

FRANCISCO SOLON DANTAS NETO

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA
DEMANDA EVAPOTRANSPIRATIVA E DO REGIME PLUVIAL NA
BACIA DOS RIOS DO LESTE**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

**VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
JUNHO – 1999**

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

D192c
1999

Dantas Neto, Francisco Solon, 1969-

Caracterização e análise espaço-temporal da demanda evapotranspirativa e do regime pluvial na Bacia dos Rios do Leste / Francisco Solon Dantas Neto. – Viçosa : UFV, 1999.

69p. : il.

Orientador: José Maria Nogueira da Costa
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa

1. Evapotranspiração. 2. Precipitação (Meteorologia).
3. Feijão - Irrigação - Demanda. 4. Balanço hídrico.
5. Sistemas de informação geográfica. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 551.572


CDD 20.ed. 551.572

FRANCISCO SOLON DANTAS NETO


**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA
DEMANDA EVAPOTRANSPIRATIVA E DO REGIME PLUVIAL NA
BACIA DOS RIOS DO LESTE**

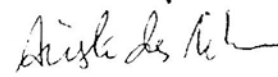
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Curso de Meteorologia Agrícola, para obtenção do título de "*Magister Scientiae*".

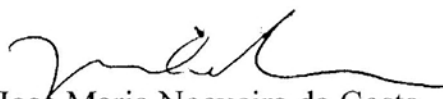
APROVADA: 18 de março de 1999.


Prof. Gilberto C. Sedyama
(Conselheiro)


Prof. Luiz Cláudio Costa
(Conselheiro)


Prof. Marcos Heil Costa


Prof. Aristides Ribeiro


Prof. José Maria Nogueira da Costa
(Orientador)

Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil — e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos.

Albert Einstein

À minha Esposa Ione.

À minha filha Andréa Najla.

Aos meus pais Aldecir e Valteriza.

Dedico.

AGRADECIMENTO

A Deus, pela força nos momentos difíceis.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade do aprendizado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro.

Ao professor José Maria, pelo apoio, pela amizade, pela confiança e pela sábia orientação.

Ao professor Gilberto Sedyama, pela amizade e pelos valiosos conselhos.

Ao professor Luiz Cláudio, pelos valiosos conselhos.

Aos professores Aristide, Marcos Heil e Antonio Alves, pelas sugestões.

Aos professores do Departamento de Engenharia Agrícola, pelos ensinamentos.

Aos colegas do curso de Meteorologia Agrícola, pela amizade e pelo companheirismo, especialmente a Tarcísio, pela grande amizade.

Aos amigos Karlos Welby, Márcio Francelino, Celsemy, Carlos (Papa), Nori, Ronaldinho e Braulírio, pelo bom convívio.

A todos que, direta ou indiretamente, colaboraram para a conclusão deste trabalho.

BIOGRAFIA

FRANCISCO SOLON DANTAS NETO, filho de Antonio Aldecir de Oliveira e Valteriza Dantas de Oliveira, nasceu na cidade de Mossoró, RN, em 11 de agosto de 1969.

Em 1995, graduou-se em Agronomia pela Escola Superior de Agricultura de Mossoró (ESAM), onde atuou como monitor da disciplina Processamento de Dados.

Em 1996, iniciou o curso de pós-graduação em Meteorologia Agrícola, em nível de Mestrado, na Universidade Federal de Viçosa.

CONTEÚDO

LISTA DE SÍMBOLOS	vii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
EXTRATO	xiv
ABSTRACT	xvi
1. INTRODUÇÃO	01
2. REVISÃO DE LITERATURA	03
2.1. Definição de dia chuvoso	03
2.2. Distribuição de probabilidade gama	04
2.3. Evapotranspiração de referência	06
2.4. Balanço de água no solo	07
2.5. Sistema de informações geográficas	08
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Região de estudo	11
3.2. Base de dados	11
3.3. Precipitação provável	16
3.4. Demanda evapotranspirativa	20
3.5. Balanço de água no solo	21
3.6. Época de plantio	26

3.7. Programas computacionais	27
3.8. Espacialização dos resultados	28
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Sistema computacional DEMANDAsis	31
4.2. Demanda evapotranspirativa	35
4.3. Precipitação provável	40
4.4. Demanda de irrigação na Bacia dos Rios do Leste	50
4.4.1. Pico de evapotranspiração de referência	50
4.4.2. Demanda de irrigação para a cultura do feijoeiro.	51
4.4.3. Demanda de irrigação total considerando a época mais crítica para plantio	51
4.4.4. Demanda de irrigação suplementar	53
4.4.5. Demanda de irrigação suplementar considerando a época de plantio	56
4.4.6. Época de plantio com maior oferta de água no ciclo da cultura, considerando a estação chuvosa	60
5. RESUMO E CONCLUSÕES	63
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

LISTA DE SÍMBOLOS

$P(Y \leq y)$	Probabilidade de ocorrência de uma quantidade de precipitação igual ou inferior a y .
P_s	Probabilidade de ocorrência de períodos secos.
P_c	Probabilidade de ocorrência de períodos chuvosos.
$G(Y \leq y)$	Probabilidade teórica de ocorrência de uma quantidade de precipitação Y igual ou inferior a y .
Y	Variável aleatória de precipitação.
α	Parâmetro de forma.
β	Parâmetro de escala da variável aleatória Y .
y	Valor de precipitação que tem probabilidade acumulada $G(Y \leq y)$ de ocorrer.
N	Número de observações.
\bar{X}	Média aritmética das observações.
X_g	Média geométrica das observações.
P_r	Probabilidade acumulada.
ET_o	Evapotranspiração de referência.

Rn	Saldo de radiação solar.
G	Fluxo de calor no solo.
δ	Declividade da curva de pressão de vapor.
γ	Constante psicrométrica.
γ^*	Constante psicrométrica modificada.
λ	Calor latente de evaporação.
T	Temperatura do ar.
$(e_a - e_d)$	Déficit de pressão de vapor.
U_2	Velocidade do vento a 2 m de altura.
DA_i	Déficit de água no período i.
ET_i	Evapotranspiração da cultura no período i.
Pp_i	Perda por percolação no período i.
P_i	Precipitação no período i.
I_i	Irrigação no período i.
DTA	Disponibilidade total de água.
Cc	Capacidade de campo.
Pm	Ponto de murchamento.
Da	Densidade aparente do solo.
CTA	Capacidade total de água do solo.
Z	Profundidade efetiva do sistema radicular.
CRA	Capacidade real de água do solo.
f	Fator de disponibilidade.
Ks_i	Coefficiente de umidade do solo no período i.

Kc_i	Coefficiente da cultura para o período i .
ETo_i	Evapotranspiração de referência no período i .
LAA	Lâmina atual de água no solo.
UA	Umidade atual no solo.
DAP	Dias após o plantio.
G_i	Peso estimado no ponto interpolado.
X_i	Peso do i -ésimo ponto amostrado.
d_i	Distância euclidiana do i -ésimo ponto amostrado i ao ponto interpolado.
m	Expoente da função de distância.
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica.
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	Estações pluviométricas da ANEEL, na Bacia dos Rios do Leste.....	14
Quadro 2	Estações climatológicas do INMET, na Bacia dos Rios do Leste.....	16
Quadro 3	Valores máximos de evapotranspiração de referência na Bacia dos Rios do Leste.	36
Quadro 4	Valores decendiais de precipitação provável em nível de 75% de probabilidade na Bacia dos Rios do Leste.	41
Quadro 5	Porcentagem de área ocupada por classe de demanda de irrigação total para a cultura do feijoeiro plantada em solos de textura grossa, média e fina, na Bacia dos Rios do Leste.	53
Quadro 6	Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura grossa, em função do mês de plantio.	57
Quadro 7	Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura média, em função do mês de plantio.	58
Quadro 8	Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura fina, em função do mês de plantio.....	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localização geográfica da Bacia dos Rios do Leste.....	12
Figura 2	Distribuição geográfica das estações pluviométricas da ANEEL, na Bacia dos Rios do Leste	13
Figura 3	Distribuição geográfica das estações climatológicas do INMET, na Bacia dos Rios do Leste.....	15
Figura 4	Curvas normais mensais de precipitação e evapotranspiração de referência para a localidade de Teófilo Otoni.....	27
Figura 5	Etapas e programas utilizados para a geração de mapas temáticos com feições dos parâmetros estudados, pela aplicação de um Sistema de Informações Geográficas	30
Figura 6	Tela de abertura do programa DEMANDAsis.	32
Figura 7	Tela de cadastro do programa DEMANDAsis.	33
Figura 8	Tela de consulta do programa DEMANDAsis, explicitando consulta da cultura feijoeiro.....	34
Figura 9	Tela de simulação de plantio do programa DEMANDAsis, mostrando as informações necessárias para a análise.....	34
Figura 10	Tela de saída de resultados da análise de plantio.....	35

Figura 11	Evolução decendial dos valores máximos de evapotranspiração de referência, para nove localidades da Bacia dos Rios do Leste.....	37
Figura 12	Evolução média, mensal do saldo de radiação solar, na Bacia dos Rios do Leste.	37
Figura 13	Valores máximos de evapotranspiração de referência no 2º decêndio de janeiro, na Bacia dos Rios do Leste.....	39
Figura 14	Valores máximos de evapotranspiração de referência no 2º decêndio de julho, na Bacia dos Rios do Leste.	39
Figura 15	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 1º decêndio de janeiro, na Bacia dos Rios do Leste.	44
Figura 16	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 2º decêndio de janeiro, na Bacia dos Rios do Leste.	44
Figura 17	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 3º decêndio de fevereiro, na Bacia dos Rios do Leste.....	45
Figura 18	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 1º decêndio de março, na Bacia dos Rios do Leste.	45
Figura 19	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 2º decêndio de agosto, na Bacia dos Rios do Leste.....	47
Figura 20	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 2º decêndio de outubro, na Bacia dos Rios do Leste.....	47
Figura 21	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 3º decêndio de outubro, na Bacia dos Rios do Leste.....	48
Figura 22	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 1º decêndio de dezembro, na Bacia dos Rios do Leste.....	48
Figura 23	Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 3º decêndio de dezembro, na Bacia dos Rios do Leste.....	49
Figura 24	Variação do pico anual da evapotranspiração de referência, em mm d^{-1} , na Bacia dos Rios do Leste.	50
Figura 25	Demanda de irrigação total, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura grossa, na Bacia dos Rios do Leste.....	52

Figura 26	Demanda de irrigação total, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura média, na Bacia dos Rios do Leste.....	52
Figura 27	Demanda de irrigação total, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura fina, na Bacia dos Rios do Leste.	53
Figura 28	Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura grossa, na Bacia dos Rios do Leste.....	54
Figura 29	Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura média, na Bacia dos Rios do Leste.....	54
Figura 30	Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura fina, na Bacia dos Rios do Leste.....	55
Figura 31	Época de plantio da cultura do feijoeiro, em solo de textura grossa, considerando-se maior disponibilidade de água no ciclo, na estação chuvosa, na Bacia dos Rios do Leste.....	61
Figura 32	Época de plantio da cultura do feijoeiro, em solo de textura média, considerando-se maior disponibilidade de água no ciclo, na estação chuvosa, na Bacia dos Rios do Leste.....	61
Figura 33	Época de plantio da cultura do feijoeiro, em solo de textura fina, considerando-se maior disponibilidade de água no ciclo, na estação chuvosa, na Bacia dos Rios do Leste.	62

EXTRATO

DANTAS NETO, Francisco Solon, M.S., Universidade Federal de Viçosa, junho de 1999. **Caracterização e análise espaço-temporal da demanda evapotranspirativa e do regime pluvial na Bacia dos Rios do Leste.** Orientador: José Maria Nogueira da Costa. Conselheiros: Gilberto Chohaku Sedyama e Luiz Cláudio Costa.

Com o objetivo de analisar a variação espaço-temporal da demanda evapotranspirativa, o regime pluvial, as demandas de irrigação total e suplementar e a época de plantio para a cultura do feijoeiro na Bacia dos Rios do Leste, elaborou-se um programa computacional em linguagem de programação *clipper*. Os dados utilizados foram baseados em séries históricas de dados diários de 48 estações pluviométricas da ANEEL, com média de 35 anos de dados, e de 9 estações climatológicas INMET, com média de 11 anos de dados, localizadas na Bacia dos Rios do Leste. A evapotranspiração de referência (ET_o) foi determinada pelo método de Penman-Monteith. A distribuição de probabilidade gama foi utilizada na estimativa da precipitação provável em nível de 75% de probabilidade. Foram feitas simulações de plantio diário ao longo do ano para a cultura do feijoeiro, em solos de texturas grossa, média e fina, estimando-se as demandas de irrigação total e suplementar e a época de plantio. Os resultados foram espacializados utilizando um sistema de informações geográficas, através

do *software* Idrisi. Concluiu-se que os maiores valores máximos de ETo ocorrem no mês de janeiro ao sul da Bacia, variando de 6,0 a 6,5 mm d⁻¹. Os menores valores de ETo ocorrem no mês de junho, principalmente a oeste da Bacia, variando de 2,4 a 2,8 mm d⁻¹. Ao longo do ano, os valores máximos de ETo de 5,2 a 5,5 mm d⁻¹ são predominantes em cerca de 66% da área de abrangência da Bacia. Os maiores valores de precipitação provável decendial ocorrem nos meses de novembro e dezembro, especialmente nas porções oeste e sudeste da Bacia. A estação chuvosa concentra-se entre outubro e março, com precipitação provável decendial, a 75% de probabilidade, de até 53 mm. No período seco, prevalecem valores de precipitação decendial de até 4 mm na maior parte da Bacia. No período chuvoso, os maiores valores de precipitação provável ocorrem na direção nordeste-sudoeste e litoral-continente. Para o período seco, ocorre na direção contrária. Observou-se que os maiores valores de demandas de irrigação total e suplementar foram obtidos para solos de textura grossa. Lâminas de irrigação total entre 6,0 e 6,4 mm d⁻¹ atendem em média 44,8% da área, enquanto 41,3% da Bacia é atendida com lâminas de irrigação suplementar entre 4,1 e 4,9 mm d⁻¹, independentemente do tipo de solo. Os maiores valores de demanda de irrigação suplementar situam-se entre 5,0-5,3; 4,7-4,9; e 4,6-4,7 mm d⁻¹ para solos de texturas grossa, média e fina, respectivamente, em pequenas áreas da Bacia (6,9%). Os menores valores (3,1 a 3,9 mm d⁻¹) ocupam áreas a oeste e nordeste, com média de 15,9%. A época de plantio, em que se verifica maior disponibilidade de água para a cultura do feijoeiro, predominante em média de 56% da área da Bacia ocorre entre os dias 5 e 19 de outubro.

ABSTRACT

DANTAS NETO, Francisco Solon, M.S., Universidade Federal de Viçosa, June 1999. **Characterization and space-temporary analysis of the evapotranspiration demand and of the pluvial regime in the basin of the east rivers.** Adviser: José Maria Nogueira da Costa. Committee Members: Gilberto Chohaku Sedyama and Luiz Cláudio Costa.

A computer program was elaborated in clipper language in order to analyze the space-temporary variation of the evapotranspirative demand, the pluvial regime, the demands of total and supplemental watering, and the planting time for bean's culture in the Basin of the Eastern Rivers. The used data were based on historical series from daily reports taken from 48 ANEEL's pluviometer stations through a 35 year-old data average, and 9 INMET's weathering stations through a 11 year-old data average, all located in the Basin of the Eastern Rivers. The referring evapotranspiration (ET_o) was determined by the method of Penman-Monteith. The distribution of probability range was used to estimate the probable precipitation at the level of 75%. There were made simulation of daily planting along the year for the culture of beans in bulky, middle and fine soils, being considered the demands of total and supplemental watering, as well as the planting time. The results were located by using a system of geographical information through Idrisi software. It was ended that the ET_o largest maximum

values to the South of the Basin occur in January, varying from 6.0 to 6.5 mm d⁻¹. The ETo smallest values occur in June, mainly to the West of the Basin, varying from 2.4 to 2.8 mm d⁻¹. Along the year, ETo maximum values from 5.2 to 5.5 mm d⁻¹ are predominant in about 66% of the basin inclusion area. The largest values of probable decennial precipitation occur in November and December, especially in the Western and Southeast portions of the basin. The rainy station occurs between October and March, with probable decennial precipitation at 75% up to 53 mm. In the dry period, values of decennial precipitation prevail at 4 mm in most of the basin area. In the rainy period, the largest values of probable precipitation occur in the Northeast-Southwest and Continent-Coast direction. For the dry period, it happens in the contrary direction. It was observed that the largest values of demands of total and supplemental watering were obtained to bulky soils. Plates of total watering between 6.0 and 6.4 mm d⁻¹ provide 44.8% of the average area, while 41.3% of the basin are provided by plates of supplemental watering between 4.1 and 4.9 mm d⁻¹, despite of the kind of soil. The largest values of supplemental watering demand are among: 5.0-5.3, 4.7-4.9 and 4.6-4.7 mm d⁻¹ for bulky, middle and fine soils, in the basin small areas (6.9%). The smallest values (3.1 to 3.9 mm d⁻¹) are in the west and northeast areas with average at 15.9%. The planting time, in which is verified the larger availability of water for beans culture and average at 56% of the basin area, occurs in October from the 5th to the 19th.

1. INTRODUÇÃO

O clima predominante em uma localidade é a síntese da combinação, de forma singular, de todos os elementos climáticos que atuam nessa localidade. A importância do clima na produção agrícola, determinando a adequação dos suprimentos alimentícios, pode ser ilustrada pela sua influência em todos os estágios da produção agrícola, incluindo desde a preparação do solo e semeadura até a colheita e comercialização das safras.

Nas regiões tropicais, a ocorrência de temperaturas elevadas, intensa irradiância solar e precipitações irregulares é comumente observada, influenciando o crescimento e o desenvolvimento das culturas agrícolas. A produtividade agrícola, principalmente em áreas não-irrigadas, é altamente dependente das características do regime de chuvas. A caracterização do regime de chuvas quanto à sua duração, quantidade e distribuição é fundamental para o planejamento das atividades agrícolas, principalmente quando há o interesse em identificar regiões com potencial agrícola e elaboração de programas de irrigação suplementar, sendo a ênfase no conhecimento das variações espaciais e temporais importante para o planejamento das atividades agrícolas de uma determinada região.

No manejo da irrigação, as decisões sobre quando e quanto irrigar são tomadas, principalmente, em função do teor de umidade do solo. No entanto, ao

se analisarem as características da distribuição da precipitação pluvial, associada à umidade do solo e às condições fisiológicas da planta, o critério de manejo de irrigação poderá alcançar resultados ainda mais satisfatórios.

O conhecimento do regime de chuvas de uma determinada região, bem como das necessidades hídricas das culturas, permite a elaboração de estratégias para o planejamento de atividades agrícolas com base nos componentes do balanço hídrico.

Utilizando séries históricas de dados climáticos de nove localidades e dados de pluviometria de 48 localidades da Bacia dos Rios do Leste, este trabalho teve os seguintes objetivos:

- Elaborar um programa computacional para determinar as demandas de irrigação total e suplementar e a época de plantio para a cultura do feijoeiro, na Bacia dos Rios do Leste.
- Analisar as variações espacial e sazonal da demanda evapotranspirativa e da precipitação pluvial na Bacia dos Rios do Leste.
- Analisar a variação espacial das demandas máximas diárias de irrigação total e suplementar para a cultura do feijoeiro com base no balanço de água no solo.
- Simular o plantio diário da cultura do feijoeiro ao longo do ano e espacializar a época de plantio propícia ao cultivo desta cultura durante a estação chuvosa.

2. REVISÃO DE LITERATURA

Vários pesquisadores, dentre eles SANSIGOLO (1989) e PACE et al. (1989), afirmam que a principal causa das variações interanuais da produtividade agrícola, nos trópicos, é a irregularidade climática, sendo a variabilidade da precipitação pluvial a mais importante. VIANELLO e ALVES (1991) também enfatizam que a possibilidade de adaptar melhor as atividades do homem às variabilidades e às mudanças do clima deve, igualmente, ser objeto de pesquisas e que estas estão adquirindo, no curto prazo, cada vez maior importância, como consequência das crescentes demandas sobre os limitados recursos naturais.

2.1. Definição de dia chuvoso

Para a agricultura, um dos aspectos mais importantes, com relação à chuva, além de sua quantidade e variabilidade, é sua frequência, isto é, o número de dias, dentro de um período, no qual a quantidade de chuva excede um certo valor especificado. Dessa forma, em qualquer estudo sobre chuva há necessidade de distinguir os dias considerados chuvosos. Assim, na definição de dias chuvosos, é necessário se estabelecer o critério de distinção.

Vários critérios têm sido propostos para definir dia chuvoso. WOLF (1977), analisando a ocorrência de períodos secos em Brasília, considerou como dia chuvoso os dias com chuva de pelo menos 5,0 mm, admitindo que este valor representa a evapotranspiração média diária da região. STERN (1980) define dia chuvoso como aquele em que o total de precipitação é maior do que 0,3 mm. Segundo ASSIS (1991), a grande maioria dos trabalhos considera dia chuvoso quando a precipitação registrada é superior a 0,1 mm. CHATFIELD (1966) considera dia chuvoso quando o valor de precipitação registrado é maior ou igual a 1,0 mm. Para GABRIEL e NEUMANN (1962), dia chuvoso é aquele em que se observa precipitação mensurável. De acordo com GREGORY et al. (1992), um dia chuvoso seria o dia que apresenta pelo menos 0,1 mm de chuva. ALMEIDA (1995) considerou dia chuvoso apenas os registros de precipitação maior ou igual a 1,0 mm. O valor mínimo de 1,0 mm de chuva foi utilizado no presente trabalho. Este valor foi designado arbitrariamente, com base, porém, no fato de que este valor de chuva diária é representativo nas determinações efetuadas.

2.2. Distribuição de probabilidade gama

As precipitações pluviais não são distribuídas simetricamente em torno da precipitação média; elas distribuem-se irregularmente e apresentam grande desvio em relação à média, conforme tem sido constatado por vários pesquisadores, entre eles CASTRO e LEOPOLDO (1995).

A ocorrência da chuva e a sua quantidade podem ser analisadas mediante a obtenção das frequências observadas dos seus valores de séries históricas ou através de elaboração de modelos teóricos, os quais permitem a utilização de técnicas de simulação. Esta característica tem motivado a aplicação de modelos teóricos de distribuição de chuva, com vistas ao planejamento agrícola; ressalta-se que o modelo teórico apresenta a vantagem de sintetizar os dados das séries históricas.

ASSIS (1991) destaca várias distribuições de probabilidade utilizadas para modelar a quantidade de chuva que ocorre durante o período chuvoso, concluindo que a distribuição gama explicitada por THOM (1966) é considerada a mais adequada, especialmente para curtos períodos de tempo. Muitos pesquisadores têm utilizado com relativo sucesso a distribuição de probabilidade gama aplicada a dados diários de precipitação pluvial, para descrever a distribuição das quantidades de chuva. ASSIS (1991) obteve resultados satisfatórios ao utilizar a distribuição gama para modelar a quantidade de chuva nas localidades de Pelotas-RS e Piracicaba-SP. O mesmo autor utilizou esta distribuição de probabilidade, ajustando-a a totais semanais de chuva, para Pelotas, e concluiu que os totais semanais de chuva podem ser representados, adequadamente, também por este modelo.

