosto, setembro, novembro e dezembro.

Arbitrariamente classificamos os outros meses como sendo de um ou outro dos dois períodos ou seja:

1) do mês de fevereiro a junho.

2) o resto do ano

Os resultados obtidos foram os seguintes:

$$1) G = G_0 (0.298 + 0.338 SS/SS_0)$$

$$2) G = G_0 (0.285 + 0.408 SS/SS_0)$$

e se considerarmos o ano como um só período temos:

$$G = G_0 (0.288 + 0.388 SS/SS_0).$$

Para compararmos os resultados obtidos com os de outros autores, fizemos a seguinte análise:

Se tentarmos dar um valor físico aos coeficientes  $a$  e  $b$  vê-se que, o coeficiente  $a$  corresponde ao valor relativo da radiação solar para um dia totalmente nublado, e  $a + b$  ao mesmo valor para um dia totalmente sem nuvens. Na região Semi-Árida é evidente que o valor de  $a + b$  vai ter a maior significação, e, é esse valor que vamos comparar.

Na tabela nº 2 constata-se que, de uma maneira geral, os resultados aproximam bastante daqueles obtidos no INMET por AZEVEDO, com todavia uma tendência a diminuir os valores de  $a + b$  (em média de 7%). Várias hipóteses foram feitas para explicar essa diferença.

Os resultados de AZEVEDO foram obtidos com os dados de Petrolina durante 1978 - 1979. O programa nº 4 foi rodado de novo mas só com os dados de 1978 - 1979 de Mandacaru.

Os resultados (Ver tabela nº 3) se aproximam daqueles do INMET mas ficam menores como mostram as relações anuais abaixo.

$$G = G_0 (0.27 + 0.42 SS/SS_0) \text{ (anos 78 - 79 MANDACARU).}$$

$$G = G_0 (0.30 + 0.43 SS/SS_0) \text{ (anos 78 - 79 PETROLINA).}$$

Existe uma outra explicação possível ao desvio de  $a + b$ ; a radiação do sol é medida em Petrolina com um solarímetro EPPLEY, sensor de alta precisão, enquanto que em Mandacaru usa-se um actinógrafo tipo ROBBISTSCH. De fato as medidas mos

tram em Mandacaru valores da radiação do sol em média inferiores de 5% aos valores de Petrolina. Foi rodado de novo o programa nº 4 com os dados de 1978 - 1979 mas usando valores da radiação do sol aumentados de 5%.

Desta maneira, os valores de  $a + b$  obtidos podem estar maiores ou menores do que os obtidos em Petrolina. (Ver tabela Nº 3).

Na ausência de uma certidão absoluta desta razão, não modificamos os valores da radiação do sol, mas para as aplicações futuras é preciso lembrar que talvez em nosso arquivo, os valores de  $G$  são menores de 5%.

## VI. CONSTITUIÇÃO DO ARQUIVO DE TRABALHO, ESTUDOS DOS DADOS.

O programa nº 2 (Ver figura 4) permite essas duas operações junto com o estudo de uma fórmula de evapotranspiração.

A leitura do arquivo básico (fita A do organograma) se faz dia a dia. Os dados faltosos são reconstituídos e depois, sucessivamente, são calculados:

- . a radiação global acima da atmosfera
- . a duração do dia
- . a evapotranspiração segundo PENMAN.
- . a evapotranspiração segundo BENAVIDES (1970)
- . a evapotranspiração a partir da evaporação do tanque classe A.

Assim, cria-se, dia a dia, o arquivo de trabalho (fita B do organograma).

No mesmo tempo efetuou-se um estudo preliminar dos dados.

A saída da impressora compõe-se dos elementos seguintes:

- A - por cada mês

A tabela dos valores diários do arquivo de trabalho seguida das médias mensais.

- B - no fim de cada ano

. a tabela das médias dos parâmetros anteriores mais a evapotranspiração média mensal segundo THORNTHWAITE (1952) seguida das médias anuais.

a apresentação gráfica decadária e mensal dos parâmetros seguintes:

a radiação global e insolação

a radiação global, a evapotranspiração segundo PENMAN e a partir do tanque classe A.

as temperaturas máxima, média e mínima

a velocidade do vento

a umidade relativa

a comparação mensal da evapotranspiração segundo PENMAN e THORNTHWAITE.

- C - ao fim dos dados

A saída correspondente ao fim do ano é retomada ... mas com todos os dados. Nas figuras 5 e 6 foram apresentados alguns dos gráficos obtidos por um arquivo de 10 anos (1968 a 1977).

## VII. ENSAIOS DE CÁLCULO PRÁTICO DA FÓRMULA DE PENMAN.

Dois métodos foram testados:

No primeiro foi seguido o raciocínio de BROCHET e GERBIER (1975) e de OMETTO (1974), segundo o qual, cada um dos termos de PENMAN, pode ser reconstituído a partir de dados meteorológicos de fácil obtenção.

Seja a fórmula de PENMAN:  $ETP = F(R_n) + E_a$  sendo  $R_n$  a radiação e  $E_a$  o poder da evaporação do ar.

$F(R_n)$  é estreitamente relacionado com a radiação solar  $G$ , assim como o poder evaporativo do ar com evaporação do Piche (PI) num abrigo meteorológico.

Se supormos que  $F(R_n) = K_1.G$  e  $E_a = K_2.PI$  mostra-se (BROCHET e GERBIER) que os valores de  $K_1$  e  $K_2$  variam principalmente com a latitude e a estação do ano. Na segunda parte do programa nº 2 calcula-se os valores mensais de  $K_1$  e  $K_2$ . A apresentação gráfica (figura 7) dos resultados obtidos com o arquivo de 13 anos, mostra que  $K_1$  segue mais ou menos uma lei de senos conforme a posição do sol, enquanto o valor de  $K_2$  é praticamente uma constante.

Depois, usando o programa nº 3 foi verificada a validade da fórmula:  $ETP = K_1.G + K_2.PI$  tomando como valor de  $G$  a medida direta, ou sua estimativa a partir da insolação.

Os gráficos 8 e 9 permitem avaliar a precisão da estimativa do primeiro termo, do segundo termo e da fórmula de PENMAN como função do mês, assim como a importância relativa de cada um dos termos da fórmula.

Constata-se que a estimativa do primeiro termo parece muito boa, mas só no caso da medida direta da radiação global o que limita o interesse da fórmula. Ao contrário, a evaporação do Piche, permite uma excelente aproximação do valor do segundo termo de PENMAN; contudo o coeficiente  $K_2$  suscetível de variações importantes com o tipo de abrigo meteorológico, e com a posição do Piche dentro, deve-se usar com cuidado. Um estudo é previsto a fim de resolver este aspecto do problema.

O segundo método consiste em reconstituir os dados básicos da fórmula de PENMAN a partir dos parâmetros seguintes:

As temperaturas máxima e mínima, a evaporação do Piche, a insolação.

O gráfico nº 10 mostra o papel de cada parâmetro reconstituído na perda de precisão na estimativa da fórmula de PENMAN. Ver-se a reconstituição da temperatura úmida ou da temperatura média não causam grandes diferenças, mas a reconstituição de todos os parâmetros tem por consequência um desvio muito importante. Por isto nós deixamos de prosseguir ao

desenvolvimento desse método.

## VIII. COMPARAÇÃO DE VÁRIOS MÉTODOS DE CÁLCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO-CASO DO TANQUE CLASSE A.