FRIZZONE (1979) analisou cinco modelos para o cálculo da distribuição de frequência de precipitações em Viçosa-MG, tendo a distribuição gama apresentado comportamento satisfatório na estimativa das precipitações, em períodos de 5, 10, 15 e 30 dias. PACE et al. (1989), estudando a ocorrência de precipitação provável mensal para a microrregião de Rio Largo-AL, demonstraram a viabilidade do modelo de distribuição de probabilidade gama, evidenciado pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, em nível de 10% de significância. RODRIGUES e PRUSKI (1997) estimaram a precipitação provável decenal para o município de João Pinheiro, MG, utilizando as distribuições gama e log-normal, com 13 níveis de probabilidade, e concluíram que o modelo gama ajustou-se adequadamente aos dados de chuva durante todo o ano. DANTAS (1998) utilizou a distribuição gama em estudo de caracterização da estação chuvosa no Estado da Paraíba.

O conhecimento das distribuições das chuvas no espaço e no tempo desempenha papel relevante no processo de tomada de decisão, em nível de planejamento ou em nível operacional, e vários exemplos podem ser observados em todos os setores da economia de uma região; contudo, a caracterização dessas distribuições torna-se dificultada por vários fatores, dentre os quais se destacam a baixa densidade de estações e as falhas em registros de séries históricas de dados.

2.3. Evapotranspiração de referência

O conhecimento das necessidades hídricas das culturas é de grande importância para o estudo do manejo da água utilizada na irrigação. Na maioria dos projetos de agricultura irrigada, a captação e a elevação da água são fatores de alto custo financeiro, devido ao grande consumo de energia, tornando-se necessária a utilização racional e econômica da água.

A quantificação da evapotranspiração é fundamental na determinação da quantidade de água a ser aplicada às culturas.

Segundo SEDIYAMA (1996), o conceito de evapotranspiração de referência, estabelecido pela FAO, refere-se à evapotranspiração de uma área com vegetação rasteira, na qual são feitas as medições meteorológicas, para obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficientes de cultura, a fim de serem utilizados na determinação da evapotranspiração de outras culturas. De acordo com SMITH (1991), a evapotranspiração de referência é definida como a evapotranspiração de uma cultura hipotética, com altura fixa de 0,12 m, albedo igual 0,23 e resistência aerodinâmica ao transporte de vapor d'água igual a 69 s m^{-1} , correspondendo à evapotranspiração de uma superfície gramada, de altura uniforme, em crescimento ativo, cobrindo totalmente a superfície do solo, e sem restrição de água.

De acordo com DOORENBOS e PRUITT (1977), para se estimar a evapotranspiração de uma cultura, geralmente é necessário determinar a demanda evaporativa do ar (evapotranspiração de referência), ajustando-a, posteriormente, para as condições específicas e a fase de desenvolvimento das culturas. MATZENAUER (1992) destaca a importância do conhecimento da evapotranspiração máxima das culturas, durante os diferentes períodos de desenvolvimento, como fundamental para o planejamento e manejo da água na agricultura irrigada.

O produto da ETo por um coeficiente de natureza empírica, k_c , específico para o cultivo de interesse, resulta na estimação da evapotranspiração

de tal cultivo. Esta metodologia proporciona grande facilidade operacional, e sua precisão depende de uma adequada eleição de kc e da estimativa precisa da ETo.

2.4. Balanço de água no solo

O balanço de água no solo representa um sistema contábil de monitoramento da água no solo, resultante da aplicação do princípio de conservação de massa para a água num volume de solo vegetado. Consiste no balanço de entradas e saídas de água no sistema solo-planta-atmosfera, tendo a chuva como principal entrada de água no sistema e a evapotranspiração como principal saída. A utilização de resultados do balanço de água no solo em dimensionamento de projetos de irrigação é recomendada por vários autores, dentre os quais DOORENBOS e PRUITT (1977) e BERNARDO (1995).

Considerando que os parâmetros envolvidos no balanço de água no solo são compostos por variáveis que possuem certa aleatoriedade, a utilização de simulações pode ser feita de maneira determinística, pela substituição de valores aleatórios por valores fixos, com determinada probabilidade de ocorrência. É substituída, então, a variável aleatória por sua probabilidade de ocorrência, pois o valor antes desconhecido torna-se um valor que pode ser utilizado com risco conhecido.

Em estudos visando o manejo de irrigação suplementar, MAROUELLI (1983) utilizou a precipitação provável e a evapotranspiração como principais variáveis do balanço de água no solo. FARIA (1998) empregou um modelo de balanço hídrico diário, com o objetivo de estimar as demandas de irrigação total e suplementar para a cultura do milho em Minas Gerais, utilizando a precipitação provável a 75% de probabilidade e a evapotranspiração de referência como variáveis na simulação do balanço de água diário. PIRES (1992), estudando a necessidade de irrigação das culturas, utilizando uma metodologia baseada no balanço hídrico diário, verificou que a introdução da precipitação na simulação do balanço hídrico, usando valores probabilísticos no cálculo da lâmina de

irrigação e do intervalo entre irrigações, fornece subsídios mais consistentes para o planejamento e o manejo da irrigação do que a simples utilização da evapotranspiração mensal para a estimativa das lâminas de irrigação.

2.5. Sistema de Informações Geográficas

O desenvolvimento recente da tecnologia computacional abriu inúmeras possibilidades, como a capacidade de armazenar, recuperar e combinar os dados disponíveis sobre a superfície da terra. A análise das variações espaciais constitui-se em um requisito necessário para controlar e ordenar a ocupação das unidades físicas do meio ambiente. Uma das técnicas disponíveis mais eficientes na análise dessas variáveis é encontrada nos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs).

De acordo com CÂMARA e MEDEIROS (1996), o termo SIG é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre e numa projeção cartográfica.

Algumas definições de sistema de informação geográfica são propostas de acordo com sua multiplicidade de usos e as visões possíveis dessa ferramenta, que aponta para uma perspectiva interdisciplinar de sua utilização. O SIG pode ser definido como um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas; ARANOFF (1989) define-o como um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados; e SMITH et al. (1987), como um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos, para responder a consultas sobre entidades espaciais. O desenvolvimento de sistemas computacionais para aplicações gráficas e de imagens vem influenciando de maneira crescente as áreas de cartografia, de mapeamento, de análise de recursos naturais e de planejamento

urbano e regional. Esta tecnologia automatiza tarefas realizadas manualmente e facilita a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes e da criação de um banco de dados geocodificado (CÂMARA e FELGUEIRAS, 1993).

Segundo Aspiazú e Brites, citados por FERREIRA (1997), os sistemas de informações geográficas são técnicas empregadas na integração e análise de dados provenientes de fontes as mais diversas, como imagens fornecidas por satélites terrestres, mapas, cartas climatológicas, censos, e outros. Os atuais sistemas de informações geográficas, além de permitirem a realização de análises dos dados existentes, também podem ser usados para projetar e simular situações ideais e potenciais, com previsões e modelos de simulações (DAVIS JR. e FONSECA, 1996).

FERREIRA (1997) afirma que especialistas de várias áreas do conhecimento têm utilizado a tecnologia do SIG como instrumento para mapear e indicar respostas às várias questões dos planejamentos urbano e regional, do meio rural e do levantamento dos recursos renováveis, descrevendo os mecanismos das mudanças que operam no meio ambiente e auxiliando no planejamento e manejo dos recursos naturais de regiões específicas. A utilização dos sistemas de informações geográficas permite uma verificação clara, objetiva, rápida e precisa da distribuição espacial e temporal de determinados fenômenos que ocorrem em uma área conhecida, constituindo importante ferramenta para tomada de decisão nas mais variadas situações de manejo dos recursos naturais.

Vários pesquisadores têm utilizado os sistemas de informações geográficas como ferramenta para analisar a abrangência característica dos vários aspectos climáticos de uma região. ASSAD (1994), RIBEIRO et al. (1998) e PAIVA (1997), em estudos sobre veranicos, empregaram um sistema de informações geográficas para regionalizar a probabilidade de ocorrência desse fenômeno para diferentes regiões. SILVA et al. (1997) estudou o risco climático para o arroz de sequeiro no Estado de Goiás, analisando sua abrangência pela aplicação de um SIG. ASSAD e EVANGELISTA (1994) fizeram uso de um SIG em estudos de frequência da precipitação pluvial, analisando a variação espacial

desta nas regiões do cerrado brasileiro. ASSAD e SANO (1993) propõem a utilização de sistemas de informações geográficas como ferramenta importante em metodologias para espacialização de dados de chuva.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Região de estudo

A Bacia dos Rios do Leste, formada pelos rios Mucuri, São Mateus, Itanhém, Peruíbe, Jucuruçu e Buranhém, situa-se na zona tropical do hemisfério sul, entre os paralelos 16° e 20° de latitude sul e entre os meridianos 39° e 42° de longitude oeste, abrangendo as porções nordeste do Estado de Minas Gerais, norte do Estado do Espírito Santo e extremo sudeste do Estado da Bahia, totalizando uma área de aproximadamente 66,5 mil km². A Figura 1 ilustra a localização geográfica da Bacia dos Rios do Leste.

3.2. Base de dados

As estimativas das precipitações prováveis basearam-se nas séries históricas de dados diários de precipitação pluvial, disponíveis em 48 estações pluviométricas existentes na área de abrangência da Bacia dos Rios do Leste, pertencentes à rede da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que podem ser visualizadas na Figura 2. No Quadro 1 é apresentada a relação de

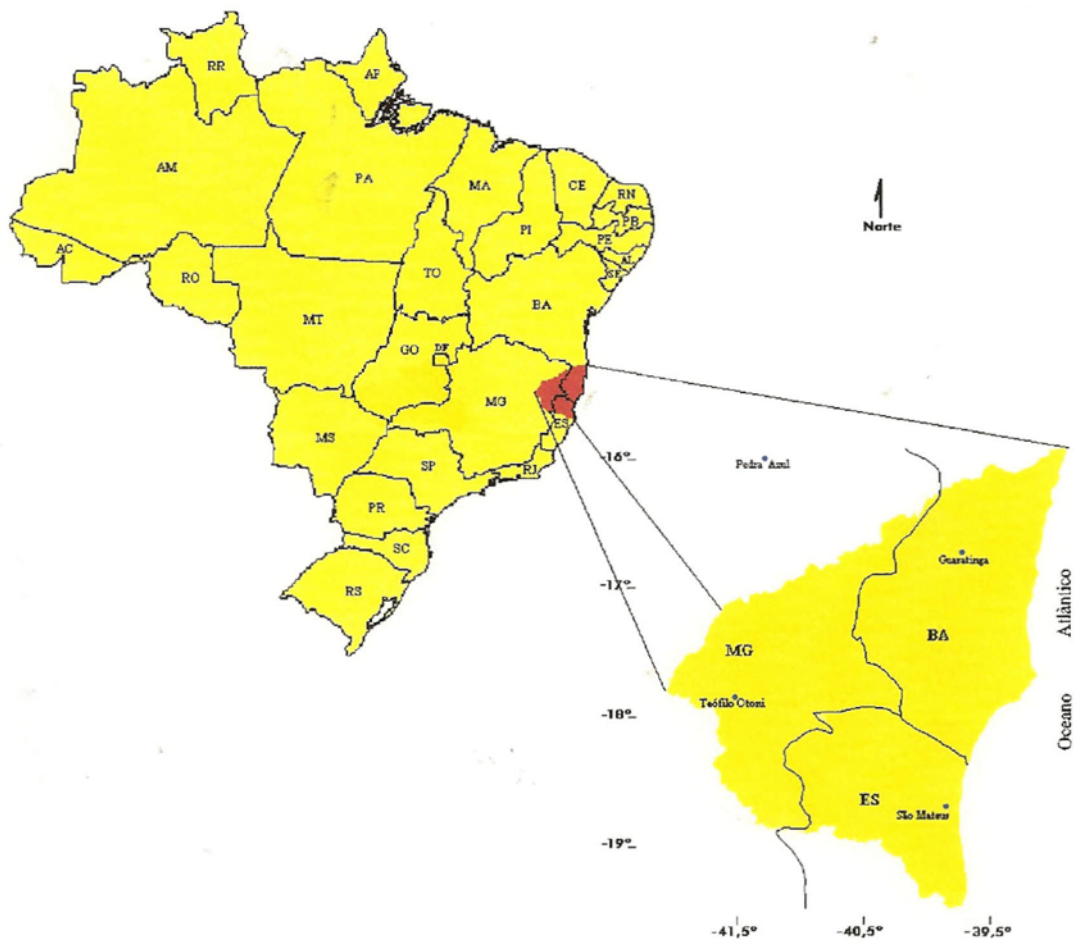


Figura 1 – Localização geográfica da Bacia dos Rios do Leste.

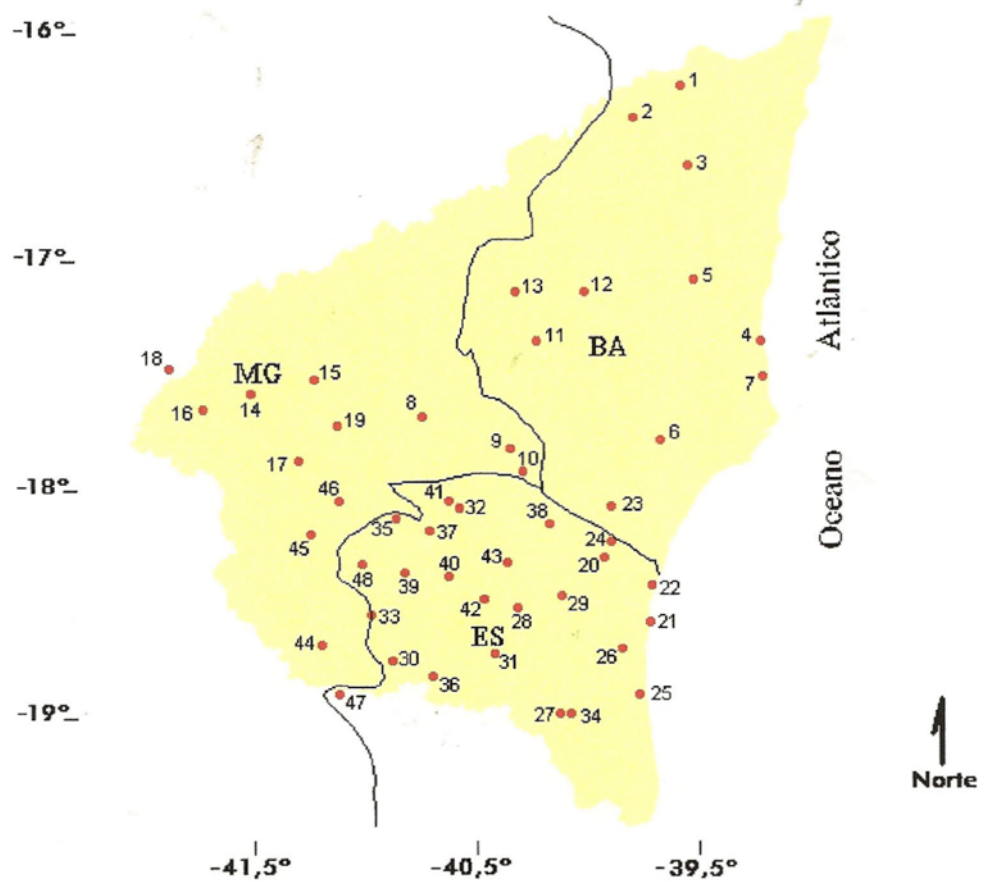


Figura 2 – Distribuição geográfica das estações pluviométricas da ANEEL, na Bacia dos Rios do Leste.

Quadro 1 – Estações pluviométricas da ANEEL, na Bacia dos Rios do Leste

N°	Código	Estação	Município	UF	Lat	Long	Alt (m)	Período (anos)	Série (anos)
1	01639000	Mundo Novo	Santa Cruz de Cabrália	BA	16°14'	39°35'	180	1962-1977	16
2	01639004	Duas Barras	Guaratinga	BA	16°22'	39°48'	170	1962 1965-1986	23
3	01639008	Guaratinga	Guaratinga	BA	16°35'	39°33'	170	1963-1994	32
4	01739001	Prado	Prado	BA	17°21'	39°14'	6	1954-1967 1969-1997	43
5	01739005	Itamaraju	Itamaraju	BA	17°05'	39°32'	80	1954-1997	44
6	01739006	Helvécia (EFBM)	Nova Viçosa	BA	17°47'	39°41'	59	1941-1997	57
7	01739010	Alcobaça	Alcobaça	BA	17°30'	39°13'	10	1940 1953-1997	46
8	01740000	Carlos Chagas	Carlos Chagas	MG	17°41'	40°45'	146	1945-1997	53
9	01740001	Nanuque-Montante	Nanuque	MG	17°49'	40°21'	92	1942-1947 1950-1997	54
10	01740002	Fazenda Cajubi	Nanuque	MG	17°55'	40°18'	40	1948-1983	36
11	01740005	Medeiros Neto	Medeiros Neto	BA	17°21'	40°14'	-	1952-1997	46
12	01740006	São José do Prado	Prado	BA	17°08'	40°01'	-	1954-1997	44
13	01740008	Itanhém	Itanhém	BA	17°08'	40°20'	-	1965-1997	33
14	01741001	Mucuri	Teófilo Otoni	MG	17°35'	41°31'	-	1967-1997	31
15	01741003	Fazenda Diacui	Teófilo Otoni	MG	17°31'	41°14'	275	1968-1997	30
16	01741006	Ladainha	Ladainha	MG	17°39'	41°44'	430	1942-1946 1952-1963 1976-1997	39
17	01741007	Pedro Versiani (EFBM)	Teófilo Otoni	MG	17°52'	41°18'	248	1967-1997	31
18	01741008	Novo Cruzeiro (EFBM)	Novo Cruzeiro	MG	17°28'	41°53'	752	1942-1966	25
19	01741009	Francisco Sá (EFBM)	Carlos Chagas	MG	17°43'	41°08'	204	1945-1997	53
20	01839000	Morro D'anta (P. Canário)	Conceição da Barra	ES	18°18'	39°56'	66	1951-1964 1969-1997	43
21	01839001	Conceição da Barra	Conceição da Barra	ES	18°35'	39°44'	3	1930-1997	68
22	01839002	Fazenda Viração	Conceição da Barra	ES	18°25'	39°43'	10	1958-1982	25
23	01839003	Fazenda Martinica	Mucuri	BA	18°04'	39°54'	20	1959-1980 1995-1997	25
24	01839004	Fazenda Klabin	Conceição da Barra	ES	18°14'	39°54'	40	1960-1983	24
25	01839006	Barra Nova	São Mateus	ES	18°54'	39°46'	6	1971-1997	27
26	01839015	São Mateus	São Mateus	ES	18°42'	39°51'	25	1970 1972-1997	27
27	01840001	Barra Seca	São Mateus	ES	18°59'	40°08'	70	1947-1977	31
28	01840002	Fazenda Alegria	Boa Esperança	ES	18°31'	40°19'	180	1947-1990	44
29	01840003	Itauninhas	São Mateus	ES	18°28'	40°07'	90	1947-1953 1956-1997	49
30	01840004	Barra de São Francisco	Barra de São Francisco	ES	18°45'	40°53'	192	1947-1997	51
31	01840005	Nova Venécia	Nova Venécia	ES	18°43'	40°25'	80	1947-1976	30
32	01840006	Mucurici	Mucurici	ES	18°05'	40°35'	290	1969-1994	26
33	01840007	Água Doce	Barra de São Francisco	ES	18°33'	40°59'	280	1959-1997	39
34	01840008	Ponte Nova (BR-101)	Linhares	ES	18°59'	40°05'	60	1972-1997	26
35	01840009	Fazenda São Mateus	Ecoporanga	ES	18°08'	40°52'	190	1966 1970-1994 1996-1997	28
36	01840010	Cedrolândia	Nova Venécia	ES	18°49'	40°42'	300	1970-1997	28
37	01840011	Cataxe	Ecoporanga	ES	18°11'	40°43'	200	1970-1997	28
38	01840012	Fazenda Limoeiro	Conceição da Barra	ES	18°09'	40°11'	96	1970-1997	28
39	01840013	Ecoporanga	Ecoporanga	ES	18°22'	40°50'	300	1970-1997	28
40	01840014	Jocuba	Ecoporanga	ES	18°23'	40°38'	260	1970-1997	28
41	01840015	Patrimônio XV Sta. Luzia do Norte	Ecoporanga	ES	18°03'	40°38'	400	1970-1997	28
42	01840016	Patrimônio XV	Nova Venécia	ES	18°29'	40°28'	96	1970-1997	28
43	01840017	São João do Sobrado	Pinheiros	ES	18°19'	40°22'	100	1970-1997	28
44	01841006	Vargem Grande	Mantena	MG	18°41'	41°12'	360	1967-1997	31
45	01841007	Fidelândia	Ataléia	MG	18°12'	41°15'	210	1963-1997	35
46	01841008	Ataléia	Ataléia	MG	18°03'	41°07'	-	1965-1997	33
47	01841009	Mantenópolis	Mantenópolis	ES	18°54'	41°07'	900	1970-1997	28
48	01841010	Santo Agostinho	Barra de São Francisco	ES	18°20'	41°01'	500	1970-1997	28

Fonte: ANEEL.

estações pluviométricas da ANEEL, cujos dados foram utilizados neste trabalho, destacando-se a identificação das estações, a localização, as coordenadas geográficas e a duração da série de dados. Utilizaram-se, também, dados meteorológicos diários das séries históricas disponíveis de nove estações climatológicas pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), cuja localização está ilustrada na Figura 3. Os dados das estações do INMET foram utilizados na estimação da evapotranspiração de referência, bem como nas simulações do balanço de água no solo e na simulação de épocas de plantio. No Quadro 2 é apresentada a relação das estações climatológicas do INMET utilizadas neste trabalho.

A variação espacial da evapotranspiração de referência e a da precipitação provável foram apresentadas em base decendial. Cada mês foi dividido em três decêndios, com os dois primeiros tendo 10 dias de duração e o terceiro, duração variável entre 8 e 11 dias, conforme o mês.

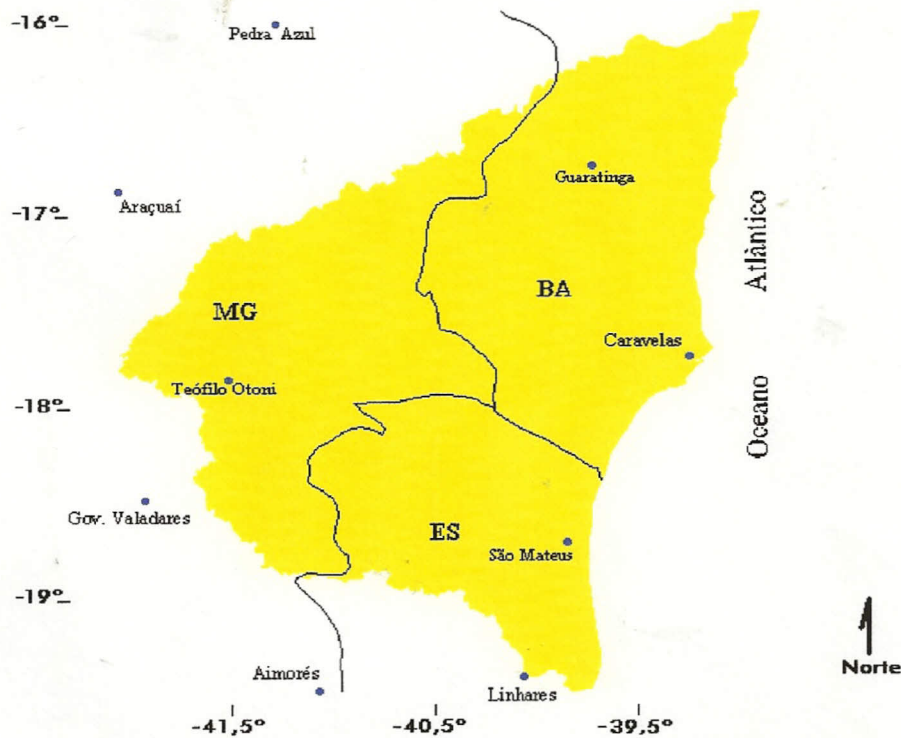


Figura 3 – Distribuição geográfica das estações climatológicas do INMET, na Bacia dos Rios do Leste.

Quadro 2 – Estações climatológicas do INMET, na Bacia dos Rios do Leste

Nº	Código	Município	UF	LAT. (Graus)	LONG. (Graus)	ALT. (m)	ANOS	SÉRIE ANOS
01	83446	Guaratinga	BA	-16,73	-39,73	323,75	77/78	02
02	83498	Caravelas	BA	-17,73	-39,25	2,88	61/70 73/78	16
03	83595	Aimorés	MG	-19,48	-41,07	82,74	72/78	07
04	83442	Araçuaí	MG	-16,87	-42,07	284,39	61/78	18
05	83543	Gov. Valadares	MG	-18,85	-41,93	277,45	61/78	18
06	83393	Pedra Azul	MG	-16,00	-41,28	648,91	72/78	07
07	83492	Teófilo Otoni	MG	-17,85	-41,52	356,38	61/68 70/78	17
08	83597	Linhares	ES	-19,40	-40,07	28,40	70/78	09
09	83550	São Mateus	ES	-18,70	-39,85	25,04	70/78	09

Fonte: INMET.

3.3. Precipitação provável

No processamento dos dados de chuva, considerou-se como dia chuvoso aquele em que foi registrada uma precipitação de pelo menos 1 mm. Os períodos com dados faltosos foram ignorados nas análises. Os dados diários de chuva foram agrupados em seqüências decendiais, para o cálculo dos parâmetros necessários na precipitação provável. Nas análises de simulação de plantio, os dados foram agrupados em seqüências mensais.

Precipitação provável pode ser definida como a quantidade mínima de precipitação com determinada probabilidade de ocorrência. Neste trabalho a precipitação provável foi determinada em um nível de 75% de probabilidade, valor geralmente recomendado para planejamento agrícola, quando se considera a irrigação suplementar. A consideração da precipitação provável ou dependente, em projetos de irrigação, contribui para a redução do custo inicial desses projetos, pois nem toda a água necessária à cultura será fornecida via irrigação.

O modelo de distribuição de probabilidade gama incompleta é apropriado para estimar a altura de chuva para períodos chuvosos. Por não admitir valores nulos (zeros), foi utilizado um modelo misto para estimativa das quantidades de

precipitação provável, segundo procedimento sugerido por THOM (1966), conforme a equação 3.1:

$$P(Y \leq y) = P_s + P_c G(Y \leq y) \quad \text{eq. 3.1}$$

em que

P_s = probabilidade de ocorrência de períodos secos (zeros);

P_c = probabilidade de chover no período; e

$G(Y)$ = distribuição da probabilidade gama.

A distribuição de probabilidade gama, que descreve a distribuição de freqüência das quantidades de chuvas, pode ser expressa, de acordo com THOM (1966), pela equação 3.2:

$$G(Y \leq y) = \frac{1}{\Gamma(\alpha)\beta^\alpha} \int_0^y Y^{\alpha-1} e^{-\frac{Y}{\beta}} dY \quad \text{eq. 3.2}$$

para $Y, \alpha, \beta, \Gamma(\alpha) > 0$

em que

$G(Y)$ = probabilidade de ocorrer uma quantidade de precipitação igual ou inferior a y ;

Y = variável aleatória de precipitação;

α = parâmetro de forma;

β = parâmetro de escala da variável aleatória Y ;

$\Gamma(\alpha)$ = função gama; e

y = valor que tem probabilidade acumulada $G(Y)$ de ocorrer.

A função gama é expressa pela equação 3.3:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} y^{\alpha-1} e^{-y} dy \quad \text{eq. 3.3}$$

A função gama pode ser obtida, segundo Abramowits e Stegun (1972), citados por ASSIS (1993), por aproximação, pela equação 3.4:

$$\Gamma(\alpha) = \sqrt{\frac{2\pi}{\alpha}} e^{\alpha[\ln\alpha - f(\alpha)]} \quad \text{eq. 3.4}$$

em que

$$f(\alpha) = 1 - \frac{1}{12\alpha^2} + \frac{1}{360\alpha^4} - \frac{1}{1260\alpha^6} \quad \text{eq. 3.5}$$

Os parâmetros α e β podem ser obtidos pelas estimativas de máxima verossimilhança, usando as equações 3.6 e 3.7, sugeridas por THOM (1966):

$$\alpha = \frac{1}{4A} \left(1 + \sqrt{1 + \frac{4A}{3}} \right) \quad \text{eq. 3.6}$$

$$\beta = \frac{\bar{X}}{\alpha} \quad \text{eq. 3.7}$$

sendo

$$A = \ln \bar{X} - X_g \quad \text{eq. 3.8}$$

em que

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i \quad \text{eq. 3.9}$$

$$X_g = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \ln(X_i) \quad \text{eq. 3.10}$$

em que

\bar{X} = média aritmética das observações; e

X_g = média geométrica das observações.

A equação 3.2 não tem solução imediata. Dessa forma, as estimativas das chuvas para determinados valores de probabilidade foram obtidas através de desenvolvimento em série, por meio da seguinte função:

$$G(t) = \frac{t^\alpha}{\alpha \Gamma(\alpha) e^t} F(\alpha, t) \quad \text{eq. 3.11}$$

em que

$$F(\alpha, t) = 1 + \frac{t}{\alpha + 1} + \frac{t^2}{(\alpha + 1)(\alpha + 2)} + \frac{t^3}{(\alpha + 1)(\alpha + 2)(\alpha + 3)} + \dots \quad \text{eq. 3.12}$$

A probabilidade de ocorrência de um valor de chuva menor ou igual a Y é dada por $G(t)$, em que $t = Y/\beta$.

Para estimativa da quantidade de chuva Y , a um determinado valor de probabilidade, Pr , determina-se o valor de t na equação 3.11 que satisfaça a igualdade:

$$G(t) - Pr = 0 \quad \text{eq. 3.13}$$

Para isso, utilizou-se o algoritmo de Newton-Raphson, na forma:

$$t_{i+1} = t_i - \frac{\frac{t_i^\alpha}{\alpha \Gamma(\alpha) e^{t_i}} F(\alpha, t_i) - Pr}{\frac{t_i^{\alpha-1}}{\Gamma(\alpha) e^{t_i}}} \quad \text{eq. 3.14}$$

O valor inicial de t (t_o), para iniciar a interação, depende de α e Pr . As equações 3.15 a 3.19 foram sugeridas por Thom (1968), citado por ASSIS (1991).

Para $\alpha \geq 1$ e $Pr \geq 0,50$,

$$t_o = \ln \frac{1}{1-Pr} + [1,51 - 2Pr(1-Pr)](\alpha - 1) \quad \text{eq. 3.15}$$

Para $\alpha \geq 1$ e $Pr < 0,50$,

$$t_o = \ln \frac{1}{1-Pr} + [0,49 - 2Pr(1-Pr)](\alpha - 1) \quad \text{eq. 3.16}$$

Para $\alpha < 1$ e $0,50 < Pr < 0,90$,

$$t_o = \frac{1,309Pr}{1 - 0,658Pr^2} - 0,10 \quad \text{eq. 3.17}$$

Para $\alpha < 1$ e $Pr \geq 0,90$,

$$t_o = \frac{1,309Pr}{1 - 0,658Pr^2} - 0,06 \quad \text{eq. 3.18}$$

Para $\alpha < 1$ e $Pr \leq 0,50$,

$$t_o = 0,01 \quad \text{eq. 3.19}$$

3.4. Demanda evapotranspirativa

Foi calculada a evapotranspiração de referência em nível diário, através do método combinado de Penman-Monteith, indicado como padrão pela FAO em 1991, com base em estudos comparativos realizados em diversas condições climáticas. Este método estima a evapotranspiração de uma cultura hipotética (referência), admitindo-se uma resistência da superfície de 69 s m^{-1} e com os

cálculos da resistência aerodinâmica fixados para um gramado de 0,12 m de altura uniforme e albedo de 0,23. A expressão correspondente a este método pode ser utilizada para fins de padronização dos procedimentos de cálculos da evapotranspiração de referência de 24 horas, sendo representada pela equação 3.20:

$$ET_0 = \frac{\delta}{\delta + \gamma^*} (R_n - G) \frac{1}{\lambda} + \frac{\gamma}{\delta + \gamma^*} \frac{900}{T + 275} U_2 (e_a - e_d) \quad \text{eq. 3.20}$$

em que

- ET₀ = evapotranspiração de referência [mm d⁻¹];
- R_n = saldo de radiação à superfície da [MJ m⁻² d⁻¹];
- G = fluxo de calor no solo [MJ m⁻² d⁻¹];
- T = temperatura do ar [°C];
- U₂ = velocidade do vento a 2m de altura [m s⁻¹];
- (e_a-e_d) = déficit de pressão de vapor [kPa];
- δ = declividade da curva de pressão de vapor [kPa °C⁻¹];
- λ = calor latente de evaporação [MJ kg⁻¹];
- γ* = constante psicrométrica modificada [kPa °C⁻¹] = γ[1+0,33U₂]; e
- 900 = fator de conversão [kJ⁻¹ kg K].

No cálculo dos parâmetros usados na estimativa da evapotranspiração pelo método de Penman-Monteith foram utilizados os mesmos procedimentos apresentados por JENSEN et al. (1990).

3.5. Balanço de água no solo

Implementou-se um sistema computacional, em linguagem de programação *clipper*, denominado DEMANDAsis, para simulação do balanço de

água no solo, a partir de dados climáticos, propriedades físicas dos solos e características agronômicas das culturas.

O déficit de água, num período “i”, pode ser determinado pela equação 3.21, que representa o balanço de água no solo, tendo como referencial o teor de umidade no limite superior de retenção de água no solo.

$$DA_i = DA_{i-1} + (ET_i + Pp_i) - (P_i + I_i) \quad \text{eq. 3.21}$$

em que

DA_i = déficit de água de água no período i, mm;

DA_{i-1} = déficit de água no período anterior a i, mm;

ET_i = evapotranspiração da cultura no período i, mm;

Pp_i = perda por percolação no período i, mm;

P_i = precipitação no período i, mm; e

I_i = irrigação no período i, mm.

A estimativa da demanda diária de irrigação e do consumo total de água durante o ciclo da cultura foi determinada com base nas simulações do balanço de água no solo, na zona radicular da cultura, utilizando-se séries históricas de dados climáticos disponíveis, levando em consideração a data de plantio.

Considerando que nunca se deve permitir que a umidade do solo atinja o ponto de murchamento, deve-se usar apenas uma fração da capacidade total de água do solo; para isso, o sistema possui rotinas que efetuam o cálculo da água disponível no solo.

O déficit máximo de água, em relação à capacidade de campo, que o solo poderia alcançar foi definido pela capacidade real de água no solo (CRA), expressa pela equação 3.22:

$$CRA = \frac{(Cc - Um)}{10} \cdot Da \cdot Z \quad \text{eq. 3.22}$$

em que

CRA = capacidade real de água do solo, mm;

Cc = capacidade de campo, %;

Um = umidade mínima, %;

Da = densidade aparente do solo, g/cm³; e

Z = profundidade do sistema radicular, cm.

Sempre que o déficit atingir o valor de CRA, que corresponde ao menor teor de umidade do solo recomendado, o sistema DEMANDAsis simula uma irrigação suficiente para restabelecer o teor de umidade do solo, elevando-o à capacidade de campo. A quantidade de água acima da capacidade de campo foi considerada como perda por percolação.

A quantidade de água que o solo pode reter entre os teores de umidade correspondentes à capacidade de campo e o ponto de murcha permanente, ou seja, a disponibilidade total de água no solo (DTA), é calculada pela equação 3.23:

$$DTA = \frac{(Cc - Pm)}{10} Da \quad \text{eq. 3.23}$$

em que

DTA = disponibilidade total de água no solo, mm/cm de solo;

Cc = capacidade de campo, % em peso;

Pm = ponto de murchamento, % em peso; e

Da = densidade do solo, g/cm³.

A água considerada disponível para cultura no perfil do solo é a água no perfil ocupado pelo sistema radicular. Portanto, a capacidade total de água no solo é calculada até a profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, conforme a equação 3.24:

$$CTA = DTA \cdot Z \quad \text{eq. 3.24}$$

em que

CTA = capacidade total de água do solo, mm;

DTA = disponibilidade total de água, mm/cm de solo; e

Z = profundidade efetiva do sistema radicular, cm.

A razão entre a capacidade total de água no solo, CTA, e a CRA, expressa pela equação 3.25, é definida como fator de disponibilidade de água no solo, correspondendo à fração do total de água disponível no solo que a cultura pode utilizar sem afetar a sua produtividade:

$$f = \frac{CRA}{CTA} \quad \text{eq. 3.25}$$

O fator de disponibilidade f depende da demanda do solo e da sensibilidade da cultura em resistir ao déficit hídrico de água no solo.

O sistema analisa os diferentes turnos de rega ao longo do ciclo simulado e elege o menor turno de rega para ser usado como parâmetro fixo para uma nova simulação de irrigação, para a mesma data de plantio. Nesta nova simulação, a lâmina total de irrigação suplementar do ciclo é distribuída ao longo do turno de rega. O sistema então elege a lâmina máxima de irrigação suplementar aplicada no turno de rega fixo, que, dividida pelo valor do turno de rega, corresponde à demanda máxima diária de irrigação suplementar.

As simulações de plantio foram feitas para a cultura do feijoeiro, considerando os solos de texturas grossa, média e fina com valores de DTA de 0,6; 1,2; e 1,8 mm cm⁻¹, respectivamente (BERNARDO, 1995).

Na simulação, a evapotranspiração da cultura, no período "I" (ET_i), foi calculada pela equação 3.26:

$$ET_i = k_{s_i} \cdot k_{c_i} \cdot ET_{o_i} \quad \text{eq.3.26}$$

em que

ks_i = coeficiente de umidade do solo para o período i , adimensional;

kc_i = coeficiente da cultura para o período i , adimensional; e

ETo_i = evapotranspiração de referência para o período i , mm.

O coeficiente de umidade do solo pode estimado pela equação 3.27, segundo BERNARDO (1995):

$$ks = \frac{\ln(LAA+1)}{\ln(CTA+1)} \quad \text{eq. 3.27}$$

em que

LAA = lâmina real de água no solo, em mm, expressa pela equação 3.28.

$$LAA = \frac{(UA - Pm)}{100} \cdot Da \cdot Z \quad \text{eq. 3.28}$$

em que

UA = umidade atual no solo no dia em questão, % ;

Pm = ponto de murchamento, %;

Da = densidade aparente do solo, g/cm^3 ; e

Z = profundidade do sistema radicular, cm.

Procedeu-se a um ajuste dos coeficientes de cultura (kc) a uma equação cúbica, para estimar os valores diários de kc em função dos dias após o plantio, de acordo com a equação 3.29, a partir de valores de kc recomendados por DOORENBOS e PRUITT (1977).

$$kc = a DAP^3 + b DAP^2 + c DAP + d \quad \text{eq. 3.29}$$

em que

a, b, c, d = parâmetros da equação de ajuste; e

DAP = dias após o plantio.

A duração do ciclo da cultura foi definida de acordo com as exigências térmicas da cultura, com a utilização do conceito de graus-dia. Na Figura 8 são apresentadas as características agronômicas da cultura do feijoeiro utilizadas nas análises.

3.6. Época de plantio

A época de plantio foi definida em função da data de plantio, dentro da estação chuvosa, em que se verificou maior disponibilidade de água para a cultura durante seu ciclo, de forma a minimizar o uso da irrigação suplementar.

A escolha dos meses de setembro a março, período em que se concentra a estação chuvosa, baseou-se no método empregado por FRÈRE e POPOV (1979), segundo o qual o início da estação ocorre a partir da semana em que a precipitação atinge 50% da evapotranspiração de referência e não são registrados períodos secos na semana seguinte. Analogamente, o término da estação chuvosa é determinado como a semana em que a precipitação reduz para metade da evapotranspiração de referência. Foram então elaborados os gráficos de sobreposição da precipitação e a evapotranspiração de referência a partir de dados normais para algumas estações climatológicas na Bacia, como ilustrado na Figura 4.

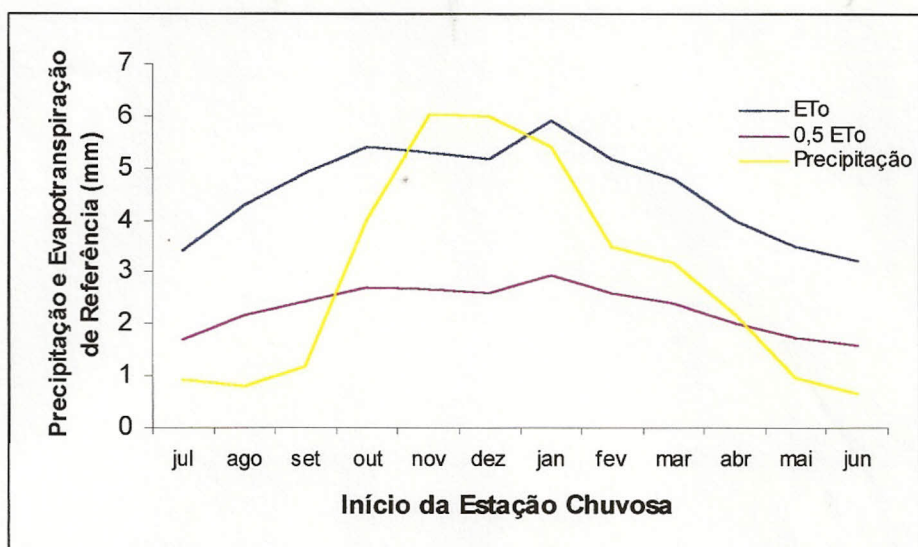


Figura 4 – Curvas normais mensais de precipitação e evapotranspiração de referência para a localidade de Teófilo Otoni.

3.7. Programas computacionais

Para manipular os dados e gerar os resultados, foram elaborados programas computacionais implementados em linguagem de programação *clipper* 5.2, os quais foram usados para análise dos elementos climáticos. Utilizando esta mesma linguagem de programação, foi implementado um sistema computacional para estimativa de demanda hídrica de culturas, denominado DEMANDAsis, que tem como objetivo estimar as demandas de irrigação total e suplementar, bem como proceder a simulações de plantio de culturas, subsidiando a tomada de decisão sobre a época de plantio, de forma a otimizar o uso da irrigação. O DEMANDAsis é provido de bancos de dados fixos e voláteis com padrão *.DBF. Nos voláteis, é permitido fazer cadastros (inclusão, consulta, alteração e exclusão) de propriedades (localidades a ser analisadas), culturas e estações (ANEEL e INMET). As análises são feitas por localidades previamente cadastradas no sistema. No caso de a localidade a ser analisada não possuir estação da ANEEL e, ou, do INMET, o sistema localiza as estações mais próximas da referida localidade e efetua a análise. Para o cálculo da

evapotranspiração de referência, utilizou-se o *software Reference Evapotranspiration Calculator* (REF-ET), versão 2.0 (ALLEN, 1991).

3.8. Espacialização dos resultados

A espacialização dos resultados foi feita em base decendial, para a evapotranspiração de referência e a precipitação provável. Para espacializar as demandas de irrigação total e as demandas de irrigação suplementar para a cultura do feijoeiro, bem como sua época de plantio dentro da estação chuvosa, utilizou-se um sistema de informações geográficas através do *software Idrisi*, desenvolvido pelo Departamento de Geografia da Klark University, nos EUA.

A partir de um mapa na escala de 1:250.000 gerou-se um vetor de contorno da Bacia dos Rios do Leste, o qual foi transformado em uma imagem matricial de 400 colunas e 462 linhas, gerando um mapa *booleano*. Os resultados dos cálculos dos parâmetros estudados para cada localidade foram organizados em arquivos, padrão ASCII, os quais possuíam as coordenadas geográficas das localidades, com o respectivo valor pontual do parâmetro estudado, ou seja, um arquivo de dados georreferenciado. Estes arquivos foram convertidos em arquivos do tipo vetorial, através de importação/conversão de arquivos no *Idrisi*, gerando vetores de pontos, que trazem a localização geográfica e a característica de cada ponto, isto é, o valor do parâmetro na localidade.

Por meio do programa INTERPOL, efetuou-se a interpolação dos valores pontuais georreferenciados, contidos nos arquivos de vetores de pontos. Utilizou-se um interpolador linear, cujo modelo matemático utiliza a média ponderada dos n pontos vizinhos mais próximos e um peso dos pontos de controle mais próximos, ou seja, o peso no ponto interpolado é dado por:

$$G_i = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{X_i}{d_i^m} \right)}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{d_i^m} \right)} \quad \text{eq. 3.27}$$

em que

G_i = peso estimado no ponto interpolado;

X_i = peso do i -ésimo ponto amostrado;

d_i = distância euclidiana do i -ésimo ponto amostrado i ao ponto interpolado; e

m = expoente da função de distância.

As imagens resultantes da interpolação produzem áreas com valores comuns do parâmetro estudado em toda a matriz. Estas imagens foram então reclassificadas para divisão dos valores em classes, para melhor interpretação visual do parâmetro em toda a Bacia. Para isso, foi utilizado o programa RECLASS do Idrisi.

Finalmente, por meio do programa OVERLAY do Idrisi, cruzou-se a imagem *booleana*, que representa o contorno da Bacia, com as imagens resultantes da reclassificação dos valores dos parâmetros e efetuou-se um *overlay* multiplicativo, que resultou nos mapas temáticos do parâmetro estudado no âmbito da Bacia.

Através de um editor de desenho gráfico, foi elaborada a edição final dos mapas temáticos, que foram transformados em figuras padrão BMP.