### 1- COMPARAÇÃO.

Para permitir esse estudo, foi criado o programa nº3. Por falta de medida direta, a evapotranspiração segundo a fórmula de PENMAN foi escolhida como referência.

Para cada estimativa da evapotranspiração foi estudada a razão, k, dessa fórmula com a evapotranspiração PENMAN e o desvio padrão de k nas condições seguintes:

1. Em função dos principais fatores meteorológicos:
  - insolação relativa
  - radiação global relativa
  - umidade relativa
  - temperatura média
  - vento
2. Em função do mês.
3. Em função do tempo de medida: dia, médias diárias de 3, 5, 10, e 30 dias.

A seguir nas operações 2 e 3 foram calculados os coeficientes de correlação entre a fórmula estudada e a de PENMAN.

Foram testadas as seguintes fórmulas:

- A fórmula de BROCHET e GERBIER, a radiação global sendo obtida pela medida direta.
- A evapotranspiração segundo a fórmula de BENAVIDES
- A evaporação do tanque classe A
- A evapotranspiração obtida a partir da evaporação do tanque classe A usando os coeficientes da F.A.O.
- A evapotranspiração de PENMAN, a temperatura média, a radiação do sol e a temperatura úmida sendo reconstituídas.

Na figura nº 11 são apresentados alguns dos resultados obtidos. Ver-se particularmente que, com medidas diárias, a correlação melhor, é obtida a partir da fórmula de BROCHET-GERBIER; depois é o tanque classe A que permite a estimativa melhor.

## 2. CASO DO TANQUE CLASSE A.

A rede de tanques classe A no Nordeste é considerável, essa ferramenta já foi muito estudada no mundo inteiro; por isso ele tem um papel particular em nosso estudo.

Dois casos foram considerados:

- . a evaporação ET do tanque
- . a estimativa da evapotranspiração obtida a partir de ET usando os padrões da F.A.O.

Na figura 12 foram comparados nos dois casos o valor mensal de  $k$  e seu desvio-padrão relativo  $\frac{\sigma}{k}$ .

Na figura 13 só é considerado a variação relativa <sup>da evaporação</sup> do tanque classe A em função da umidade relativa, do vento e do mês.

No último gráfico dessa figura ver-se que o ano pode ser dividido em dois períodos:

- no primeiro, de janeiro a maio,  $k$  tem o valor médio de 1,6
- no segundo, de junho a dezembro,  $k$  tem o valor de 1,8, janeiro e maio podendo ser considerados os meses de transição.

O exame da evolução do valor de  $k$  em função do vento mostra que o vento intervêm pouco na variação de  $k$ , salvo talvez nos meses de vento fraco (março e abril). Ao contrário, a umidade relativa, parece ter um papel muito importante com uma relação hiperbólica com os valores de  $k$ . Através dessa relação pensamos discriminar um parâmetro de forma comum a

todos os tanques, e um parâmetro ambiental variável com a localização do tanque na área de trabalho. Se conseguir isso, será possível o uso da evaporação do tanque na estimativa da evapotranspiração, mesmo se não tiver perfeitamente respeitado os padrões de instalação; o que acontece em muitos casos.

Esse estudo necessitará evidentemente o uso de dados de outras estações, mas, pensamos que é fundamental, não só para prosseguir nosso trabalho, mas para todo usuário do tanque classe A.

#### IX. CÁLCULO DE BALANÇO HÍDRICO.

O balanço que pretendemos fazer é um balanço teórico com uma planta cobrindo perfeitamente o solo, e usando toda a capacidade de armazenamento do solo; esse último será obtido através dos resultados dos pedólogos. O meio de controle será a vegetação natural que deve refletir os resultados obtidos assim como indica o esboço de organograma da figura 14.

O trabalho já desenvolvido nos permite, em função dos dados disponíveis, de escolher o modo de cálculo da evapotranspiração. Basta saber o período de trabalho (dia, pên-tada e década) e se escolher o tipo de relação ETR/ETP em função dos modelos existentes (THORNTWAITE (1951), EAGLEMAN (1971), FRANQUIN (1978) etc ..). Isto é o objetivo do trabalho a ser desenvolvido nos próximos meses.

#### X. CONCLUSÃO.

O trabalho desenvolvido já apresentou resultados interessantes.

O método de homogeneização dos dados permite uma verificação quase completa dos dados e, depois de adquirirmos mais experiência, pensamos informatizar as correções

A estimativa da evapotranspiração potencial a partir da evaporação do tanque classe A, assim como o uso do Piche no cálculo do segundo termo da fórmula de PENMAN, são problemas de interesse geral. Já foi resolvido o caso particular da estação meteorológica de Mandacaru; pensamos em generalizar o estudo depois que tratarmos os dados de algumas outras estações.

Enfim, se conseguirmos os dados numa forma legível pelo computador, bastará de alguns minutos para obter gráficos anuais do balanço hídrico de uma estação.

Mas, para todo o trabalho a ser efetuado precisa-se de um computador de grande capacidade e de dispor dos dados a serem tratados. Uma solução provisória foi de usar o computador da Universidade Federal da Bahia. Isso nos ajudou muito, mas, apresenta várias desvantagens:

1. Os dados tratados foram até hoje disponíveis no CPATSA mas, no futuro, tanto os dados como os diagramas para controlar, serão centralizados no INMET em Brasília.

2. Missões de tratamentos de dados, supõem-se organizar o trabalho de computação em poucos dias. Mas, muitas vezes, na prática, ao explorar os resultados obtidos, revela-se que pequenos trabalhos subsidiários faltam para complementar o que foi desenvolvido. Tem-se que organizar uma outra missão para efetua-los (as vezes para alguns minutos de trabalho). Foi o caso para comparar, no estudo radiação solar e insolação, os resultados obtidos com os anos 1978 - 1979 de Mandacaru.

3. As facilidades de acesso ao computador de Salvador, que nos foram dados através de amizade, acabaram no fim do ano de 1982.

A exploração dos resultados obtidos acabará antes do fim do mês de abril de 1983. Demais, pensamos em renovar pelo menos um mês, a autorização de acesso ao computador da Universidade Federal da Bahia. Assim temos algum tempo antes de finalizarmos esta primeira parte, mas temos que aproveitar esse prazo para conseguir uma outra solução.

## BIBLIOGRAFIA:

- ALVES, M.V. Evapotranspiração de 33 municípios do Estado do Ceará. Boletim técnico DNOCS, 29 (1): jan.jun: 47,66 (1971)
- AMORIM NETO, M. da S. e CARDON, D. Balanço hídrico de regiões características do estado do Piauí. 1º Congresso Piauiense de irrigação e drenagem Teresina (PI): 23p, (jun 1982).
- AZEVEDO D da C et alii. Medidas e estimativas da radiação solar global no Brasil, documento do INMET (Brasília) Centro de radiação solar 26p, (1982).
- BENAVIDES, J.G e LÓPEZ, J.D. Fórmula para el cálculo de la evapotranspiracion potencial adaptada al trópico ( $15^{\circ}$  N -  $15^{\circ}$  S). Agronomia tropical, octubre, nº 5 : 335 - 345(1970)
- BROCHET, P et GERBIER, N. L'evapotranspiration. Aspect Agrometeorologique, evaluation pratique de l'evapotranspiration potentielle Monographie nº 65 de la Meteorologie Nationale. SMM climatologie PARIS dec 1975, 94p (1975).
- CARDON, D e AMORIM NETO, M. da S. Estimativa da temperatura média em função das temperaturas máximas para a região de Petrolina. Trabalho apresentado no Congresso Meteorológico de Pelotas, 15p, outubro de 1982.
- EAGLEMAN, J.R. An experimentally derived model for actual evapotranspiration. Agric. Meteorol. 8 (4-5) : 385 - 394. (1971).
- FRANQUIN, P et FOREST, F. Des programmes pour l'evaluation et l'analyse frequentielle des termes du bilan hydrique. Agronomia tropical XXXII - 1 - Janvier - Mars, 5p (1977).