A Figura 5 apresenta um fluxograma explicitando as etapas e os programas utilizados para geração das imagens com utilização do *software Idrisi*.

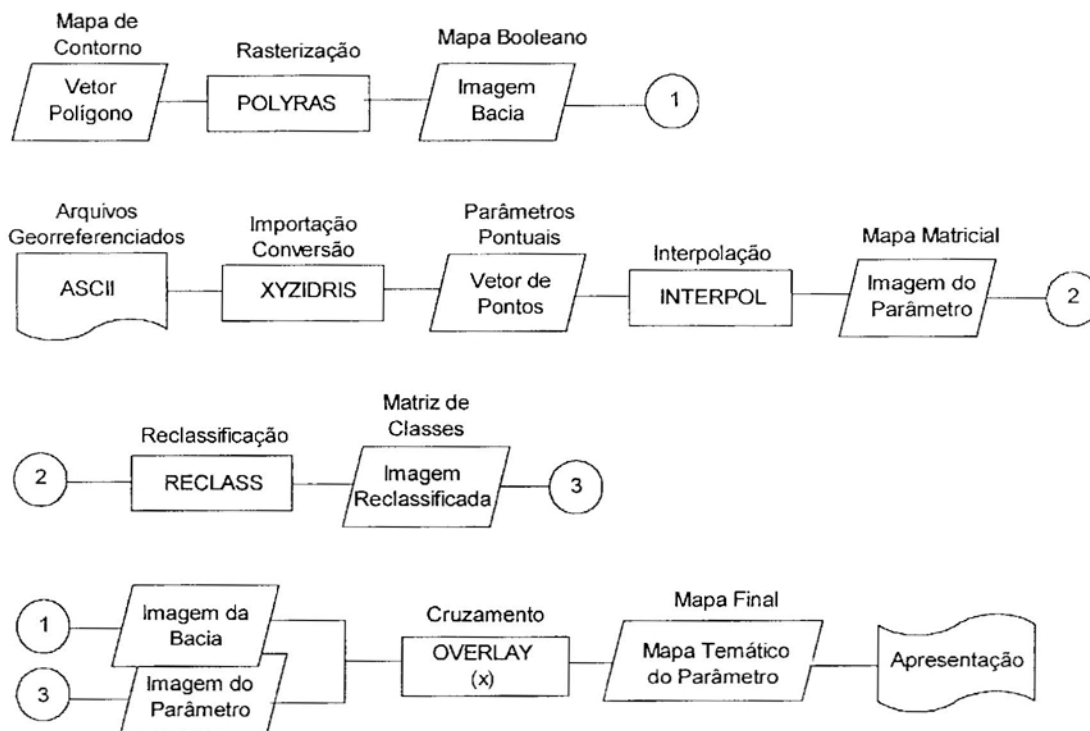


Figura 5 – Etapas e programas utilizados para a geração de mapas temáticos com feições dos parâmetros estudados, pela aplicação de um Sistema de Informações Geográficas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Programa computacional DEMANDAsis

O programa computacional DEMANDAsis foi implementado em linguagem de programação *clipper* 5.2, para ser utilizado na estimativa das demandas de irrigação total e suplementar e nas simulações de plantio diário ao longo do ano, contribuindo para a indicação da época adequada para o plantio da cultura do feijoeiro. Para executar este programa, são necessários 273 Kbytes de memória RAM, rodando em ambiente MS-DOS, em microcomputadores PC compatível. A Figura 6 ilustra a tela de abertura do programa DEMANDAsis.

No desenvolvimento do programa foi utilizada a metodologia de programação modulada, que consiste na divisão do sistema em vários módulos, de forma a proporcionar maior agilidade na implementação deste e um funcionamento mais eficiente em tempo de execução.

As informações necessárias para executar este programa são disponíveis em bancos de dados padrão dbf, tornando seu manuseio bastante simples para o usuário, não necessitando de muitas entradas para executar uma análise, uma vez que as informações são introduzidas em módulos diferentes.

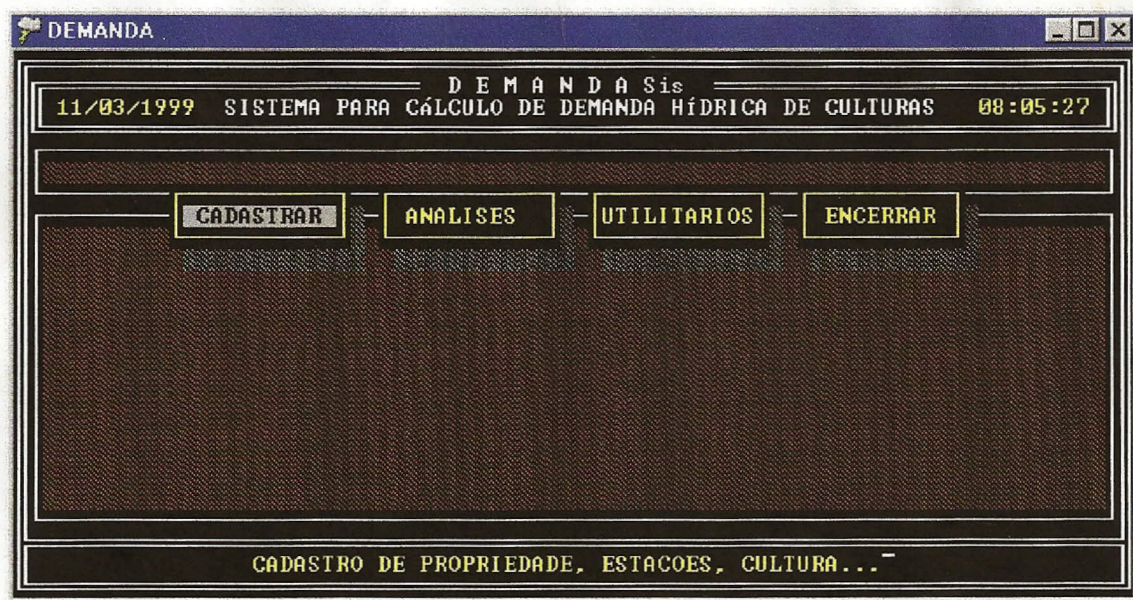


Figura 6 – Tela de abertura do programa DEMANDASIS.

O DEMANDASIS está dividido em quatro módulos: Cadastro, Análise, Utilitários e Encerrar. A Figura 6 ilustra a tela principal do DEMANDASIS, com seus módulos principais. O módulo Cadastro possui programas relativo à manipulação de bancos de dados voláteis, o que possibilita fazer inclusões, consultas, alterações e exclusões nos bancos de dados das localidades, das estações meteorológicas e das culturas, conforme ilustrado na Figura 7. A Figura 8 ilustra uma tela de consulta dos parâmetros da cultura presentes no banco de dados. No módulo Análise são obtidas as determinações da evapotranspiração de referência, precipitação provável, demanda de irrigação e simulação de plantio. Os resultados são obtidos para as localidades cadastradas no sistema, utilizando dados das estações meteorológicas do INMET e da ANEEL, além de dados das culturas existentes no banco de dados. Se uma determinada localidade não tiver estação meteorológica do INMET ou da ANEEL, o sistema efetua uma busca em todo o banco de dados e seleciona a estação meteorológica mais próxima da localidade a ser analisada. Na determinação da evapotranspiração de referência, foi utilizado o programa REF-ET, desenvolvido por ALLEN (1991), acoplado ao sistema. A precipitação provável pode ser estimada em qualquer nível de

probabilidade em períodos pentadial, decendial ou mensal. A Figura 9 ilustra uma tela com as informações necessárias para a análise de plantio da cultura. As demandas de irrigação total e suplementar para uma cultura numa determinada localidade são estimadas com base no balanço diário de água no solo. Para a simulação de plantio de uma cultura, o sistema utiliza dados de evapotranspiração, precipitação provável, parâmetros físicos do solo e características agronômicas da cultura. O balanço diário de água no solo é calculado determinando-se as demandas de irrigação total e suplementar no ciclo, a demanda máxima diária de irrigação suplementar e o turno de rega. A seleção da melhor época de plantio dentre as datas de plantio simuladas baseia-se na maior disponibilidade de água no ciclo da cultura. A Figura 10 ilustra uma tela de saída de resultados de uma análise de plantio.

O módulo Utilitários possui opções para *backup* e restauração dos bancos de dados, utilização do *software* REF-ET (ALLEN, 1991) e sistema de senhas. O módulo Encerrar faz o encerramento propriamente dito do sistema DEMANDAsis.



Figura 7 – Tela de cadastro do programa DEMANDAsis.

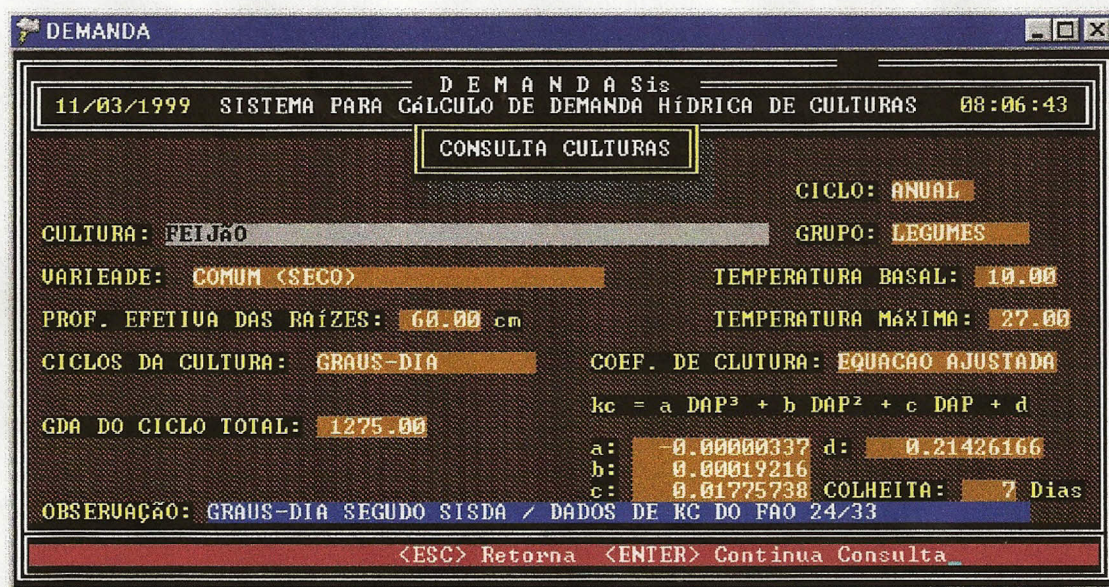


Figura 8 – Tela de consulta do programa DEMANDAsis, explicitando consulta da cultura feijoeiro.

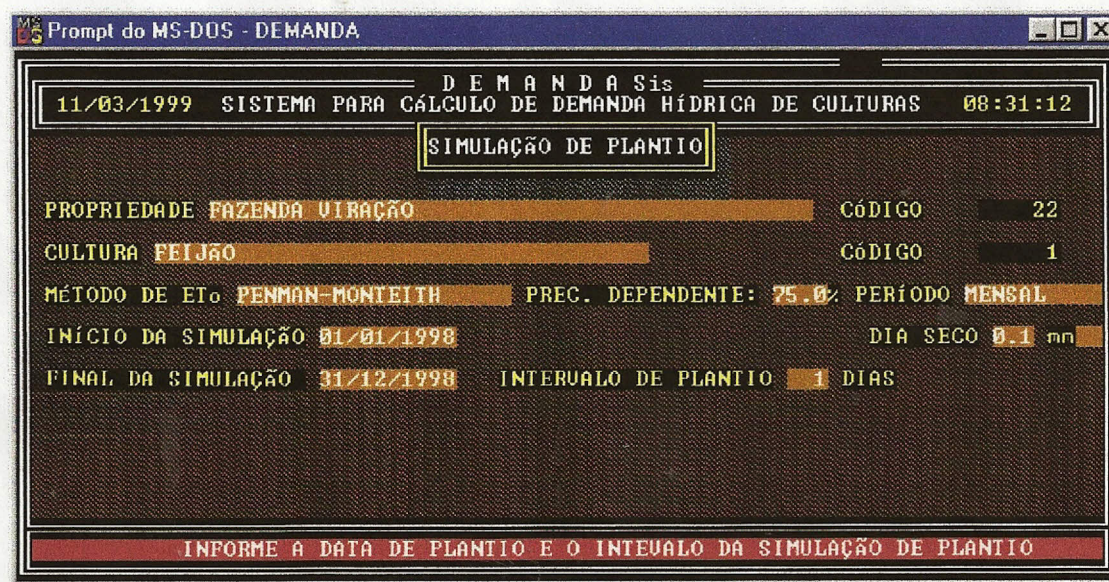


Figura 9 – Tela de simulação de plantio do programa DEMANDAsis, mostrando as informações necessárias para a análise.



Figura 10 – Tela de saída de resultados da análise de plantio.

4.2. Demanda evapotranspirativa

O Quadro 3 apresenta os valores máximos de evapotranspiração de referência (ET_o), em mm d⁻¹, para nove localidades da Bacia dos Rios do Leste. Na maioria destas localidades, verifica-se que os maiores valores máximos de ET_o ocorrem nos cinco primeiros decêndios (janeiro a fevereiro), variando de 4,5 mm d⁻¹, em Araçuaí, a 6,5 mm d⁻¹, em Aimorés. Os menores valores máximos de ET_o foram observados nos decêndios 18 e 19 (junho-julho), variando de 2,4 mm d⁻¹, em Teófilo Otoni, a 3,5 mm d⁻¹, em Aimorés.

A Figura 11 mostra uma comparação da evolução dos valores máximos de ET_o durante o ano entre as localidades. A relação de dependência entre a ET_o e o saldo de radiação solar fica evidenciada ao se compararem as Figuras 11 e 12. Os elevados valores máximos de ET_o durante o verão (entre os meses de dezembro a fevereiro) pode ser consequência dos elevados valores dos saldos de

Quadro 3 – Valores máximos de evapotranspiração de referência na Bacia dos Rios do Leste

Local	Decêndio																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Caravelas	5,6	5,6	5,5	5,6	5,7	5,6	5,6	5,5	5,2	5,2	4,8	4,4	4,1	3,8	3,5	3,3	3,4	3,5	3,3	3,4	3,7	3,7	3,9	4,2	4,5	4,8	4,9	5,0	5,2	5,5	5,5	5,6	5,4	5,6	5,2	5,6
Guaratinga	5,1	5,3	5,5	5,2	5,3	5,1	5,0	3,7	3,5	4,7	4,6	3,7	3,6	3,1	3,5	3,0	3,1	3,1	2,5	3,3	3,5	3,4	4,0	3,9	4,1	4,0	4,3	4,7	4,6	5,2	5,5	5,1	5,1	5,7	3,3	5,3
Araçuaí	4,5	4,5	4,5	4,4	4,4	4,3	4,3	4,2	4,1	3,8	3,5	3,3	3,2	2,8	2,8	2,7	2,6	2,5	2,7	2,7	2,9	3,1	3,3	3,6	3,7	3,9	4,0	4,2	4,1	4,6	4,3	4,1	4,0	4,5	4,4	4,5
Gov. Valadares	4,9	4,8	5,0	4,8	5,3	5,0	5,4	5,0	4,7	4,4	4,2	3,8	3,6	3,2	3,0	2,9	2,9	2,8	2,7	3,0	3,2	3,5	3,9	4,3	4,5	4,4	4,6	5,0	4,8	5,1	5,0	5,0	4,9	5,1	5,0	4,9
Pedra Azul	5,4	5,6	5,4	5,9	5,7	5,7	5,7	5,3	5,1	4,7	4,4	4,0	4,0	3,6	3,7	3,5	3,2	3,2	3,3	3,3	3,7	4,2	4,4	4,8	4,9	5,1	5,1	5,4	5,1	5,4	5,6	5,2	5,0	5,3	4,9	5,5
Teófilo Otoni	4,5	4,6	4,5	4,8	4,8	4,7	4,5	4,5	4,2	4,1	3,8	3,5	3,2	2,8	2,7	2,5	2,5	2,5	2,4	2,6	2,8	2,9	3,3	3,5	3,7	3,8	3,8	3,9	3,9	4,4	4,6	4,4	4,4	4,5	4,5	4,8
São Mateus	5,6	5,7	5,4	5,5	5,3	5,2	5,4	5,4	5,1	5,0	4,6	4,3	3,7	3,7	3,4	3,0	3,0	3,1	3,0	3,2	3,4	3,6	4,0	4,2	4,2	4,3	4,5	4,5	4,9	5,0	5,2	4,9	4,9	5,4	5,2	5,4
Aimorés	6,2	6,5	6,3	6,1	6,4	6,2	6,3	5,8	5,5	5,5	5,0	4,5	4,1	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4	3,5	3,5	4,1	4,3	4,6	4,9	5,0	5,2	5,3	5,3	5,5	6,0	6,0	5,5	5,9	6,1	5,7	5,8
Linhares	6,2	6,1	6,2	5,7	5,9	5,9	5,4	5,4	5,0	4,9	4,4	4,1	3,9	3,6	3,5	3,1	3,2	3,2	3,1	3,2	3,5	3,6	4,0	4,1	4,2	4,1	4,5	4,5	4,8	4,8	5,6	4,9	5,1	5,7	5,4	5,6

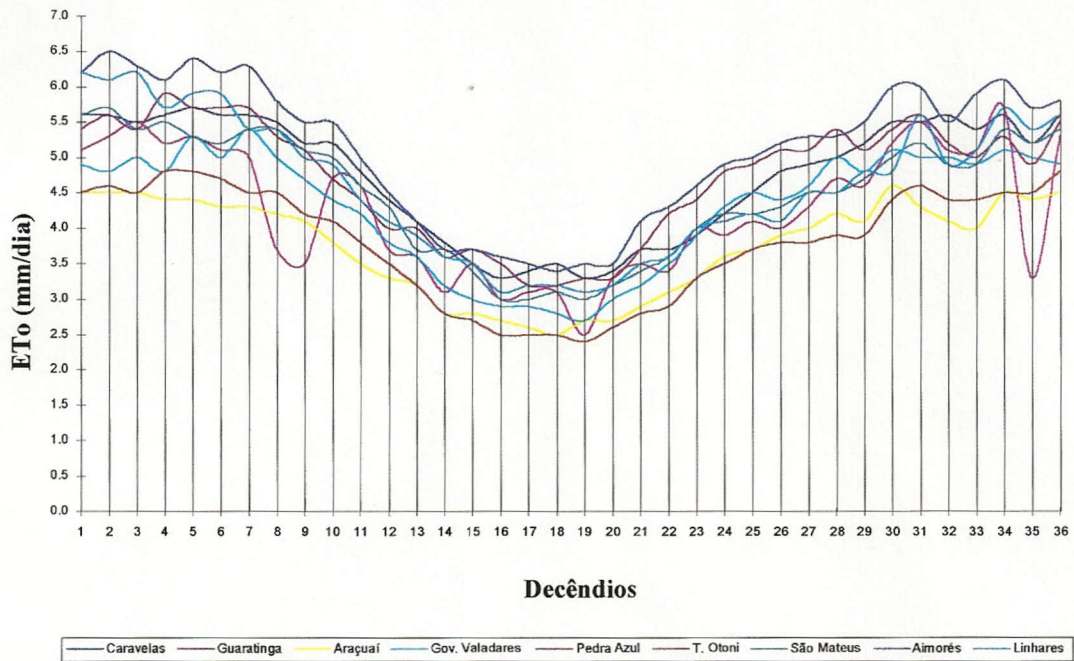


Figura 11 – Evolução decennial dos valores máximos de evapotranspiração de referência, para nove localidades da Bacia dos Rios do Leste.

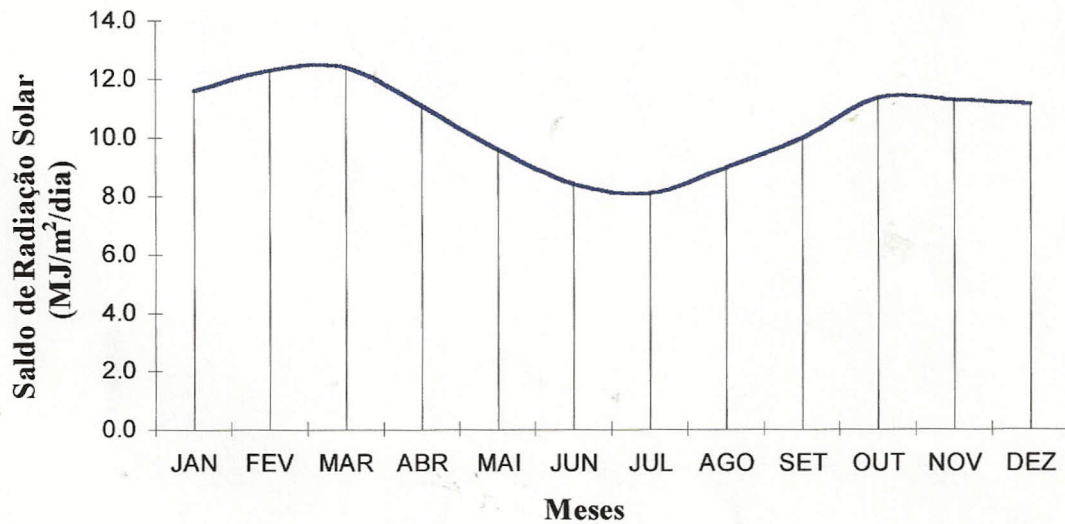


Figura 12 – Evolução média mensal do saldo de radiação solar, na Bacia dos Rios do Leste.

radiação solar ocorridos nesses meses, já que a radiação é um dos parâmetros governantes no processo. A ocorrência dos menores valores máximos de ETo no inverno (especialmente em junho e julho) coincide também com os menores saldos de radiação ocorridos durante o ano.

Pela Figura 11 verificam-se, para a localidade de Guaratinga, dois períodos com brusca redução dos valores máximos da ETo, entre os decêndios 8 e 9 e no decêndio 35. A ocorrência desta redução pode ser resultado do tamanho da série histórica dos dados dessa localidade, que possui apenas dois anos de dados. Pode constituir uma caracterização específica da ETo entre os anos, não representando um valor médio deste parâmetro. No entanto, quando se verifica a evolução média ao longo do ano, a ETo nesta localidade tende a ter um comportamento dentro da média, quando se compara com as outras localidades.

A análise espacial da ETo foi feita a partir de valores decendiais, com o auxílio de mapas de ETo dos 36 decêndios do ano.

Durante o verão há um predomínio médio dos valores máximos de ETo entre 5,0 e 5,4 mm d⁻¹, ocupando cerca de 52% da Bacia, correspondendo a uma faixa que se prolonga desde o norte a sudoeste, conforme pode ser verificado no 2º decêndio de janeiro, ilustrado na Figura 13. Os maiores valores durante esta estação concentram-se principalmente no extremo sul da Bacia, com valores entre 6,0 e 6,5 mm d⁻¹, ocupando cerca de 2,3% da Bacia. As menores taxas de ETo predominam entre 4,5 e 4,9 mm d⁻¹, concentrando-se à oeste da Bacia.