- GHOSE, S.K. Hydrological studies of recent floods and draughts in Northern Brazil. Publicação técnica nº 8 - Nov 1971 - Brasil - SUDENE - Recife - PE.
- HARGREAVES, H.G. Precipitation dependability and potentials for agricultural production in Northeast Brazil Utah State University Logan, Utah 123p, (1974).
- LIMA, M.G. de et alii. Normais de temperatura máxima, mínima e média estimadas em função da latitude e altitude para o Estado do Piauí. 1º Encontro de Engenheiros Agrônomos do Piauí. 12 a 14 de outubro de 1981.
- OMETTO, J.C. Uma equação para estimativa da evapotranspiração potencial. Sua aplicação no cálculo das necessidades hídricas e do rendimento agro-industrial da cana-de-açúcar na região de Piracicaba (SP). Piracicaba, 129p (Tese de Livre Docência ESALQ) (1974).
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open waters, bare soil and grass. Proc. R. Soc. Series A 193 0 120 - 145 (1948).
- PEREIRA, A.R. et alii. Análise de regressão como subsídio ao desenvolvimento de cartas isotermos e isoietas. Revista Geográfica, Rio de Janeiro 78, jun: 115 - 130 (1973).
- RAMOS, R.P.L. Precipitation characteristics in the Northeast Brazil dry Region. Depto. of Atmospheric Sciences. Fort Collins. Colorado. Atmospheric Sciences paper nº 224 : 56p (1974).
- REIS, A.C.S. Zoneamento Agroclimático para a cafeeicultura pernambucana. Recife, Instituto de Pesquisa Agronômicas (Boletim Técnico 52), (1972).

- REIS, A.C.S. et alii. Estimativa da energia solar global no município de Recife. Pesquisa Agropecuária Brasileira. Série Agronômica. Vol. 8 - Nº 7 : 177 - 179 (1973).
- SÁ, D.F. de. Alguns aspectos da energia solar em Mandacaru SUDENE - Boletim de Recursos Naturais V. 11, 1"2 : 11-26 , (1973).
- Secretaria de Planejamento, Ciência e Tecnologia Centro de Planejamento da Bahia - Atlas Climatológico do Estado da Bahia, Salvador, BA, 169p. (SEPLANTEC, CEPLAB. Documento nº 3), (1976).
- THORNTWAITE, C. W and MATHER, J.R. Instructions and Tables for computing evapotranspiration and the water balance DREXEL Institute of Tecnology. Publications in Climatology 10 (3) : 184 - 311, (1952).

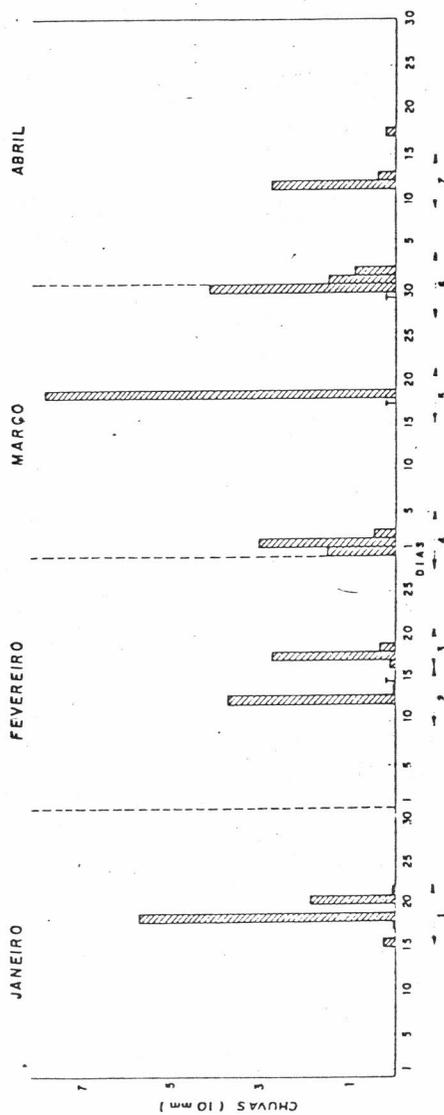


FIG. Distribuição das chuvas em Petrolina de janeiro a abril de 1982.

Figura 1.

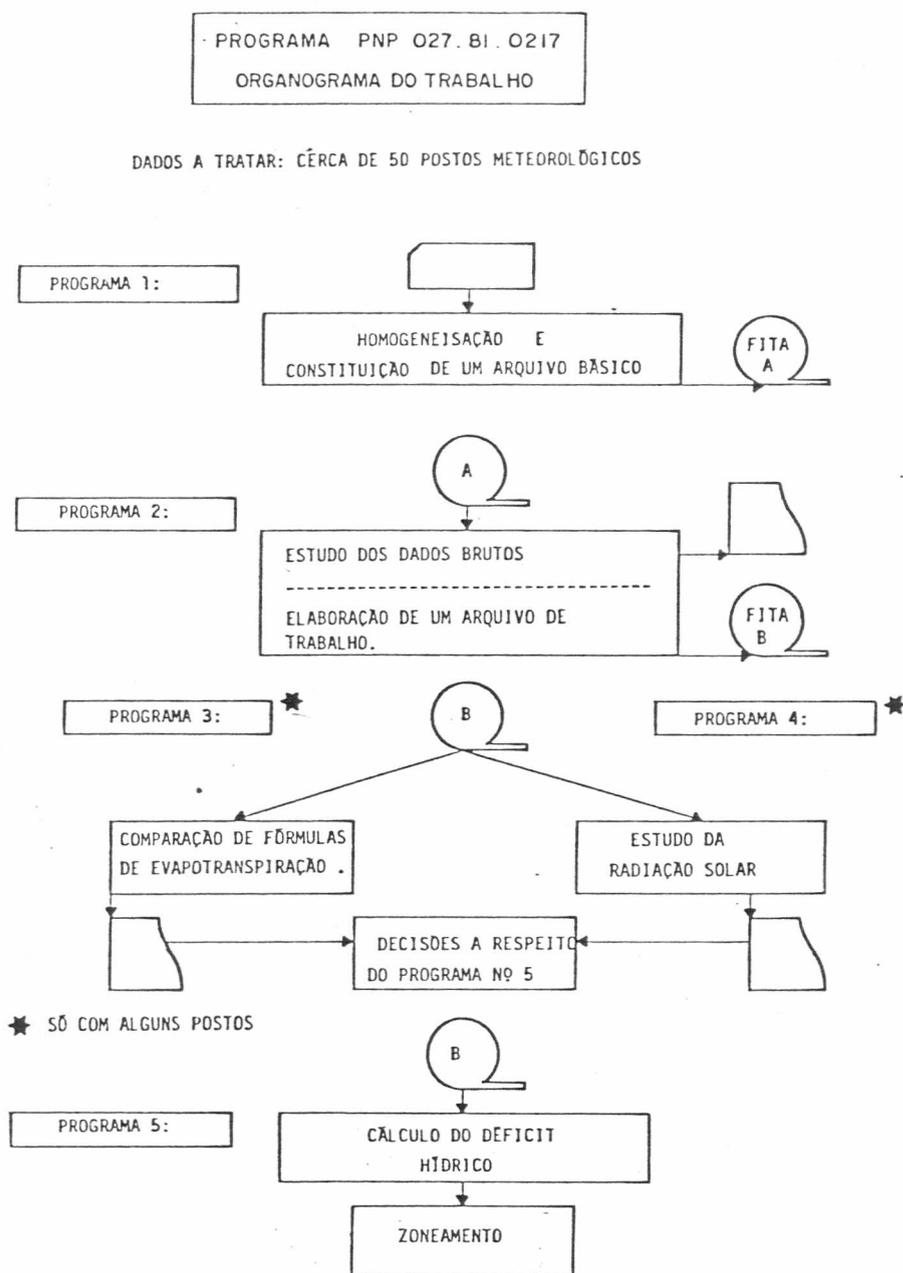


Figura 2.

## ORGANOGRAMA DO PROGRAMA Nº 1

ORIGEM DOS DADOS: INMET, EMBRAPA, SUDENE, ETC.

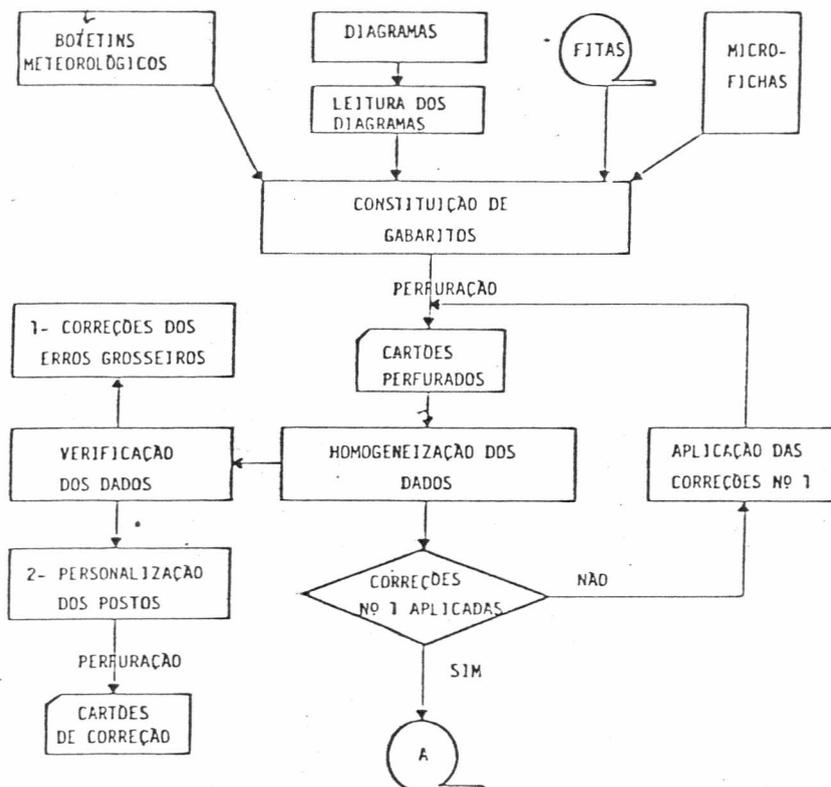


Figura 3.

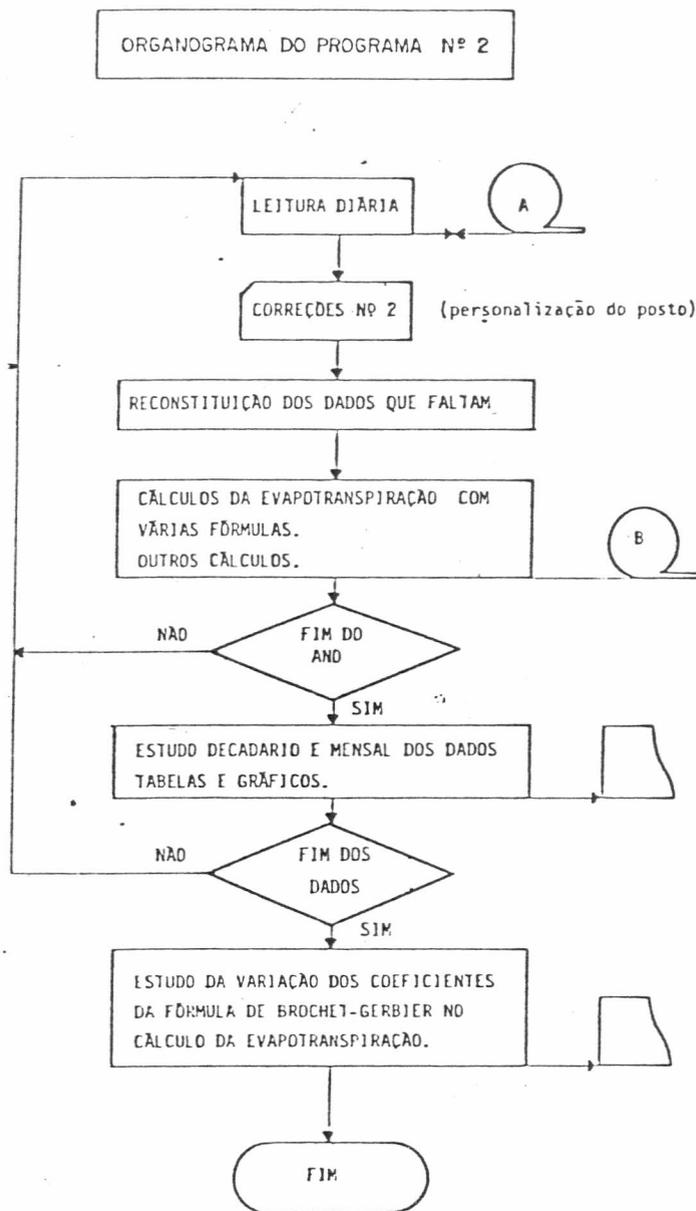
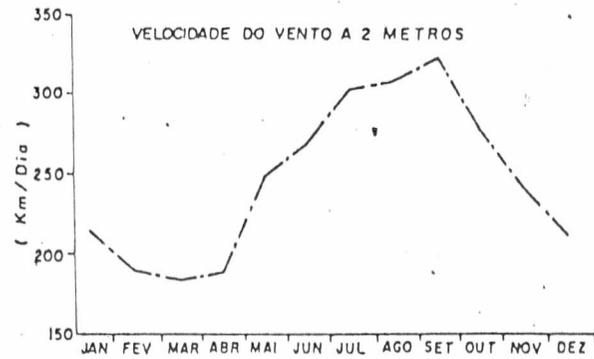
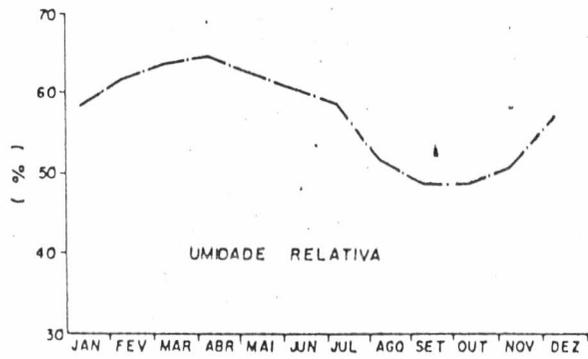
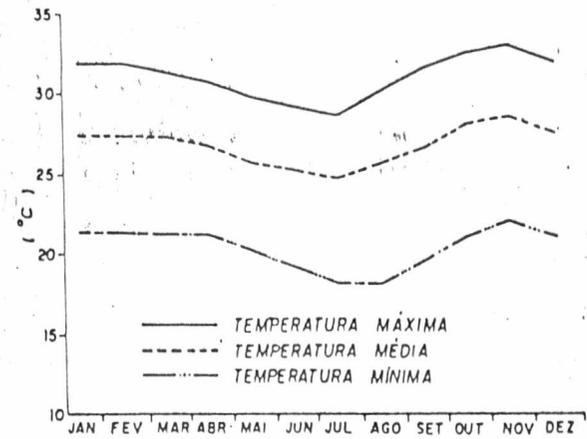
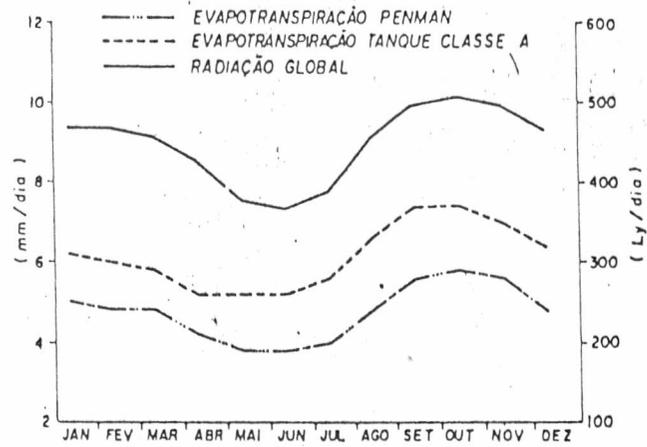