Durante o inverno observa-se uma significativa redução das taxas de ETo em toda a Bacia, principalmente nos meses de junho e julho, em que atinge os valores mínimos observados ao longo do ano, predominando a oeste, entre 2,5 e 2,9 mm d⁻¹, em cerca de 31,7% da Bacia. A Figura 14 ilustra a ocorrência dos menores valores de ETo a oeste, no 2º decêndio de julho. As maiores taxas chegam até 3,7 mm d⁻¹ e concentram-se de norte a sul, pela porção leste da Bacia, ocupando em média 64% desta.

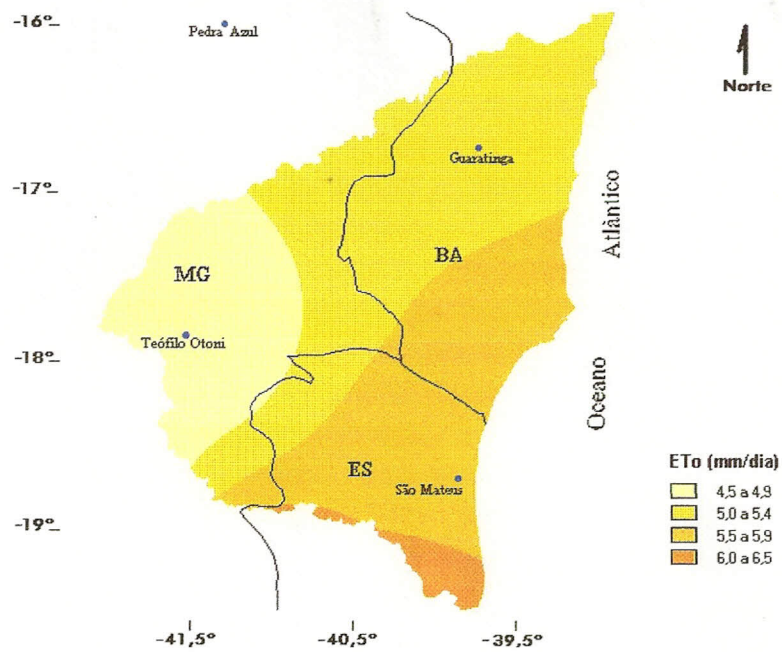


Figura 13 – Valores máximos de evapotranspiração de referência no 2º decêndio de janeiro, na Bacia dos Rios do Leste.

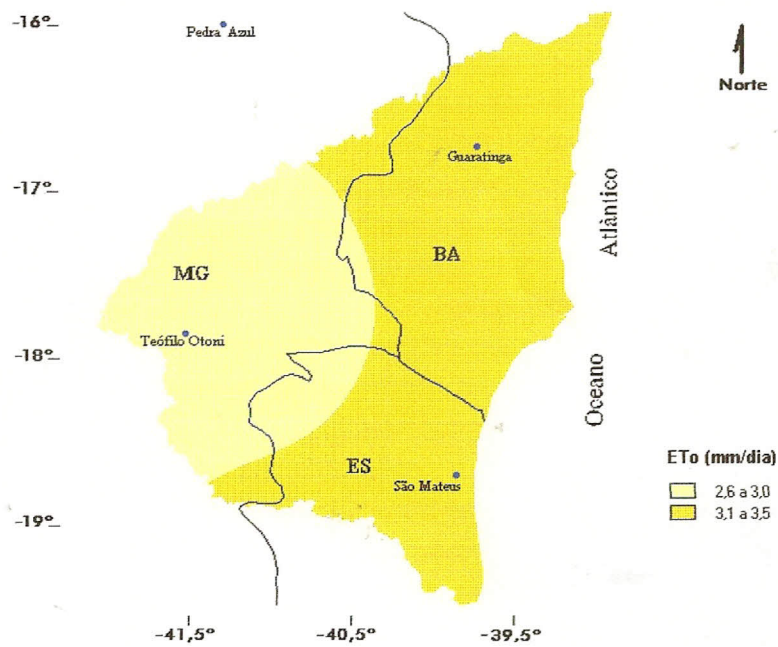


Figura 14 – Valores máximos de evapotranspiração de referência no 2º decêndio de julho, na Bacia dos Rios do Leste.

No final do inverno as taxas voltam a subir e, à medida que o ano avança, os valores tendem a aumentar, de forma que no início do verão os valores chegam a até $6,1 \text{ mm d}^{-1}$.

Portanto, a ETo na Bacia dos Rios do Leste diminui de sudeste para noroeste-oeste, predominando valores menores a oeste e maiores a sudeste e sul. Os maiores valores de ETo ocorrem no verão, enquanto os menores ocorrem no inverno, acompanhando a evolução do Saldo de Radiação Solar na Bacia.

4.3. Precipitação provável

A precipitação provável decendial estimada para 48 localidades da Bacia dos Rios do Leste, para um nível de 75% de probabilidade, está apresentada no Quadro 4. Esses resultados mostram a existência de uma estação chuvosa e de uma estação seca bem definidas. O período de ocorrência da estação chuvosa, para a maioria das localidades, concentra-se entre o 2º decêndio de outubro e o 3º decêndio de março, enquanto o período seco estende-se do 1º decêndio de abril ao 1º decêndio de outubro. Este foi um resultado obtido pela simples inspeção dos valores. Também foi constatada a ocorrência de períodos secos durante a estação chuvosa, denominado veranico.

Quadro 4 – Valores decendiais de precipitação provável em nível de 75% de probabilidade na Bacia dos Rios do Leste

Estação	Decêndio																																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
Mundo Novo	2	0	5	2	10	0	5	11	9	8	12	9	7	9	6	8	5	7	15	4	7	5	2	4	4	2	8	4	6	11	16	14	19	11	9	14
Duas Barras	0	0	4	7	7	0	11	7	7	7	6	4	6	7	2	0	0	3	7	0	4	0	3	0	0	2	7	7	10	15	9	24	12	10	9	3
Guaratinga	11	9	10	20	13	1	14	12	8	9	13	10	4	7	5	7	5	9	15	6	6	4	3	5	6	6	12	6	8	15	10	14	23	18	12	16
Prado	3	3	9	0	6	3	10	12	10	11	21	13	10	9	12	16	15	11	19	13	12	11	11	7	7	5	7	9	10	17	11	6	12	14	3	7
Itamaraju	12	7	8	7	6	8	14	12	12	12	15	12	12	7	10	10	5	6	15	9	15	7	5	5	8	4	7	8	9	17	10	19	21	12	10	15
Helvécia (EFBM)	0	0	11	0	6	0	18	9	19	12	11	14	7	9	13	9	4	10	13	9	16	4	5	5	4	2	8	7	1	12	11	16	38	17	10	14
Alcobaça	0	0	6	0	3	4	5	17	13	11	20	23	10	13	17	10	8	16	20	11	23	10	2	8	6	5	13	3	5	17	3	9	28	4	6	11
Carlos Chagas	5	0	7	0	7	0	6	3	10	5	3	4	2	2	1	0	0	2	3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	6	7	22	31	14	17	15
Nanuque-Montante	0	0	7	0	6	0	8	3	10	0	3	3	0	0	0	1	0	1	2	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	9	4	14	28	15	14	16
Fazenda Cajubi	4	0	8	6	6	0	4	0	3	7	4	1	0	3	0	0	0	4	5	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	7	4	15	23	8	12	21
Medeiros Neto	2	2	3	1	2	0	7	4	7	4	5	6	3	3	5	3	2	3	5	3	5	1	0	1	1	0	1	2	1	7	3	11	22	10	10	12
São José do Prado	5	2	6	3	4	1	7	6	7	5	9	8	7	6	5	6	4	4	9	6	7	2	4	3	3	1	3	3	4	9	5	8	18	13	7	10
Itanhém	4	4	7	2	6	0	7	4	11	9	8	11	3	7	8	0	4	5	12	5	5	1	0	3	5	0	6	7	9	20	14	14	31	20	13	14
Mucuri	8	8	5	2	10	0	8	7	5	3	4	4	0	1	2	1	0	1	3	1	0	0	0	0	0	0	2	2	7	16	14	23	30	24	15	17
Fazenda Diacui	0	0	0	0	3	0	7	3	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	3	0	2	0	0	0	0	0	0	0	8	8	13	15	16	10	8	12
Ladaiinha	16	0	5	0	10	0	5	2	3	7	4	0	0	0	3	1	0	0	3	0	1	0	0	0	0	0	0	2	15	15	20	43	29	28	25	
Pedro Versiani	13	0	8	0	15	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	27	25	31	28	13	17	
Novo Cruzeiro	10	0	25	0	0	0	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	7	23	23	13	53	44	
Francisco Sá	8	0	7	0	6	1	7	1	4	2	2	1	1	2	1	0	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	10	7	21	32	15	16	16	
Morro D'anta	8	4	8	3	0	0	2	6	7	10	3	2	1	1	1	3	0	1	1	2	3	0	1	0	4	0	4	1	3	10	0	11	17	11	12	14
Conceição da Barra	3	3	9	5	7	1	6	9	17	13	6	11	4	5	10	5	3	8	10	8	8	2	4	4	4	3	8	7	11	13	15	14	24	13	15	18
Fazenda Viração	7	5	10	10	5	6	10	6	8	12	4	6	5	0	6	4	1	8	14	8	8	3	6	3	11	8	9	8	7	17	17	10	26	7	6	4
Fazenda Martinica	2	11	11	12	7	0	16	3	10	7	4	0	7	3	4	1	0	2	11	0	0	0	0	0	5	0	10	5	10	19	9	13	15	0	9	14
Fazenda Klabin	13	21	23	22	10	3	11	7	11	13	7	8	6	6	5	4	0	7	13	5	8	6	1	1	8	2	9	9	12	24	7	16	21	18	4	20

Continua...

Quadro 4, Cont.

Estação	Decêndio																																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	
Barra Nova	0	5	3	2	0	0	5	2	11	5	9	8	0	0	7	0	3	0	0	0	0	1	0	0	7	6	5	5	10	17	12	12	19	14	14	13	
São Mateus	8	5	14	6	11	3	11	12	17	12	13	13	5	4	5	5	1	6	7	0	4	2	1	3	7	9	10	9	14	17	10	22	16	13	5	11	
Barra Seca	8	14	12	12	11	3	9	5	16	14	0	5	1	0	4	3	0	4	8	5	5	4	1	1	1	0	2	6	7	15	21	21	23	26	24	34	
Fazenda Alegria	9	7	6	8	6	0	7	3	11	7	0	2	0	0	0	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	3	1	8	10	16	25	21	17	22	
Itauninhas	4	6	8	8	7	4	7	3	12	7	6	5	0	0	2	0	0	3	3	0	2	0	0	0	0	0	2	5	2	10	6	15	24	15	15	21	
Barra de São Francisco	6	5	4	3	0	0	0	0	6	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	6	16	30	14	13	19	
Nova Venécia	6	5	13	8	2	0	9	3	13	3	0	3	0	3	0	0	0	2	8	2	2	0	0	0	1	0	2	6	4	7	12	19	32	28	21	24	
Mucurici	19	8	11	3	4	0	5	5	9	0	1	1	0	0	2	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	14	15	13	16	26	21	15	20	
Água Doce	13	15	13	9	4	0	12	4	7	3	1	5	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	2	0	13	11	17	30	20	27	22	
Ponte Nova (BR-101)	10	7	8	3	7	2	6	7	15	12	5	11	0	0	6	3	1	1	2	0	0	0	0	0	1	3	5	4	5	12	21	21	27	16	13	18	
Fazenda São Mateus	15	7	9	6	4	5	11	3	7	0	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	16	15	19	21	20	17	8	
Cedrolândia	11	25	10	11	13	1	16	7	10	2	6	8	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	6	8	5	22	14	23	35	29	20	23	
Cataxe	0	0	3	6	0	0	13	4	6	3	2	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	5	6	18	13	23	32	16	11	17	
Fazenda Limoeiro	4	0	3	0	4	5	12	11	9	4	6	8	0	0	1	2	0	0	2	2	3	0	1	0	0	1	6	3	5	15	7	23	28	22	9	18	
Ecoporanga	10	9	5	9	12	3	16	3	9	3	6	5	0	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	7	10	13	24	11	24	33	25	12	19		
Joacuba	10	13	4	6	0	0	13	9	1	6	4	7	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	18	17	31	29	28	8	14	
Patrimônio XV Sta.																																					
Luzia do Norte	9	0	5	5	0	2	11	8	6	2	2	3	0	0	0	0	0	2	3	2	0	0	0	0	0	4	7	6	20	11	22	29	14	9	14		
Patrimônio XV	14	3	1	5	14	2	13	6	9	3	9	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5	8	7	17	8	18	31	19	13	13		
São João do Sobrado	4	5	5	4	8	0	7	4	9	4	4	4	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	8	5	15	16	32	30	25	11	16		
Vargem Grande	9	20	1	3	5	0	9	0	3	6	0	4	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	14	8	32	31	23	25	18			
Fidelândia	7	11	6	0	0	0	5	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	11	8	20	26	11	14	7		
Ataléia	3	5	9	3	9	0	13	3	3	2	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	3	12	11	22	22	13	9	15		
Mantenópolis	14	12	5	0	5	0	9	0	1	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	1	8	11	29	37	17	22	17		
Santo Agostinho	12	12	5	8	11	0	14	0	7	6	5	9	0	0	3	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	4	5	7	23	16	27	35	32	20	22		

Para a maioria das localidades, os picos de precipitação provável, a 75% de probabilidade, ocorreram entre o 2º decêndio de novembro e o 3º decêndio de dezembro. Verificou-se que a estação chuvosa inicia-se, de modo geral, em outubro e termina em março, sendo os meses de novembro a janeiro os mais chuvosos e os veranicos mais freqüentes no mês de fevereiro.

Regionalizaram-se os valores decendiais de precipitação provável a 75% de probabilidade, para analisar a abrangência da variação espacial desta no âmbito da Bacia.

Comparando a variação espacial da precipitação provável nos dois primeiros decêndios (janeiro), verifica-se uma tendência de diminuição de seus valores com o avanço dos decêndios, na direção norte-sul da Bacia. Em cerca de 48% da Bacia, houve predominância de valores entre 5 e 9 mm no primeiro decêndio, conforme pode ser observado na Figura 15. A Figura 16 apresenta a variação espacial da precipitação provável no segundo decêndio. A maior predominância de precipitação ocorreu na faixa de até 4 mm, compreendendo cerca de 68% da Bacia, distribuída principalmente nas partes norte e central da Bacia. Nesses dois decêndios surgem pequenas áreas com chuva entre 15 e 19 mm, concentrando-se isoladamente a oeste, centro e sudeste.

O mês de fevereiro é caracterizado por uma redução da quantidade de precipitação, evidenciada principalmente no 6º decêndio do ano, com valores até 4 mm ocorrendo em 97% da Bacia (Figura 17), o que caracteriza uma ocorrência de veranico.

No mês de março os valores voltam a aumentar, principalmente nas regiões nordeste, leste e sudoeste da Bacia, como pode ser visto na Figura 18. Os valores de precipitação provável predominantes ficam entre 5 e 9 mm, ocupando 48% da área total da Bacia. Os menores valores tendem a se concentrar na porção oeste.

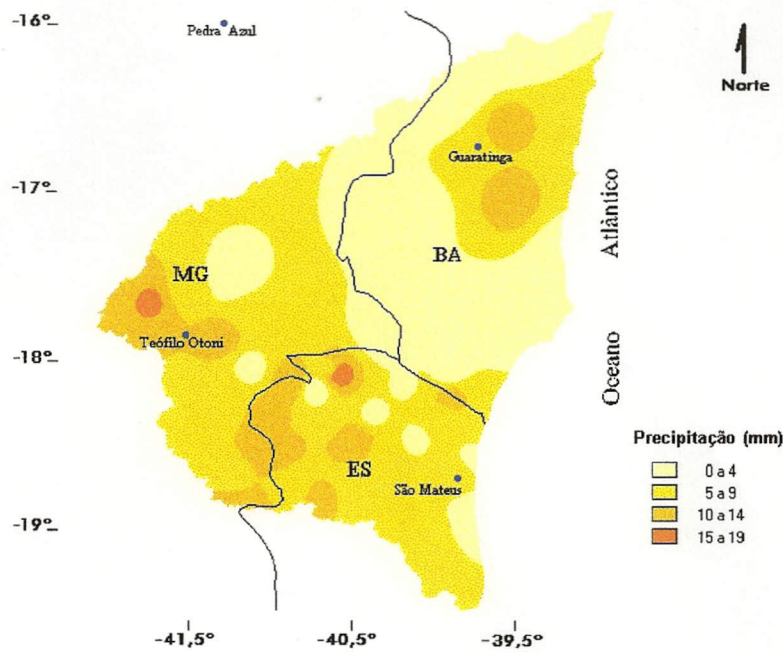


Figura 15 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 1º decêndio de janeiro, na Bacia dos Rios do Leste.

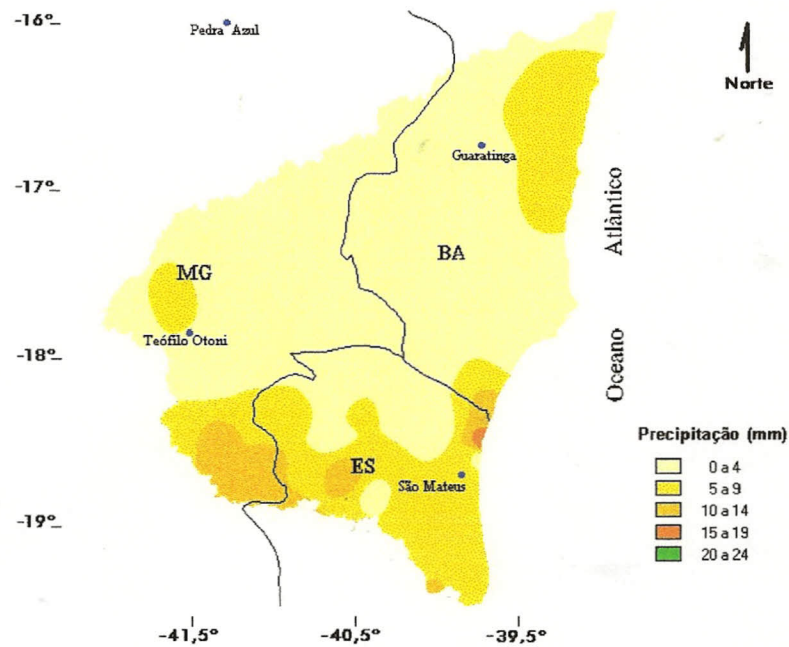


Figura 16 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 2º decêndio de janeiro, na Bacia dos Rios do Leste.

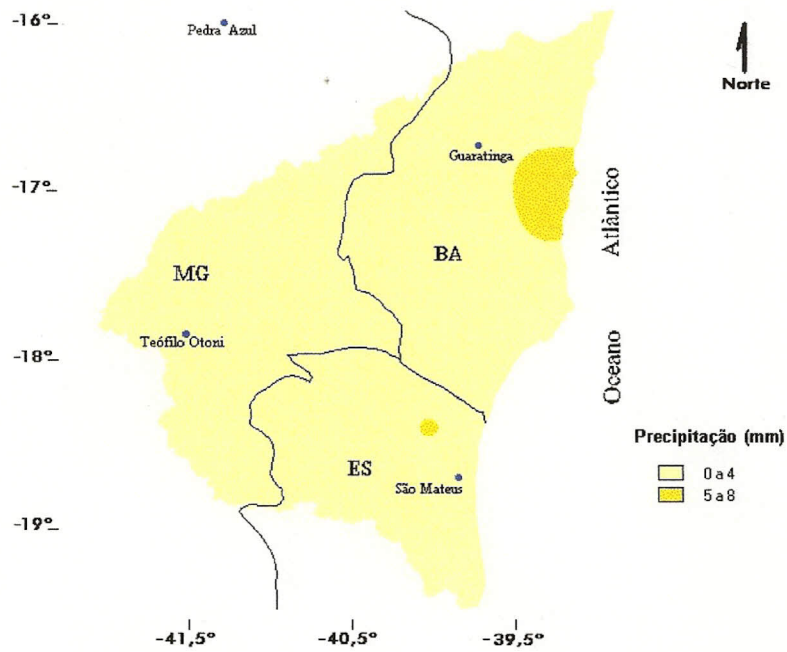


Figura 17 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 3º decêndio de fevereiro, na Bacia dos Rios do Leste.

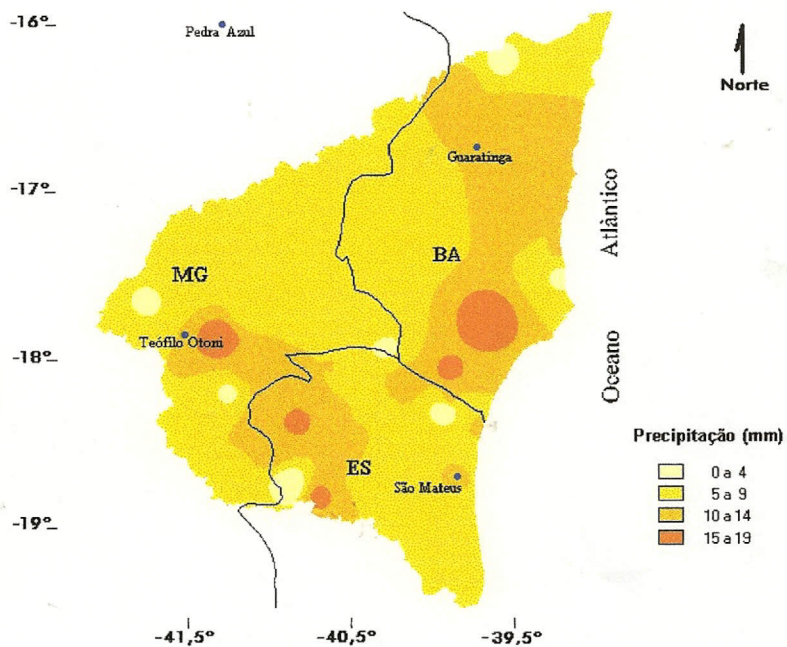


Figura 18 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 1º decêndio de março, na Bacia dos Rios do Leste.

Concordando com a configuração da estação chuvosa na Bacia, a partir de abril, caracterizado como mês de início da estação seca, a precipitação sofre significativa redução de sua quantidade, passando a predominar valores de até 4 mm em 71%, em média, da área da Bacia, proporção esta que se conserva elevada até o 29º decêndio do ano (outubro), quando começa o período chuvoso. A Figura 20 ilustra a variação espacial da precipitação provável no 2º decêndio de outubro, mês em que se inicia o período chuvoso. Essa redução ocorre principalmente no sentido nordeste-sudoeste e do litoral para o continente, sendo o mês de agosto o mais seco em toda a Bacia (94% da área entre 0 e 4 mm), conforme ilustrado na Figura 19, no 2º decêndio de agosto.