Figura 4.

Figura 5.



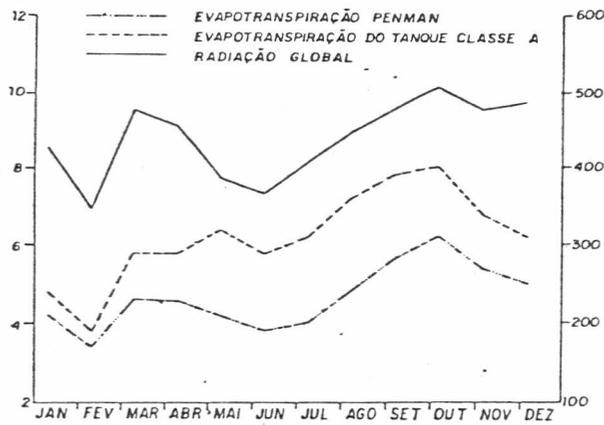
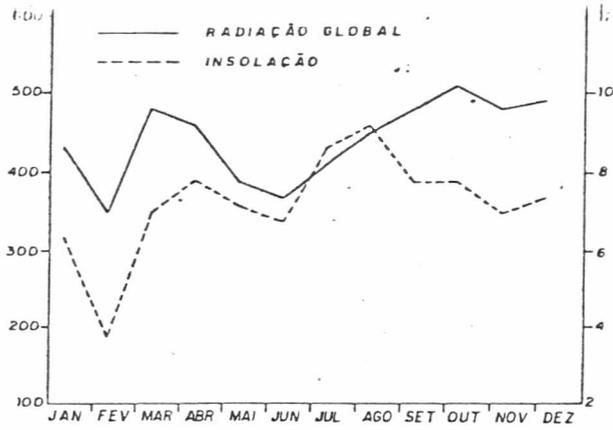


Figura 6.

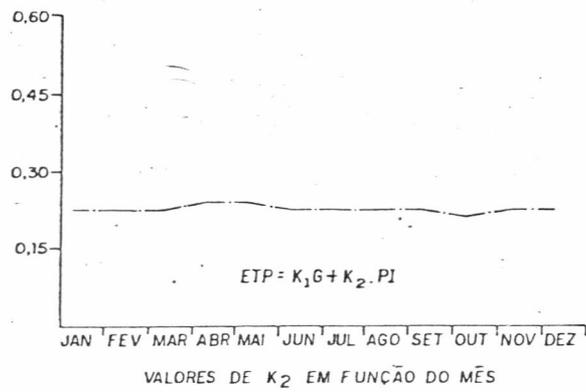
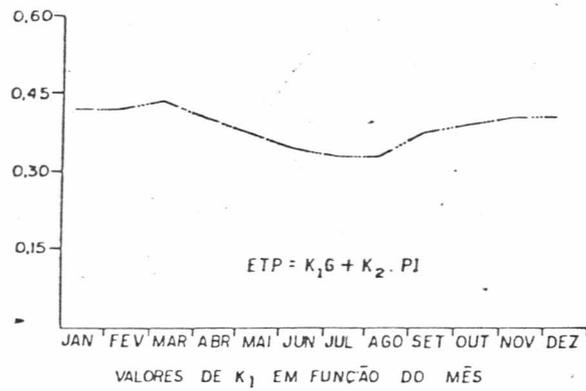
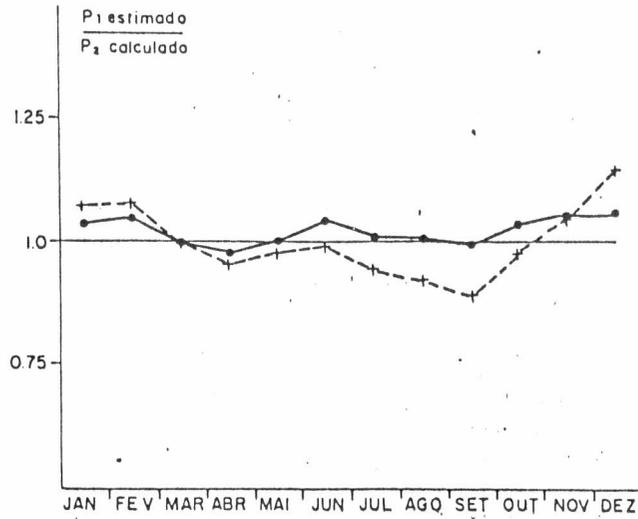


Figura 7.

Figura 8.

Estimativa do primeiro termo da formula de PENMAN

- a parti da radiação global
- - - + a parti da insolação



Estimativa do segundo termo da formula de PENMAN a parti da evaporação do PICHE

- estimada
- - - + coeficiente de correlação.

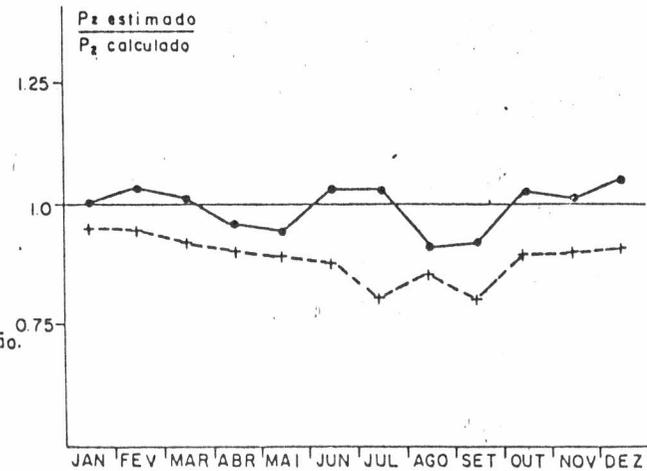
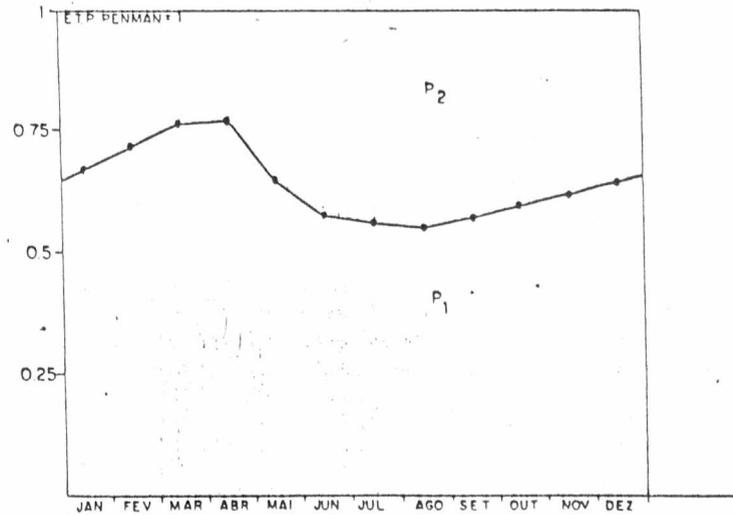


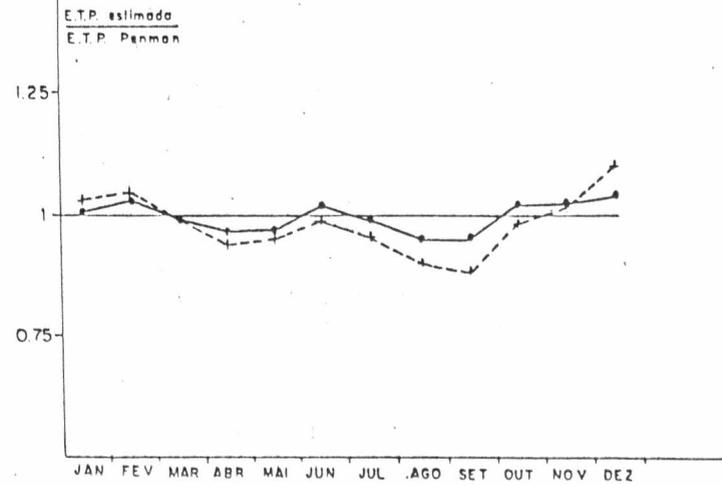
Figura 9.

Importância relativa do primeiro e do segundo termo da fórmula de PENMAN



Estimativa de evapotranspiração potencial

- A partir da radiação global e do Piche
- +---+ A partir da insolação e do Piche



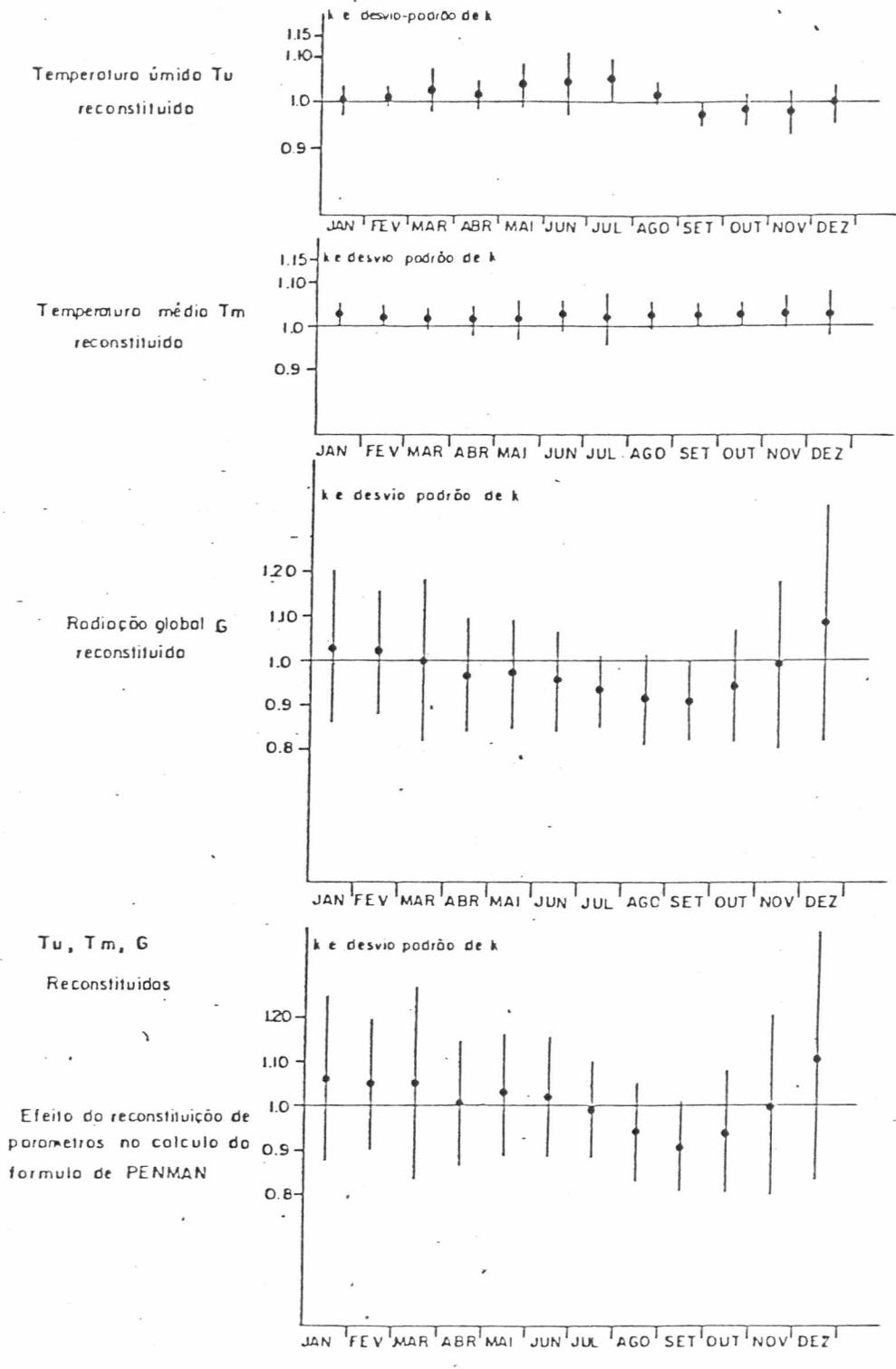


Figura 10.

Figura 11.