No mês de outubro a precipitação provável volta a aumentar, principalmente na porção nordeste, avançando no sentido sudoeste. Neste mês surgem concentrações de chuva entre 5 e 9 mm em quase toda a Bacia, apresentando um indicativo do início da estação chuvosa (Figura 20). Com a evolução dos decêndios a partir deste mês, os valores tornam-se crescentes, surgindo valores entre 21 e 24 mm em pequenas áreas (2%) concentradas a sudoeste, sul e sudeste, como pode ser verificado no 3º decêndio de outubro, ilustrado pela Figura 21.

No período chuvoso o predomínio da precipitação provável ocorre nas áreas a sudoeste da Bacia, contrastando com o que ocorre no período seco, em que o predomínio da precipitação provável ocorre em áreas a nordeste e em faixa litorânea da Bacia, conforme observado no 1º decêndio de dezembro, como ilustra a Figura 22.

Os maiores valores de precipitação provável durante a estação chuvosa ocorrem no mês de dezembro, concentrando-se em pequenas áreas a oeste da Bacia, com valores entre 23 e 42 mm, como pode ser observado no 3º decêndio de dezembro, ilustrado pela Figura 23.

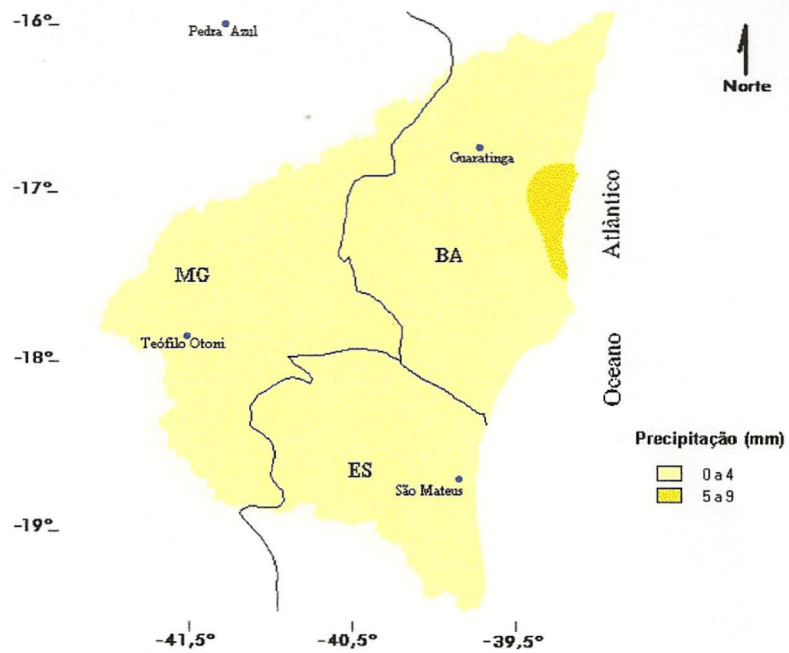


Figura 19 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 2º decêndio de agosto, na Bacia dos Rios do Leste.

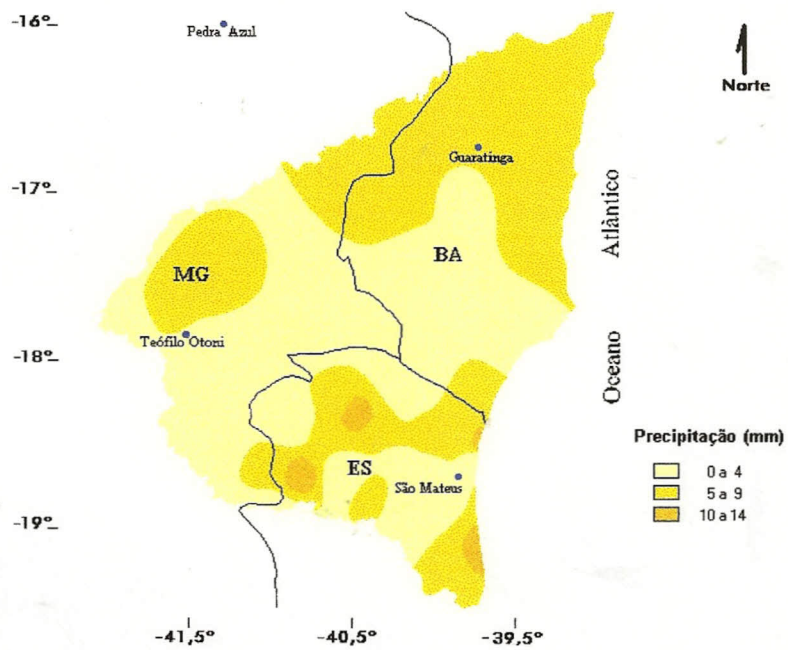


Figura 20 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 2º decêndio de outubro, na Bacia dos Rios do Leste.

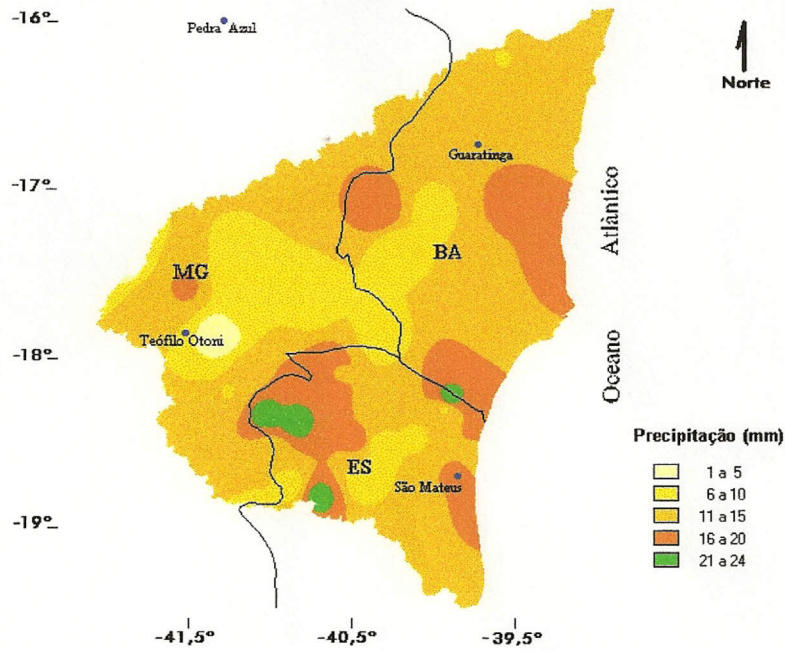


Figura 21 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 3º decêndio de outubro, na Bacia dos Rios do Leste.

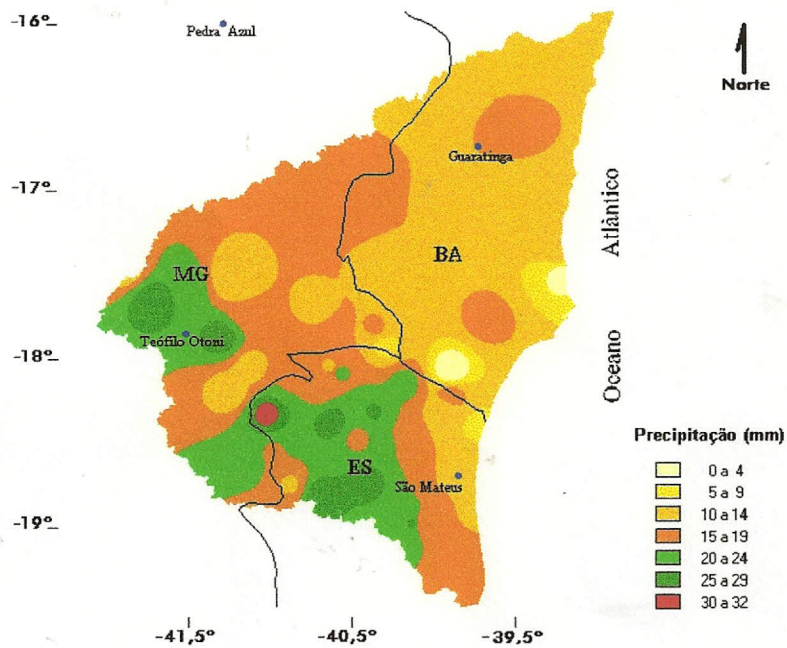


Figura 22 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 1º decêndio de dezembro, na Bacia dos Rios do Leste.

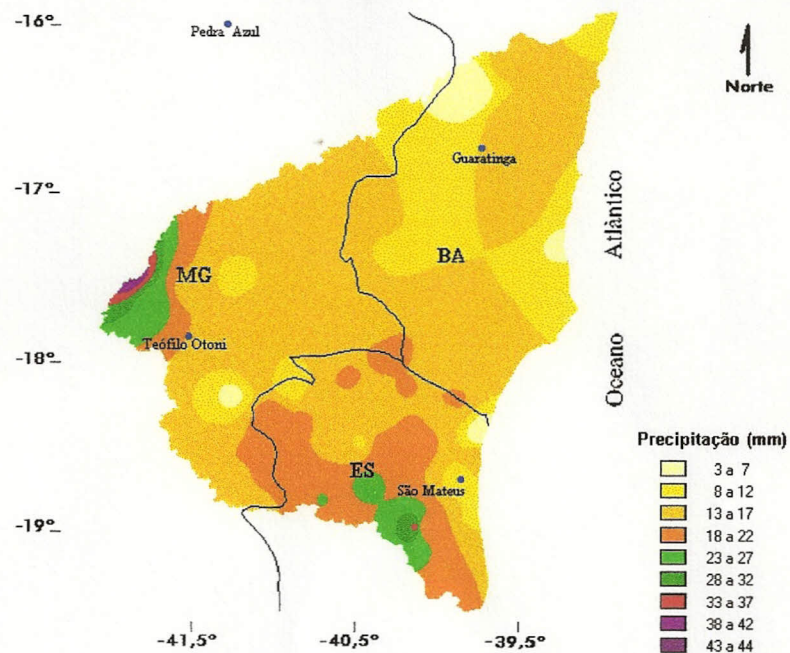


Figura 23 – Valores de precipitação provável, a 75% de probabilidade, para o 3º decêndio de dezembro, na Bacia dos Rios do Leste.

Portanto, a precipitação provável, a 75% de probabilidade, na Bacia dos Rios do Leste, apresenta os maiores valores entre os meses de novembro e dezembro; e estes valores abrangeram pequenas áreas, principalmente a oeste e sudoeste da Bacia. A estação chuvosa ocorre entre os meses de outubro e março, com precipitação provável de até 53 mm. O período seco, por sua vez, ocorre entre os meses de abril e setembro. Neste período ocorre um predomínio de baixos valores de precipitação, de até 4 mm, na maior parte da Bacia. Durante o período chuvoso, os maiores valores de precipitação provável ocorreram, predominantemente, na direção nordeste-sudoeste e litoral-continente, enquanto no período seco ocorreu o inverso.

4.4. Demanda de irrigação na Bacia dos Rios do Leste

4.4.1. Pico de evapotranspiração de referência

A Figura 24 apresenta a variação espacial dos picos de evapotranspiração de referência diária observada durante o ano na Bacia dos Rios do Leste. Com o auxílio deste mapa, pode-se proceder à elaboração de dimensionamento de projetos de irrigação, usando a irrigação total e considerando o plantio de qualquer cultura na época mais crítica do ano nas localidades desta Bacia.

A Figura 24 mostra que o pico da evapotranspiração de referência entre 5,2 e 5,5 mm d⁻¹ é predominante, ocupando 66% da área da Bacia, desde a porção sudeste até o extremo nordeste. Os maiores picos ocorrem no extremo nordeste e na faixa do extremo sul da Bacia. Os menores picos da ETo (4,5 mm d⁻¹) ocupam a porção oeste da Bacia, com aproximadamente 11% da área.

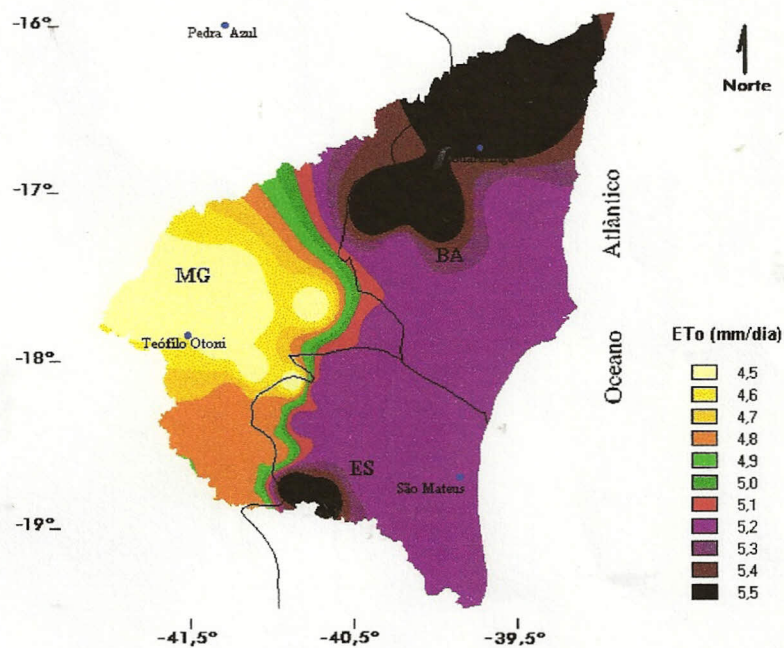


Figura 24 – Variação do pico anual da evapotranspiração de referência, em mm d⁻¹, na Bacia dos Rios do Leste.

4.4.2. Demanda de irrigação para a cultura do feijoeiro

Com o uso do sistema DEMANDAsis, efetuaram-se simulações de plantio para a cultura do feijoeiro, considerando três tipos de solos com texturas grossa, média e fina. Procedeu-se então à espacialização do maior valor da demanda máxima diária de irrigação suplementar, dentre os valores simulados para cada data de plantio ao longo do ano. O mesmo procedimento foi utilizado na análise espacial da demanda de irrigação total para a cultura.

4.4.3. Demanda de irrigação total considerando a época mais crítica para plantio

As Figuras 25, 26 e 27 apresentam as demandas de irrigação total para a cultura do feijoeiro, considerando solos de texturas grossa, média e fina, respectivamente. Os maiores valores de demanda de irrigação total ocorrem em solos de textura grossa, em razão de sua baixa capacidade de retenção de água, conforme pode ser observado no Quadro 5. Neste tipo de solo a classe de demanda entre 6,5 e 6,9 mm d⁻¹ ocupa cerca de 29% da área da Bacia; já os solos de texturas média e fina ocupam cerca de 28% e 26%, respectivamente. Esses valores máximos concentram-se principalmente na porção nordeste, sendo uma pequena parte ao sul da Bacia. A maior porção da Bacia é ocupada por demandas totais que variam de 6,0 a 6,4 mm d⁻¹. Os menores valores de demanda total (5,5 a 5,9 mm d⁻¹) ocupam principalmente a região oeste da Bacia, o que pode ser explicado pelos baixos valores de ETo nesta região. Em média, 45,8% da Bacia é atendida por demanda de irrigação total entre 6,0 e 6,4 mm d⁻¹.

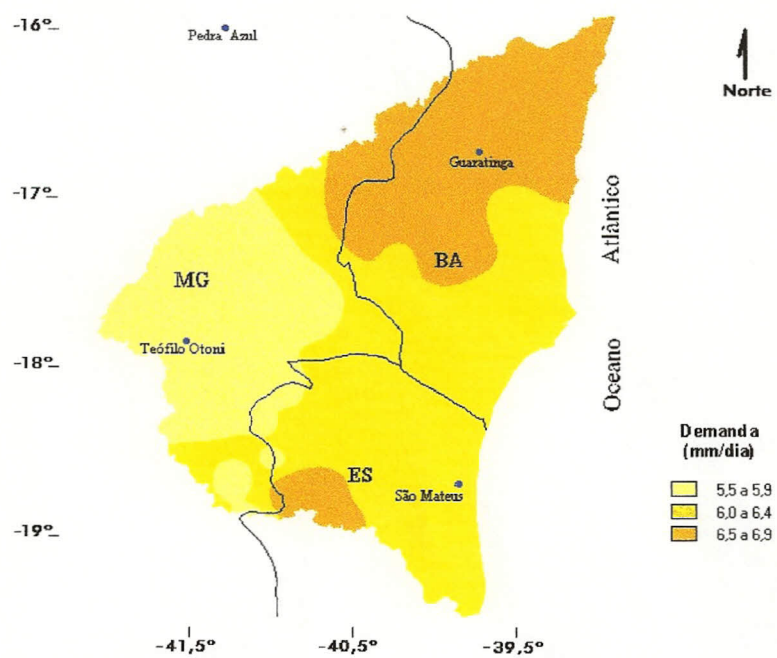


Figura 25 – Demanda de irrigação total, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura grossa, na Bacia dos Rios do Leste.

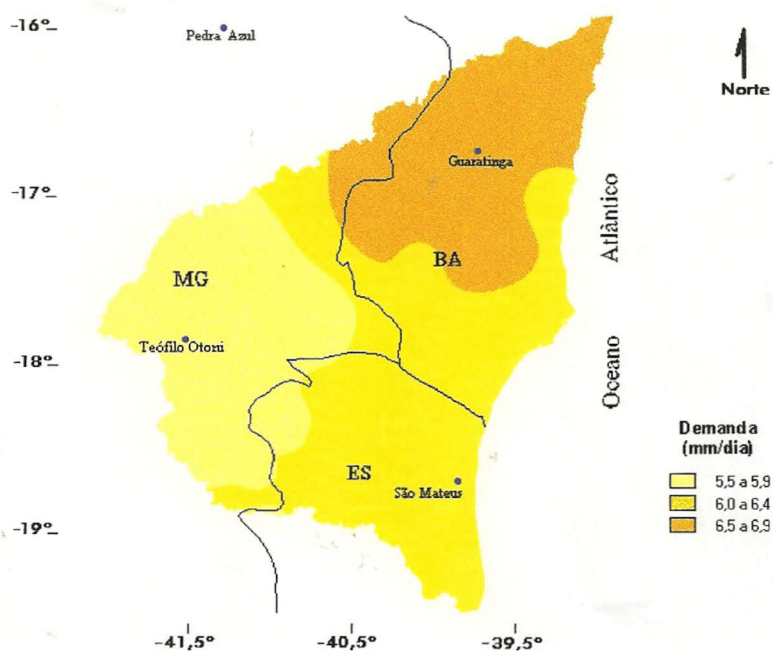


Figura 26 – Demanda de irrigação total, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura média, na Bacia dos Rios do Leste.

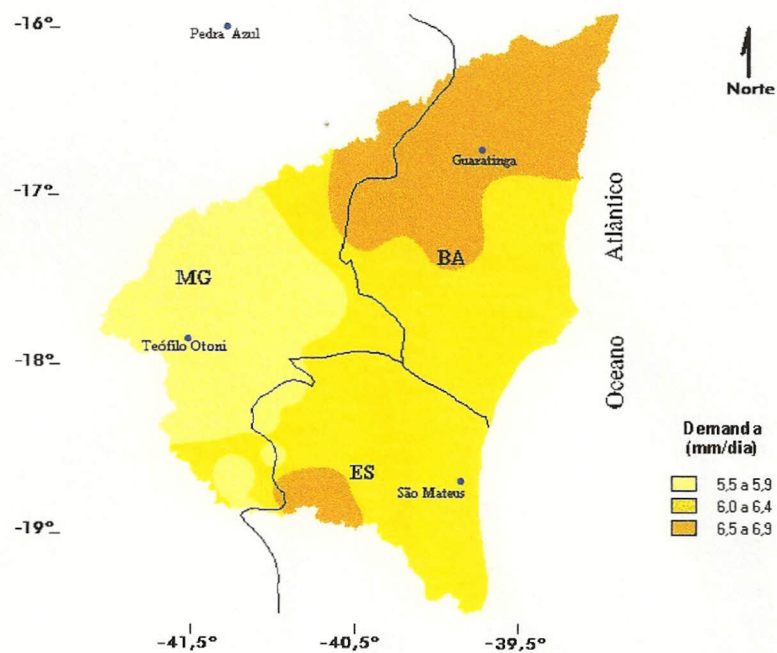


Figura 27 – Demanda de irrigação total, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura fina, na Bacia dos Rios do Leste.

Quadro 5 – Percentagem de área ocupada por classe de demanda de irrigação total para a cultura do feijoeiro plantada em solos de texturas grossa, média e fina, na Bacia dos Rios do Leste

Classes de Demanda (mm d^{-1})	Textura Grossa	Textura Média	Textura Fina
5,5 – 5,9	25 %	29 %	26 %
6,0 – 6,4	46 %	43 %	48 %
6,5 – 6,9	29 %	28 %	26 %

4.4.4. Demanda de irrigação suplementar

As Figuras 28, 29 e 30 apresentam as demandas de irrigação máxima diária para a cultura do feijoeiro, em solos de texturas grossa, média e fina, respectivamente, na Bacia dos Rios do Leste.

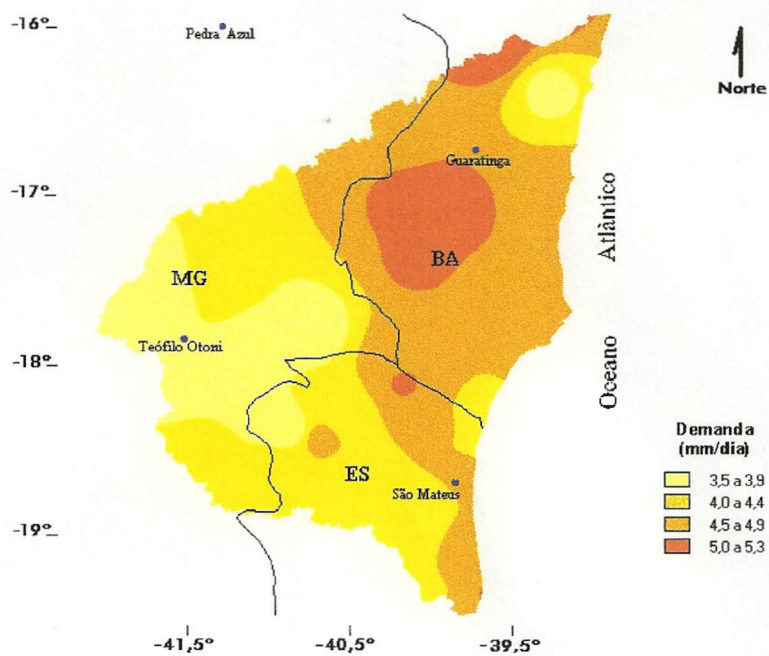


Figura 28 – Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura grossa, na Bacia dos Rios do Leste.