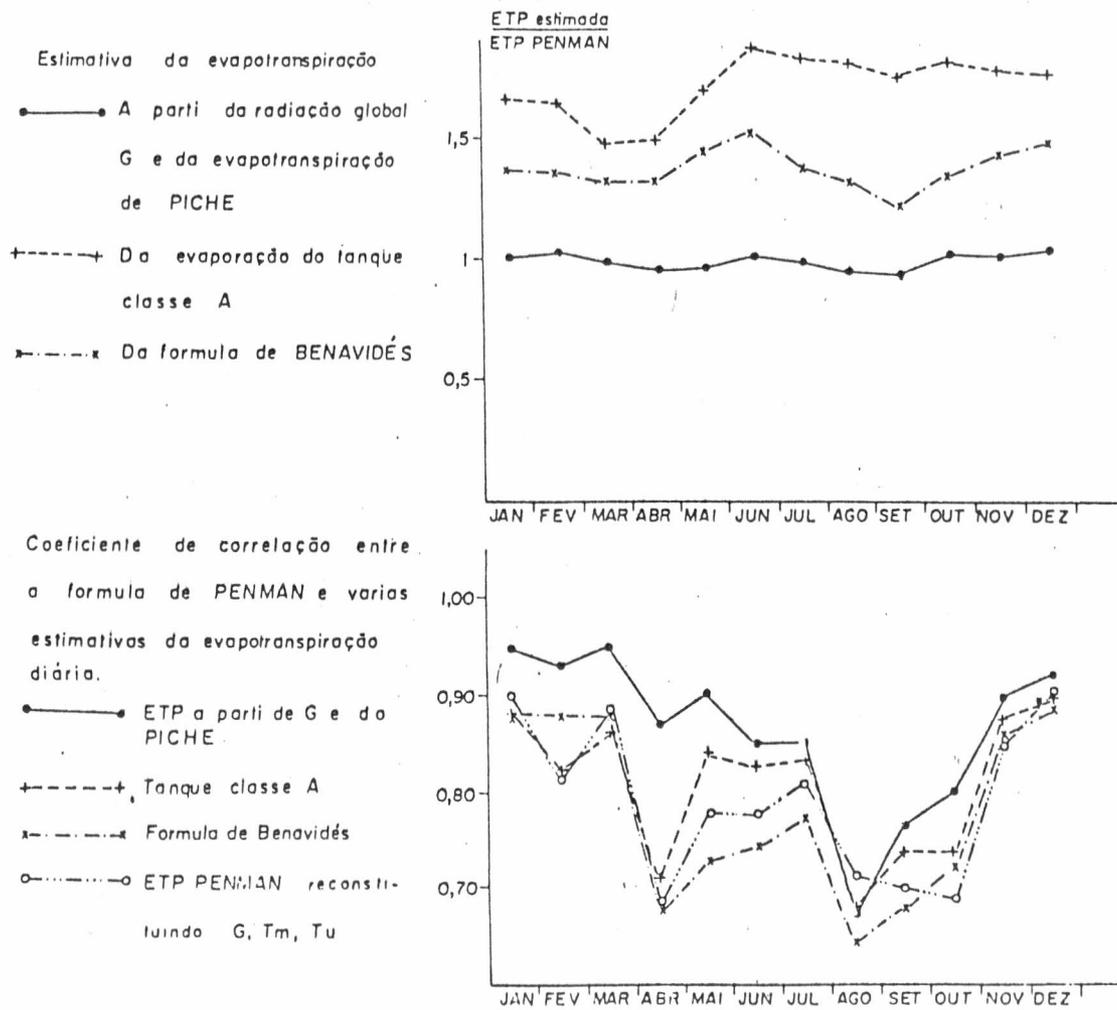
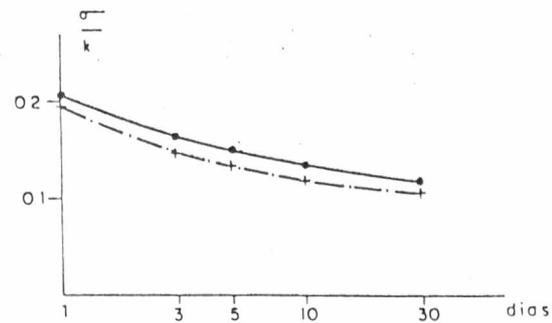
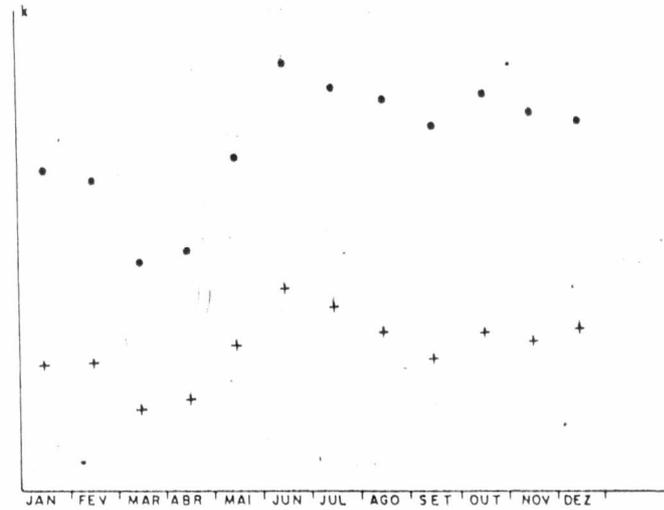


Figura 12.

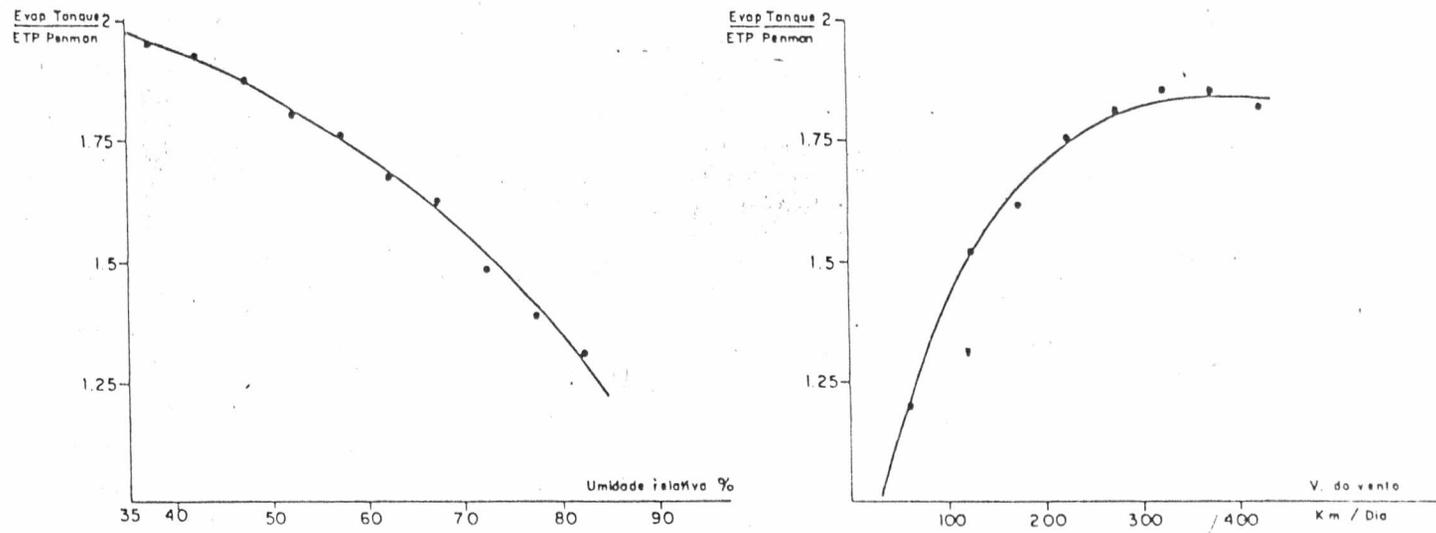
$$\bullet k = \frac{\text{Evaporação do tanque classe A}}{\text{E.T.P. PENMAN}}$$

$$+ k = \frac{\text{Evapotranspição estimada a partir do tanque classe A}}{\text{E.T.P. PENMAN}}$$