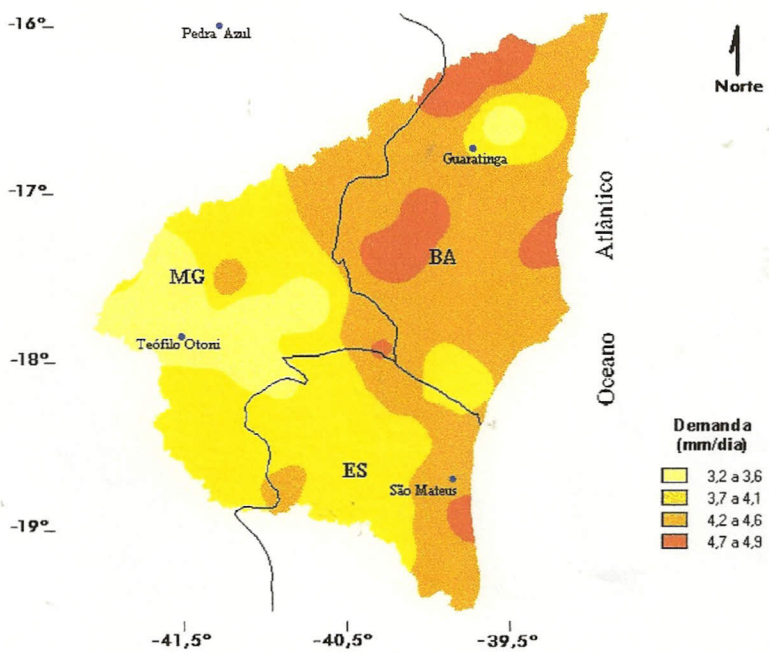


Figura 29 – Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura média, na Bacia dos Rios do Leste.

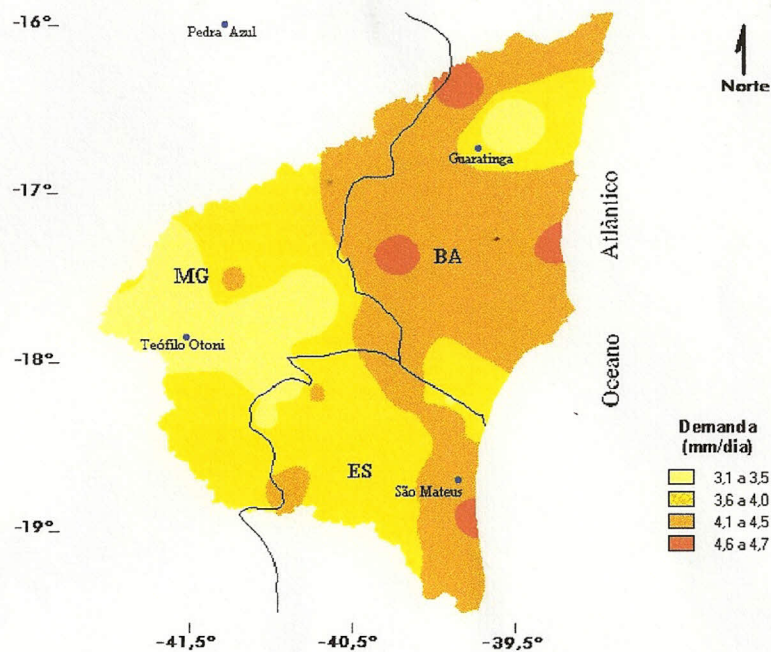


Figura 30 – Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d^{-1} , para a cultura do feijoeiro, em solo de textura fina, na Bacia dos Rios do Leste.

Com a contribuição das precipitações, aqui representada pela precipitação provável, verifica-se redução significativa dos valores de demanda de irrigação suplementar em relação à demanda total. Considerando que a variação espacial da precipitação é bastante significativa, a variação da demanda de irrigação suplementar torna-se mais evidente na Bacia.

Os maiores valores de demanda de irrigação suplementar ocorrem entre 5,0 e 5,3 mm d^{-1} , para solo de textura grossa; 4,7 e 4,9 mm d^{-1} , para solo de textura média; e 4,6 e 4,7 mm d^{-1} , para o solo de textura fina. Esses valores ocupam em média 6,9% da área da Bacia, distribuindo-se nas porções sudeste, nordeste e central.

Os menores valores ocorrem principalmente a oeste e nordeste, concordando com a demanda de irrigação total, e situam-se entre os valores de 3,1 e 3,9 mm d^{-1} , representando em média 15,9% da área da Bacia. Verifica-se que as áreas a nordeste com baixa demanda de irrigação suplementar devem-se

provavelmente à contribuição da precipitação nesta região, já que esta apresenta alta demanda de irrigação total.

A lâmina de irrigação suplementar predominante na Bacia ocorre entre 4,1 e 4,9 mm d⁻¹, ocupando em média 41,3% da área total, e concentra-se desde o extremo sudeste até as regiões norte e nordeste.

É importante salientar que a evidente redução na demanda de irrigação suplementar em regiões onde a demanda total é elevada deve-se à contribuição da chuva, sendo importante a consideração desta na estimativa das necessidades hídricas para fins de dimensionamento de sistema de irrigação.

4.4.5. Demanda de irrigação suplementar considerando a época de plantio

Os Quadros 6, 7 e 8 apresentam os valores médios mensais de demanda de irrigação suplementar para plantio simulado ao longo do ano, para a cultura de feijoeiro, em solos de texturas grossa, média e fina, respectivamente.

Estes quadros podem ser usados para a estimativa de demanda máxima de irrigação suplementar considerando a época de plantio para determinada localidade na Bacia dos Rios do Leste, tomando-se como base as localidades relacionadas nos Quadros 6, 7 e 8. Para uma localidade em que não existe estação climatológica, toma-se a localidade mais próxima a esta e considera-se a demanda de irrigação suplementar para um solo específico.

Neste tipo de procedimento, deve-se levar em consideração que, dependendo da distância entre o local a ser analisado e o apresentado no quadro, poderá haver diferenças climáticas significativas entre uma localidade e outra, principalmente em relação à precipitação, que tem alta variabilidade espacial.

Quadro 6 – Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d⁻¹, para a cultura do feijoeiro, em solo de textura grossa, em função do mês de plantio

ESTAÇÃO	Lat.	Long.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Mundo Novo	16°14'	39°35'	2,7	2,6	1,6	1,3	1,9	2,9	3,3	3,1	3,0	3,4	4,6	4,0
Duas Barras	16°22'	39°48'	3,3	3,2	2,4	1,8	2,4	3,2	3,7	3,4	3,7	4,0	4,7	4,5
Guaratinga	16°35'	39°33'	2,5	2,5	2,3	1,4	2,0	3,1	3,0	2,9	2,8	2,4	3,2	3,2
Prado	17°21'	39°14'	3,8	2,5	1,8	1,1	1,2	2,7	3,6	3,1	3,2	3,8	4,9	4,9
Itamaraju	17°05'	39°32'	3,4	2,3	2,0	1,9	2,0	3,0	3,6	3,2	2,7	3,2	4,4	4,4
Helvécia (EFBM)	17°47'	39°41'	3,2	2,2	1,8	1,7	1,9	2,9	3,3	3,1	2,6	3,2	4,2	4,3
Alcobaça	17°30'	39°13'	3,3	1,9	1,4	0,5	1,4	2,5	3,0	2,8	2,8	3,6	4,6	4,4
Carlos Chagas	17°41'	40°45'	2,8	2,5	2,2	2,0	2,1	3,0	3,3	3,0	2,4	1,8	2,7	3,1
Nanuque-Montante	17°49'	40°21'	4,0	3,7	3,2	2,7	2,8	3,8	4,2	3,8	3,3	3,4	4,6	4,3
Fazenda Cajubi	17°55'	40°18'	4,4	3,6	3,1	2,5	2,7	3,7	4,2	4,0	3,4	3,2	4,0	4,3
Medeiros Neto	17°21'	40°14'	4,1	3,5	3,0	2,4	2,6	3,6	4,1	4,0	3,4	3,7	4,9	4,9
São José do Prado	17°08'	40°01'	3,2	3,0	2,3	1,7	2,2	3,3	3,6	3,7	3,7	3,6	4,5	4,2
Itanhém	17°08'	40°20'	2,9	2,4	2,3	1,9	2,3	3,4	3,3	2,7	2,4	2,5	3,8	4,4
Mucuri	17°35'	41°31'	2,6	2,4	2,2	2,0	2,1	2,9	3,1	2,3	0,6	0,0	1,8	3,2
Fazenda Diacui	17°31'	41°14'	3,3	2,8	2,4	1,9	2,1	3,0	3,3	2,4	1,5	2,2	3,4	4,1
Ladaiinha	17°39'	41°44'	3,3	2,4	2,2	2,0	2,1	2,9	3,2	2,7	1,5	0,0	0,6	3,5
Pedro Versiani	17°52'	41°18'	2,4	2,4	2,2	2,1	2,2	3,0	3,4	2,6	0,9	0,0	0,0	2,2
Novo Cruzeiro	17°28'	41°53'	3,3	2,9	2,6	2,3	2,5	3,2	3,6	3,2	2,5	0,1	0,0	3,1
Francisco Sá	17°43'	41°08'	2,9	2,5	2,2	2,0	2,1	3,0	3,3	2,7	1,8	1,8	2,9	3,0
Morro D'anta	18°18'	39°56'	4,4	3,5	3,0	2,4	2,6	3,6	3,4	3,1	2,6	3,1	4,3	4,4
Conceição da Barra	18°35'	39°44'	3,5	2,6	2,3	1,7	2,1	3,3	3,1	2,7	2,2	3,2	4,5	4,5
Fazenda Viração	18°25'	39°43'	3,9	3,0	2,6	1,9	2,0	3,2	2,8	2,1	2,4	3,3	4,1	4,2
Fazenda Martinica	18°04'	39°54'	3,9	3,7	2,8	2,5	2,6	3,7	3,3	2,5	2,3	3,0	4,0	3,9
Fazenda Klabin	18°14'	39°54'	3,4	2,7	2,6	2,1	2,2	3,3	2,9	2,0	1,8	1,7	2,9	3,7
Barra Nova	18°54'	39°46'	4,0	2,8	2,5	2,1	2,5	3,5	3,2	2,5	1,9	3,2	5,0	4,9
São Mateus	18°42'	39°51'	3,2	2,7	2,6	2,1	2,4	3,4	3,1	2,2	2,2	3,0	4,0	4,4
Barra Seca	18°59'	40°08'	3,6	3,1	2,9	2,2	2,4	3,5	3,4	2,8	2,0	1,9	3,4	3,7
Fazenda Alegria	18°31'	40°19'	3,9	3,6	3,1	2,6	2,7	3,7	3,7	3,2	2,4	2,6	3,8	3,9
Itauninhas	18°28'	40°07'	3,8	3,4	3,0	2,3	2,5	3,6	3,5	3,1	2,4	2,8	4,1	4,0
Barra de São Francisco	18°45'	40°53'	4,6	3,9	3,1	2,6	2,9	3,6	3,6	3,3	2,5	3,2	4,6	4,6
Nova Venécia	18°43'	40°25'	4,1	4,0	3,0	2,5	2,7	3,7	3,6	3,2	2,5	2,2	3,6	3,9
Mucurici	18°05'	40°35'	3,8	3,6	3,1	2,5	2,7	3,6	3,7	2,7	1,5	1,8	3,4	4,0
Água Doce	18°33'	40°59'	3,4	3,2	2,9	2,3	2,7	3,7	3,8	3,6	2,8	1,9	2,7	3,4
Ponte Nova (BR-101)	18°59'	40°05'	3,7	3,0	2,9	2,5	2,5	3,3	3,3	3,0	2,2	2,7	4,3	4,4
Fazenda São Mateus	18°08'	40°52'	3,1	2,6	2,4	2,0	2,2	3,0	3,2	2,4	1,4	1,4	2,5	3,4
Cedrolândia	18°49'	40°42'	3,7	3,3	3,1	2,7	2,7	3,4	3,3	2,5	1,1	0,0	2,4	3,7
Cataxe	18°11'	40°43'	3,6	3,6	3,1	2,6	2,8	3,7	3,6	2,7	1,7	2,7	4,3	4,0
Fazenda Limoeiro	18°09'	40°11'	3,6	3,4	3,0	2,4	2,6	3,7	3,5	2,7	1,9	2,9	4,4	3,9
Ecoporanga	18°22'	40°50'	3,7	3,4	3,0	2,6	2,7	3,7	3,5	2,4	0,7	0,0	3,5	3,7
Joacuba	18°23'	40°38'	3,5	3,2	2,9	2,6	2,7	3,6	3,4	2,6	1,4	1,5	3,8	3,5
Patrimônio XV Sta. Luzia do Norte	18°03'	40°38'	3,7	3,5	3,1	2,5	2,7	3,6	3,5	2,6	1,6	2,5	3,8	4,0
Patrimônio XV	18°29'	40°28'	3,8	3,4	3,1	2,6	2,7	3,6	3,5	2,8	2,0	2,4	3,5	3,8
São João do Sobrado	18°19'	40°22'	3,8	3,4	3,0	2,6	2,7	3,6	3,5	2,7	2,0	2,7	3,9	4,1
Vargem Grande	18°41'	41°12'	3,8	3,1	2,8	2,4	2,8	3,7	3,8	3,2	2,1	0,1	1,6	3,8
Fidelândia	18°12'	41°15'	3,8	3,2	2,9	2,5	2,7	3,7	3,9	3,3	2,3	1,9	3,0	3,9
Ataléia	18°03'	41°07'	2,7	2,6	2,4	2,0	2,2	3,0	3,3	2,5	1,3	1,7	2,8	3,2
Mantenópolis	18°54'	41°07'	3,7	3,0	2,8	2,6	2,9	3,8	3,8	3,4	2,5	0,9	2,2	3,9
Santo Agostinho	18°20'	41°01'	3,3	2,7	2,7	2,3	2,5	3,5	3,5	2,8	1,3	0,0	1,1	3,4

Quadro 7 – Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d⁻¹, para a cultura do feijoeiro, em solo de textura média, em função do mês de plantio

Estação	Lat.	Long.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Mundo Novo	16°14'	39°35'	2,2	2,0	1,4	1,2	1,7	2,6	3,1	2,8	2,7	2,7	4,0	3,6
Duas Barras	16°22'	39°48'	2,9	2,7	2,1	1,6	2,2	3,0	3,5	3,0	3,3	3,5	4,2	4,1
Guaratinga	16°35'	39°33'	2,1	2,1	2,0	1,2	1,8	2,9	2,7	2,6	2,4	1,8	2,7	2,7
Prado	17°21'	39°14'	3,6	2,3	1,7	1,0	1,1	2,5	3,4	3,0	3,0	3,5	4,6	4,6
Itamaraju	17°05'	39°32'	3,3	2,2	1,9	1,8	1,8	2,8	3,4	2,9	2,5	2,9	4,1	4,2
Helvécia (EFBM)	17°47'	39°41'	3,1	2,1	1,8	1,6	1,8	2,8	3,1	2,8	2,3	2,9	4,0	4,1
Alcobaça	17°30'	39°13'	3,2	1,7	1,2	0,7	1,2	2,4	2,8	2,6	2,5	3,3	4,3	4,2
Carlos Chagas	17°41'	40°45'	2,7	2,4	2,1	1,8	2,0	2,9	3,2	2,9	2,1	1,5	2,6	2,8
Nanuque-Montante	17°49'	40°21'	3,9	3,5	3,1	2,6	2,7	3,7	4,0	3,6	3,0	3,0	4,2	4,1
Fazenda Cajubi	17°55'	40°18'	4,2	3,4	3,0	2,4	2,6	3,6	4,1	3,8	3,2	2,7	3,8	3,9
Medeiros Neto	17°21'	40°14'	4,0	3,3	2,9	2,3	2,5	3,5	4,0	3,8	3,2	3,4	4,6	4,6
São José do Prado	17°08'	40°01'	2,7	2,5	2,0	1,5	2,0	3,1	3,4	3,4	3,4	3,1	4,0	3,8
Itanhém	17°08'	40°20'	2,6	1,9	2,0	1,7	2,1	3,2	3,0	2,3	1,9	1,9	3,4	3,9
Mucuri	17°35'	41°31'	2,5	2,3	2,1	1,8	2,0	2,8	3,0	2,2	0,4	0,0	1,7	3,0
Fazenda Diacui	17°31'	41°14'	3,2	2,7	2,3	1,8	2,0	2,9	3,2	2,3	1,4	2,1	3,2	3,9
Ladaiinha	17°39'	41°44'	3,1	2,3	2,1	1,8	2,0	2,8	3,2	2,5	1,2	0,0	0,7	3,3
Pedro Versiani	17°52'	41°18'	2,3	2,3	2,1	2,0	2,1	2,9	3,3	2,4	0,7	0,0	0,0	2,0
Novo Cruzeiro	17°28'	41°53'	3,1	2,8	2,5	2,2	2,4	3,2	3,5	3,0	2,1	0,0	0,0	2,9
Francisco Sá	17°43'	41°08'	2,8	2,4	2,1	1,8	2,0	2,9	3,2	2,5	1,4	1,6	2,8	2,8
Morro D'anta	18°18'	39°56'	4,1	3,2	2,8	2,3	2,4	3,5	3,2	2,8	2,4	2,8	4,0	4,1
Conceição da Barra	18°35'	39°44'	3,3	2,4	2,2	1,7	2,0	3,2	2,9	2,5	1,9	2,8	4,2	4,3
Fazenda Viração	18°25'	39°43'	3,7	2,8	2,5	1,8	1,9	3,0	2,6	1,9	2,1	3,0	3,9	4,0
Fazenda Martinica	18°04'	39°54'	3,7	3,4	2,7	2,4	2,5	3,6	3,1	2,4	2,1	2,7	3,7	3,7
Fazenda Klabin	18°14'	39°54'	3,1	2,4	2,5	2,0	2,1	3,1	2,8	1,8	1,7	1,6	2,6	3,4
Barra Nova	18°54'	39°46'	3,8	2,6	2,4	2,1	2,4	3,4	3,0	2,3	1,6	3,0	4,6	4,7
São Mateus	18°42'	39°51'	3,1	2,4	2,5	2,1	2,3	3,3	2,9	2,0	2,0	2,8	3,7	4,2
Barra Seca	18°59'	40°08'	3,4	2,9	2,7	2,0	2,3	3,4	3,2	2,6	1,6	1,7	3,1	3,5
Fazenda Alegria	18°31'	40°19'	3,7	3,3	2,9	2,5	2,6	3,6	3,5	3,0	2,0	2,3	3,5	3,7
Itauninhas	18°28'	40°07'	3,5	3,1	2,8	2,2	2,4	3,5	3,4	2,9	2,1	2,4	3,8	3,7
Barra de São Francisco	18°45'	40°53'	4,1	3,6	3,0	2,5	2,7	3,5	3,4	3,0	2,1	2,9	4,3	4,2
Nova Venécia	18°43'	40°25'	3,9	3,8	2,9	2,4	2,5	3,6	3,4	3,0	2,1	1,9	3,3	3,7
Mucurici	18°05'	40°35'	3,5	3,4	3,0	2,5	2,6	3,5	3,5	2,6	1,3	1,5	3,0	3,8
Água Doce	18°33'	40°59'	3,2	3,1	2,8	2,2	2,6	3,5	3,6	3,3	2,4	1,6	2,5	3,2
Ponte Nova (BR-101)	18°59'	40°05'	3,4	2,8	2,7	2,4	2,4	3,2	3,1	2,7	1,8	2,2	4,0	4,2
Fazenda São Mateus	18°08'	40°52'	3,0	2,5	2,3	1,9	2,1	2,9	3,0	2,3	1,1	1,2	2,4	3,2
Cedrolândia	18°49'	40°42'	3,3	3,1	3,0	2,6	2,6	3,3	3,0	2,3	0,9	0,0	2,1	3,4
Cataxe	18°11'	40°43'	3,3	3,4	3,0	2,5	2,7	3,6	3,5	2,6	1,3	2,3	3,9	3,8
Fazenda Limoeiro	18°09'	40°11'	3,4	3,1	2,8	2,3	2,5	3,6	3,3	2,5	1,5	2,5	4,1	3,6
Ecoporanga	18°22'	40°50'	3,5	3,2	2,9	2,5	2,6	3,6	3,3	2,2	0,5	0,0	3,2	3,4
Joaçuba	18°23'	40°38'	3,2	2,9	2,7	2,5	2,6	3,5	3,3	2,3	1,1	1,4	3,5	3,2
Patrimônio XV Sta. Luzia do Norte	18°03'	40°38'	3,5	3,3	3,0	2,5	2,6	3,5	3,4	2,3	1,2	2,1	3,6	3,8
Patrimônio XV	18°29'	40°28'	3,5	3,2	3,0	2,5	2,6	3,5	3,4	2,6	1,7	2,1	3,3	3,6
São João do Sobrado	18°19'	40°22'	3,5	3,2	2,9	2,5	2,6	3,5	3,4	2,6	1,5	2,3	3,7	3,9
Vargem Grande	18°41'	41°12'	3,6	3,0	2,7	2,4	2,7	3,5	3,6	2,9	1,7	0,1	1,2	3,6
Fidelândia	18°12'	41°15'	3,6	3,1	2,8	2,4	2,7	3,5	3,7	3,1	2,0	1,6	2,7	3,7
Ataléia	18°03'	41°07'	2,5	2,4	2,3	1,9	2,1	2,9	3,2	2,3	1,0	1,4	2,7	3,0
Mantenópolis	18°54'	41°07'	3,6	2,9	2,7	2,6	2,8	3,6	3,7	3,2	2,1	0,6	2,0	3,7
Santo Agostinho	18°20'	41°01'	3,2	2,6	2,6	2,2	2,4	3,3	3,3	2,5	1,1	0,0	1,1	3,2

Quadro 8 – Máxima demanda de irrigação suplementar, em mm d⁻¹, para a cultura do feijoeiro, em solo de textura fina, em função do mês de plantio

Estação	Lat.	Long.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.
Mundo Novo	16°14'	39°35'	2,1	1,9	1,4	1,1	1,6	2,6	2,8	2,6	2,3	2,4	3,7	3,5
Duas Barras	16°22'	39°48'	2,7	2,5	2,0	1,5	2,1	2,9	3,3	2,8	2,9	3,1	3,9	3,9
Guaratinga	16°35'	39°33'	1,9	1,9	1,9	1,2	1,7	2,8	2,6	2,4	2,1	1,5	2,5	2,6
Prado	17°21'	39°14'	3,5	2,2	1,6	0,9	1,0	2,4	3,3	2,8	3,0	3,5	4,4	4,5
Itamaraju	17°05'	39°32'	3,2	2,1	1,8	1,8	1,7	2,8	3,3	2,9	2,4	2,8	4,0	4,1
Helvécia (EFBM)	17°47'	39°41'	2,9	2,0	1,7	1,5	1,7	2,7	3,0	2,8	2,2	2,8	3,9	4,0
Alcobaça	17°30'	39°13'	3,1	1,6	1,1	0,7	1,1	2,3	2,7	2,6	2,4	3,3	4,1	4,1
Carlos Chagas	17°41'	40°45'	2,7	2,4	2,0	1,8	2,0	2,8	3,0	2,8	1,9	1,4	2,5	2,8
Nanuque-Montante	17°49'	40°21'	3,8	3,4	3,0	2,6	2,7	3,6	3,9	3,5	2,8	2,9	4,1	4,0
Fazenda Cajubi	17°55'	40°18'	4,2	3,3	2,9	2,4	2,6	3,5	4,0	3,7	3,0	2,6	3,7	3,7
Medeiros Neto	17°21'	40°14'	3,9	3,3	2,9	2,3	2,5	3,4	3,9	3,7	3,1	3,3	4,4	4,6
São José do Prado	17°08'	40°01'	2,6	2,3	1,9	1,4	2,0	3,0	3,2	3,2	3,1	2,8	3,7	3,6
Itanhém	17°08'	40°20'	2,4	1,7	1,9	1,6	2,0	3,1	2,8	2,1	1,6	1,6	3,2	3,6
Mucuri	17°35'	41°31'	2,4	2,2	2,0	1,8	1,9	2,7	2,9	2,0	0,4	0,0	1,6	2,9
Fazenda Diacui	17°31'	41°14'	3,1	2,7	2,3	1,8	2,0	2,8	3,0	2,2	1,3	1,9	3,2	3,8
Ladainha	17°39'	41°44'	3,0	2,2	2,0	1,8	1,9	2,8	3,0	2,4	1,0	0,0	0,6	3,2
Pedro Versiani	17°52'	41°18'	2,2	2,2	2,0	1,9	2,1	2,9	3,1	2,3	0,6	0,0	0,0	1,9
Novo Cruzeiro	17°28'	41°53'	3,1	2,8	2,5	2,2	2,4	3,1	3,4	2,9	1,9	0,0	0,0	2,8
Francisco Sá	17°43'	41°08'	2,7	2,4	2,0	1,8	2,0	2,8	3,0	2,4	1,2	1,4	2,7	2,7
Morro D'anta	18°18'	39°56'	4,0	3,2	2,8	2,2	2,3	3,4	3,1	2,8	2,3	2,7	3,8	3,9
Conceição da Barra	18°35'	39°44'	3,3	2,3	2,2	1,6	1,9	3,0	2,8	2,4	1,8	2,6	4,1	4,2
Fazenda Viração	18°25'	39°43'	3,6	2,8	2,5	1,8	1,8	2,9	2,4	1,7	1,9	2,9	3,7	3,8
Fazenda Martinica	18°04'	39°54'	3,5	3,3	2,7	2,3	2,3	3,5	3,0	2,3	2,0	2,6	3,6	3,6
Fazenda Klabin	18°14'	39°54'	3,0	2,4	2,4	2,0	2,0	3,0	2,5	1,8	1,6	1,4	2,4	3,3
Barra Nova	18°54'	39°46'	3,7	2,5	2,4	2,0	2,4	3,3	2,8	2,1	1,4	2,6	4,5	4,5
São Mateus	18°42'	39°51'	3,0	2,3	2,4	2,0	2,2	3,1	2,6	1,9	1,9	2,7	3,7	4,0
Barra Seca	18°59'	40°08'	3,2	2,8	2,7	2,0	2,3	3,3	3,1	2,5	1,4	1,4	3,0	3,3
Fazenda Alegria	18°31'	40°19'	3,5	3,2	2,9	2,5	2,5	3,5	3,4	2,8	1,8	2,1	3,5	3,6
Itauninhas	18°28'	40°07'	3,4	3,1	2,8	2,2	2,4	3,4	3,2	2,8	2,0	2,3	3,7	3,6
Barra de São Francisco	18°45'	40°53'	4,0	3,5	2,9	2,5	2,7	3,5	3,4	2,9	2,0	2,7	4,1	4,1
Nova Venécia	18°43'	40°25'	3,7	3,7	2,9	2,3	2,4	3,5	3,3	2,9	1,9	1,6	3,2	3,5
Mucurici	18°05'	40°35'	3,3	3,3	3,0	2,4	2,7	3,4	3,4	2,4	1,1	1,3	2,9	3,6
Água Doce	18°33'	40°59'	3,1	3,0	2,7	2,2	2,5	3,5	3,6	3,2	2,2	1,4	2,4	3,0
Ponte Nova (BR-101)	18°59'	40°05'	3,4	2,7	2,7	2,3	2,4	3,0	2,9	2,6	1,5	2,0	3,9	4,1
Fazenda São Mateus	18°08'	40°52'	2,9	2,5	2,2	1,8	2,0	2,8	3,0	2,1	1,0	1,0	2,3	3,1
Cedrolândia	18°49'	40°42'	3,1	2,9	2,9	2,6	2,6	3,2	2,8	2,1	0,7	0,0	2,1	3,3
Cataxe	18°11'	40°43'	3,1	3,3	3,0	2,5	2,7	3,5	3,3	2,3	1,2	2,1	3,8	3,7
Fazenda Limociro	18°09'	40°11'	3,2	3,1	2,8	2,2	2,4	3,5	3,1	2,4	1,4	2,3	3,9	3,4
Ecoporanga	18°22'	40°50'	3,3	3,1	2,9	2,5	2,6	3,5	3,1	2,0	0,4	0,0	3,2	3,2
Joacuba	18°23'	40°38'	3,1	2,9	2,8	2,5	2,7	3,4	3,1	2,1	0,8	1,3	3,4	3,0
Patrimônio XV Sta. Luzia do Norte	18°03'	40°38'	3,3	3,2	3,0	2,4	2,6	3,4	3,2	2,2	1,0	2,0	3,5	3,6
Patrimônio XV	18°29'	40°28'	3,4	3,1	3,0	2,5	2,7	3,4	3,2	2,5	1,5	1,9	3,2	3,4
São João do Sobrado	18°19'	40°22'	3,4	3,1	2,9	2,5	2,7	3,4	3,2	2,5	1,3	2,1	3,6	3,7
Vargem Grande	18°41'	41°12'	3,5	2,9	2,6	2,3	2,7	3,5	3,6	2,9	1,5	0,1	1,2	3,5
Fidelândia	18°12'	41°15'	3,5	3,0	2,7	2,4	2,6	3,5	3,7	3,0	1,7	1,4	2,6	3,6
Ataléia	18°03'	41°07'	2,5	2,4	2,2	1,8	2,0	2,8	3,0	2,2	0,9	1,3	2,6	2,9
Mantenópolis	18°54'	41°07'	3,5	2,8	2,6	2,5	2,8	3,6	3,6	3,0	1,8	0,5	1,9	3,6
Santo Agostinho	18°20'	41°01'	3,1	2,4	2,5	2,1	2,4	3,3	3,3	2,4	0,8	0,0	1,0	3,1

4.4.6. Época de plantio com maior oferta de água no ciclo da cultura, considerando a estação chuvosa

As épocas de plantio servem como subsídio para auxiliar na tarefa de planejamento das atividades agrícolas. A época de plantio na estação chuvosa, em que se verifica maior disponibilidade de água no ciclo da cultura, pode caracterizar a época propícia para o plantio, uma vez que a maior oferta de água contribui para reduzir a demanda de irrigação suplementar nesse período.

As Figuras 31, 32 e 33 apresentam as épocas de plantio em que se verifica maior disponibilidade de água no ciclo para as culturas do feijoeiro na estação chuvosa, para solos de texturas grossa, média e fina. Observa-se uma predominância entre os dias 5 e 19 de outubro, correspondendo a aproximadamente 55,5% da Bacia, como as épocas em que a cultura do feijoeiro teria maior disponibilidade hídrica no ciclo, otimizando o uso da irrigação em plantio de sequeiro. Todavia, esta não é necessariamente a melhor época de plantio, uma vez que a definição da melhor época envolve outras considerações, que não são colocadas neste estudo.

Deve-se destacar a ocorrência de uma pequena área da Bacia (porção leste), cerca de 0,4%, em que a época de plantio é retardada para os meses de janeiro a fevereiro.

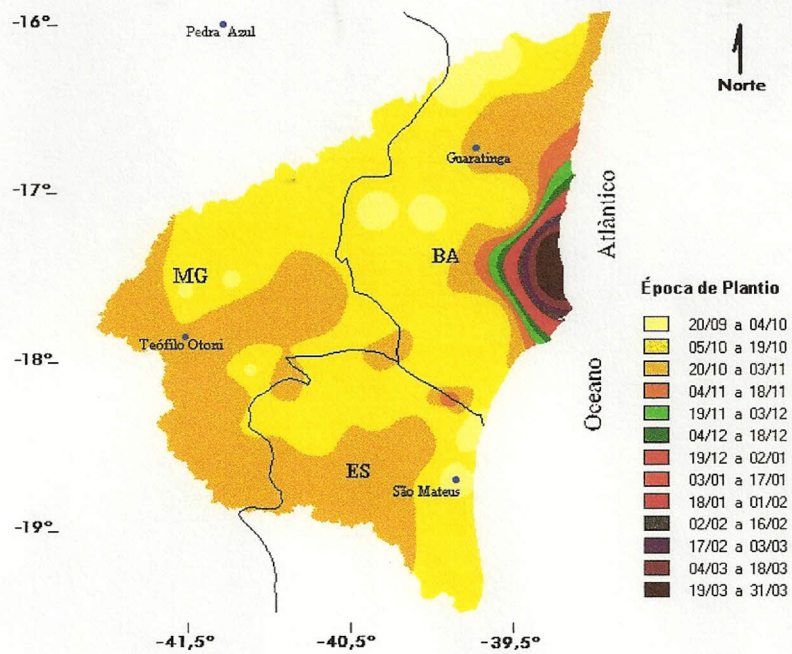


Figura 31 – Época de plantio da cultura do feijoeiro, em solo de textura grossa, considerando-se maior disponibilidade de água no ciclo, na estação chuvosa, na Bacia dos Rios do Leste.

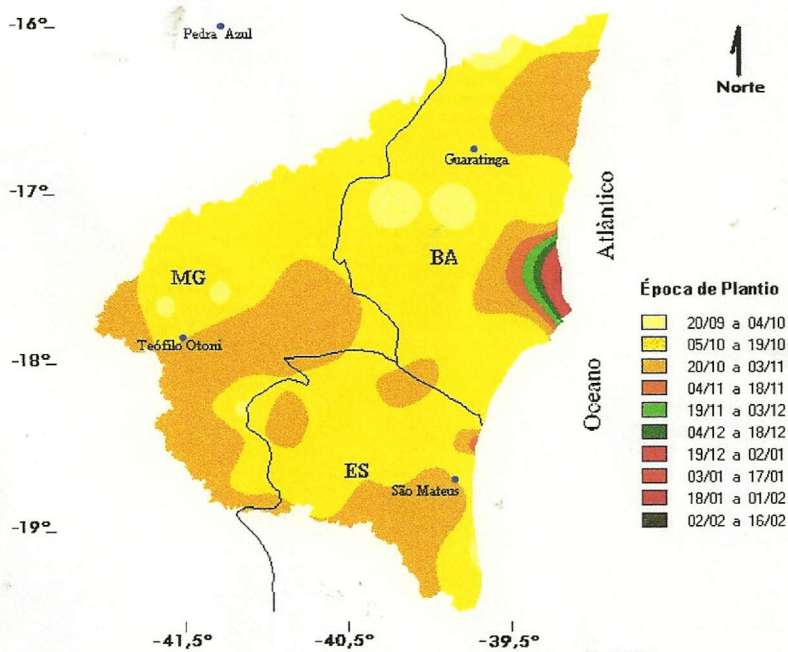


Figura 32 – Época de plantio da cultura do feijoeiro, em solo de textura média, considerando-se maior disponibilidade de água no ciclo, na estação chuvosa, na Bacia dos Rios do Leste.

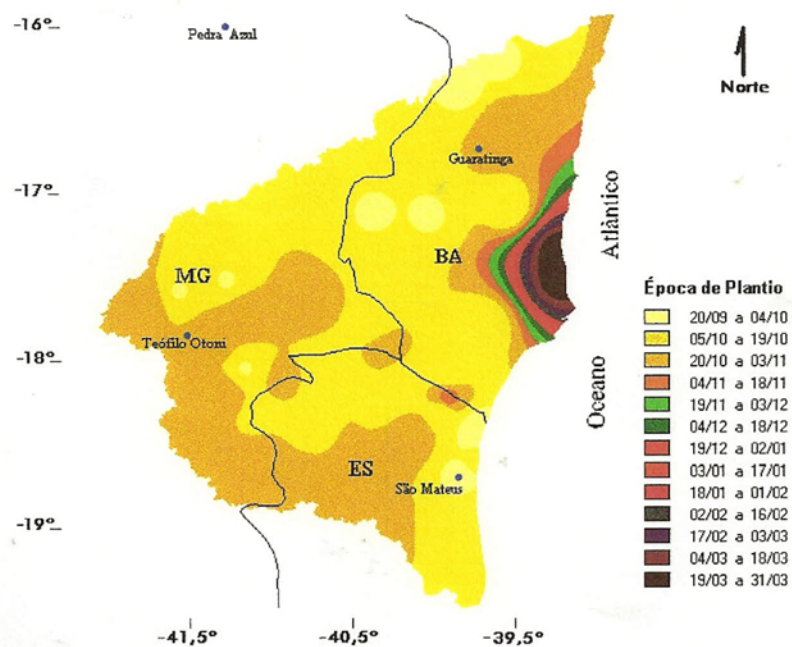


Figura 33 – Época de plantio da cultura do feijoeiro, em solo de textura fina, considerando-se maior disponibilidade de água no ciclo, na estação chuvosa, na Bacia dos Rios do Leste.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Um programa computacional, DEMANDAsis, foi elaborado em linguagem de programação Clipper v. 5.2, para calcular a demanda de irrigação total, a demanda de irrigação suplementar e a época de plantio para a cultura do feijoeiro. Foram utilizadas séries históricas de dados diários de 48 estações pluviométricas da ANEEL e de 9 estações climatológicas do INMET, localizadas na Bacia dos Rios do Leste.

A distribuição gama foi utilizada na estimativa de precipitação provável decedial, a 75% de probabilidade. A evapotranspiração de referência foi determinada pelo método de Penman-Monteith, utilizando-se o programa "Reference Evapotranspiration Calculator, REF-ET, v. 2.0, ALLEN, 1991" .

A espacialização dos valores máximos da evapotranspiração de referência, precipitação provável, época de plantio do feijoeiro e demandas de irrigação total e suplementar, na Bacia dos Rios do Leste, foi realizada utilizando-se o programa de sistema de informações geográficas IDRISI for Windows, v. 2.0.

Os resultados obtidos permitiram chegar às seguintes conclusões:

- As taxas máximas de evapotranspiração de referência (ET_o) na Bacia dos Rios do Leste ocorrem no mês de janeiro, concentrando-se em pequenas áreas ao sul da Bahia, variando de 6,0 a 6,5 mm d⁻¹. Os menores valores de ET_o

- ocorrem no mês de julho, principalmente a oeste da Bacia, com uma variação compreendida entre 2,4 e 2,8 mm d⁻¹. Ao longo do ano, as taxas máximas de ETo de 5,2 a 5,5 mm d⁻¹ são predominantes em cerca de 66% da área de abrangência da Bacia.
- Os maiores valores de precipitação provável decendial a 75% de probabilidade ocorrem nos meses de novembro e dezembro, especialmente nas porções oeste e sudeste da Bacia.
 - As lâminas de irrigação total entre 6,0 e 6,4 mm d⁻¹ atendem às necessidades da cultura do feijoeiro em aproximadamente 44,8% da área da Bacia, independentemente do tipo de solo.
 - Os maiores valores de demanda de irrigação suplementar ocorrem em solo de textura grossa entre 5,0 e 5,3 mm d⁻¹, de textura média, entre 4,7 e 4,9 mm d⁻¹; e de textura fina, entre 4,6 e 4,7 mm d⁻¹. Cerca de 41,3% da Bacia pode ter as necessidades de irrigação suplementar do feijoeiro atendidas com lâminas entre 4,1 e 4,9 mm d⁻¹.
 - A época de plantio predominante do feijoeiro em cerca de 56% da área da Bacia ocorre entre os dias 5 e 19 de outubro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G. **Reference evapotranspiration calculator**. Version 2.1. Logan: Utah State University, 1991. 36p.
- ALMEIDA, R. M. B. **Características climatológicas do regime de chuvas em Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1995. 64p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- ARONOFF, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa : WDL Publications, 1989. 294p.
- ASSAD, E. D. **Chuvas nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília, DF: EMBRAPA/SPI, 1994. 423p.
- ASSAD, E. D., EVANGELISTA, B. A. Análise frequencial da precipitação pluviométrica. In: ASSAD, E. D. (Coord.). **Chuvas nos cerrados: análise e espacialização**. Brasília, DF: EMBRAPA/SPI, 1994. 423p.
- ASSAD, E. D., SANO, E. E. **Sistema de informação geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1993. 274p.
- ASSIS, F. N. **Modelagem da ocorrência e da quantidade de chuva e de dias secos em Piracicaba-SP e Pelotas-RS**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1991. 134p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1991.
- ASSIS, F. N. Ajuste da função gama aos totais semanais de chuva de Pelotas-RS. **R. Bras. de Agromet.**, v. 1, n. 1, p. 131-136, 1993.

- BERLATO, M. A. As condições de precipitação pluvial no estado do Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRS, 1992. p. 11-24.
- BURROUGH, P. A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment**. New York: Oxford University Press, 1986. 193p.
- BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV, 1995. 657 p.
- CÂMARA, G., FELGEIRAS, Anatomia de sistemas de informações geográficas: visão atual e perspectivas de evolução. In: ASSAD, E. D. e SANO, E. E. **Sistema de informação geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1993. p. 15-34.
- CÂMARA, G., MEDEIROS, J. S. **Gis para meio ambiente**. Curitiba: Sagres, 1996. 139p. (apostila).
- CASTRO, R., LEOPOLDO, P. R. Ajuste da distribuição gama incompleta na estimativa da precipitação pluviométrica provável para os períodos de 15 e 10 dias da cidade de São Manuel-SP. **Energia na Agricultura**, v. 10, n.1, p. 20-29, 1995.
- CHATFIELD, C. Wet and dry spells. **Monthly Weather Review**, v.21, p. 308-310, 1966.
- COE, R., STERN, R. D. Fitting models to daily rainfall data. **Journal of Applied Meteorology**, v. 21, p. 1024-1031, 1982.
- DANTAS, R. T. Caracterização da estação chuvosa em três municípios do estado da Paraíba e aplicação da distribuição gama incompleta. **Atmosfera & Água**: v. 2, n .3, p. 4-7, 1998.
- DAVIS JÚNIOR, C. A., FONSECA, F. T. **GIS - Fundamentos**. Curitiba: Sagres, 1996. 102p. (apostila).
- DOORENBOS, J., PRUIT, W. O. **Las necesidades de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 1977. 194p. (estudio FAO: Riego y Drenaje, 24).
- FARIA, R. A. **Demanda de irrigação suplementar no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: UFV, 1998. 80p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.

- FELGUEIRAS, C. A., CÂMARA, G. Sistemas de informações geográficas do INPE. In: ASSAD, E. D., SANO, E. E. **Sistema de informação geográficas: aplicações na agricultura**. Brasília: EMBRAPA/CPAC, 1993. p. 41-59.
- FERREIRA, C. C. M. **Zoneamento agroclimático para implantação de sistemas agroflorestais com eucaliptos em Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1997. 158 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- FRÈRE, M., POPOV, G. F. **Agrometeorological crop. Monitoring and forecasting**. Rome: FAO, 1979. (Plant Production and Protection Paper, 77).
- FRIZZONE, J. A. **Análise de cinco modelos para cálculo da distribuição e frequência de precipitação na região de Viçosa, MG**. Viçosa: UFV, 1979. 100p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1979.
- GABRIEL, K. R., NEUMANN, J. A Markov Chain model for daily rainfall occurrence at Tel Aviv. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 88, p. 90-5, 1962.
- GREGORY, J. M., WIGLEY, T. M. L., JONES, P. D. Determining and interpreting the order of a Two-State Markov Chain: Application to models of daily precipitation. **Weather Resources Research**, v. 28, n. 5, p. 1443-1446, 1992.
- JENSEN, M.; BURMAN, R. D., ALLEN, R. G. **Evapotranspiration and irrigation water requirements**. New York: ASCE. 1990. 332p. (manuals, 70).
- MARQUELLI, W. A. **Análise de distribuição das probabilidades de chuva, visando ao manejo de irrigação suplementar**. Viçosa: UFV, 1983. 123p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1983.
- MATZENAUER, R. A. Evapotranspiração de plantas cultivadas e coeficientes de culturas. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: UFRS, 1992. p. 11-24.
- PACE, E. L., SOUZA, J. L., CARMO, M. E. A. Ocorrência provável de precipitação mensal para a microrregião de Rio Largo do estado de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: SBA, 1989. p. 204-210.

- PAIVA, C. **Determinação das datas de início e fim da estação chuvosa e da ocorrência de veranico na Bacia do Rio Doce.** Viçosa: UFV, 1997. 67p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- PEREIRA, A. R., VILLA NOVA, N. A. SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração.** Piracicaba: ESALQ, 1997. 183p.
- PIRES, R. C. M. **Simulação da irrigação suplementar de culturas em Ribeirão Preto, São Paulo.** Piracicaba: ESALQ/USP, 1992. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1992.
- RIBEIRO, A., SEDIYAMA, G. C., EUCLYDES, H. P., FERREIRA, P. A. **Espacialização das probabilidades de ocorrências de veranicos de 7, 10 e 15 dias na bacia do rio Paracatu, Minas Gerais.** Viçosa: UFV, RURALMINAS, 1998. p.141-180, (Boletim Técnico).
- RODRIGUES, L. N., PRUSKI, F. F. Precipitação provável para João Pinheiro, Minas Gerais, utilizando as funções de distribuição de probabilidade gama e log-normal. Viçosa-MG. **Engenharia na Agricultura**, v. 5, n. 3, p. 237-24, 1997.
- SANSIGOLO, C. A. Análise das precipitações diárias de Piracicaba, SP, visando planejamento agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, 1989, Maceió. **Anais...** Maceió: SBA, 1989. p.224-231.
- SEDIYAMA, G. C. **Evapotranspiração: necessidade de água para plantas cultivadas.** Brasília-DF: ABEAS/UFV, 1996. 176p. (curso de engenharia da irrigação, módulo 4).
- SILVA, F. A. M., ASSAD, E. D., GOMES, A. C., EVANGELISTA, A. Estudo da radiação solar na região do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: SBA, 1997. p. 425-427.
- SMITH, M. **Report on the expert consultation on revision of FAO methodologies for crop water requirements.** Rome: FAO, 1991, 45p.
- SMITH, T., PEUQUET, D., MENON, S. A knowledge-based geographical information system. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.1, n.2, p. 149-172, 1987.

- STERN, R. D. Analysis of daily rainfall at Samaru, Nigeria, using a simple two-part model. **Archiv. Für Meteorologie Geophysik und Bioklimatologie, Serie B**, v. 28, p. 123-35, 1980.
- THOM, H. C. S: **Some methods of climatological analysis**. Geneve: WMO, 1966. 53p. (Technical note, 81)
- VIANELLO, R. L., ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 1991. 449 p.
- WOLF, J. M. Probabilidades de ocorrência de períodos secos na estação chuvosa para Brasília, DF. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 12, n. único, p. 141-50, 1977.