Varição de k em função do mês



Precisão da estimativa da evapotranspição em função da duração do período considerado



Comparaçao da evaporaçao do tanque classe A e da evapotranspiraçao potencial calcula do segundo PENMAN

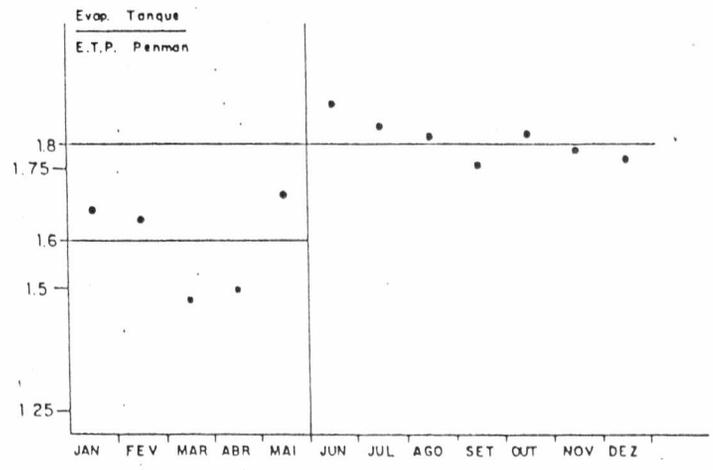


Figura 13.

## ORGANOGRAMA DO PROGRAMA Nº 5

## ZONEAMENTO DO DÉFICIT HÍDRICO

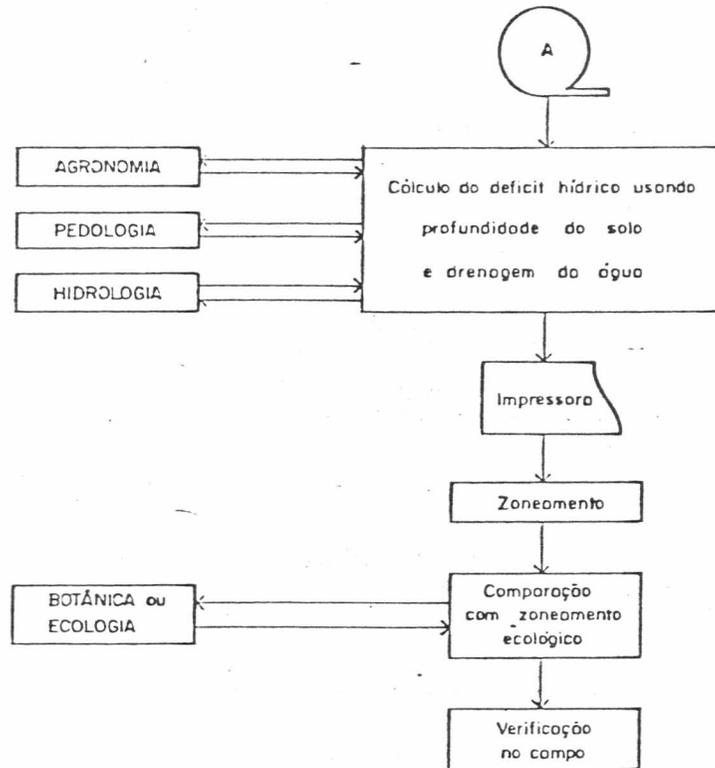


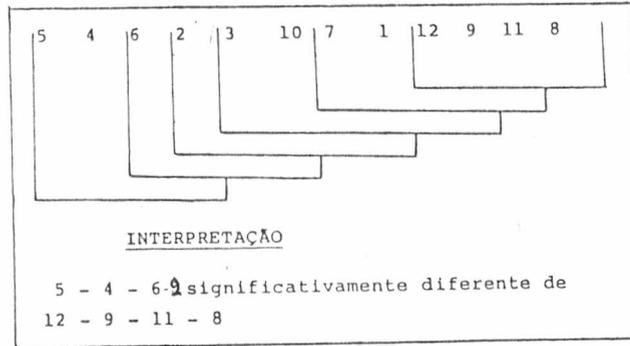
Figura 14.

INTERPRETAÇÃO DO TESTE DE DUNCAN

	8	11	9	12	1	7	10	3	2	6	4	
5	S	S	S	S	S	S	S	S				
4	S	S	S	S	S	S	S	S				
6	S	S	S	S	S	S						
2	S	S	S	S								
3	S	S										
10	S	S										
7	S											
1	S											
12												
9												
11												

← Número do mês

↑  
Número do mês



I.N.M.E.T. (EPPLEY)				MANDACARU (ROBBITSCH)			$\frac{A + B (EP)}{A + B (RO)}$
MÊS	A	B	A + B	A	B	A + B	
JAN	0,24	0,46	0,70	0,28	0,38	0,66	1,06
FEV	0,27	0,42	0,69	0,28	0,35	0,63	1,09
MAR	0,29	0,42	0,71	0,30	0,36	0,66	1,08
ABR	0,31	0,39	0,70	0,31	0,32	0,63	1,11
MAI	0,30	0,43	0,73	0,30	0,31	0,61	1,20
JUN	0,33	0,39	0,72	0,32	0,34	0,65	1,08
JUL	0,32	0,42	0,74	0,32	0,41	0,73	1,01
AGO	0,31	0,44	0,75	0,30	0,43	0,73	1,03
SET	0,28	0,46	0,74	0,32	0,41	0,73	1,01
OUT	0,31	0,42	0,73	0,32	0,37	0,69	1,06
NOV	0,29	0,45	0,74	0,27	0,41	0,68	1,03
DEZ	0,29	0,40	0,69	0,26	0,39	0,65	1,06

Média 1,068

	a	b	a + b
de SA' 21 de março 23 setemb.	0,140	0,673	0,81
de SA' 23 de setemb. 21 março	0,328	0,396	0,72
Todo o ano	0,251	0,511	0,76
REIS Todo o ano	0,26	0,31	0,57

## VALORES DE a + b PARA OS ANOS 1978 - 1979

MÊS	PETROLINA (INMET)	1	2	1	2	A+B (13 anos) A+B ( INMET)
		MANDACARU	MANDACARU Aumentando G de 5%	A + B A+B (INMET)	A + B A+B (INMET)	
Janeiro	0.70	0.66	0.69	.94	.99	.94
Fevereiro	0.69	0.67	0.71	.97	1.03	.91
Março	0.71	0.66	0.69	.93	.97	.93
Abril	0.70	0.65	0.68	.93	.97	.9
Maior	0.73	0.62	0.66	.85	.90	.84
Junho	0.72	0.63	0.66	.88	.92	.90
Julho	0.74	0.66	0.70	.89	.95	.99
Agosto	0.75	0.72	0.76	.96	1.01	.97
Setembro	0.74	0.73	0.78	.99	1.05	.99
Outubro	0.73	0.73	0.76	1.00	1.04	.95
Novembro	0.74	0.72	0.75	.97	1.01	.92
Dezembro	0.69	0.67	0.71	.97	1.03	.94