

MARCO AURELIO DE MELLO MACHADO

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO CLIMÁTICA DA ESTAÇÃO DE
CRESCIMENTO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS
PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorolo-
gia Agrícola, para Obtenção do
Título de "Magister Scientiae".

T
55
01/02/95
1
1.01

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
FEVEREIRO - 1995

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

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

T

M149c
1995

Machado, Marco Aurélio de Mello, 1963-
Caracterização e avaliação climática da esta-
ção de crescimento de cultivos agrícolas para o
Estado de Minas Gerais/ Marco Aurélio de Mello
Machado. - Viçosa : UFV, 1995.
6lp. : il.

Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal
de Viçosa.

1. Climatologia agrícola - Minas Gerais. 2.
Estação de crescimento - Minas Gerais. 3. Esta-
ção de chuva - Minas Gerais. 4. Cultivos agrí-
colas - Plantio - Minas Gerais. I. Universida-
de Federal de Viçosa. II. Título.

CDD. 18. ed. 630.2516

CDD. 19. ed. 630.2516

MARCO AURELIO DE MELLO MACHADO

CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO CLIMÁTICA DA ESTAÇÃO DE
CRESCIMENTO DE CULTIVOS AGRÍCOLAS
PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

Tese Apresentada à Universidade
Federal de Viçosa, como Parte das
Exigências do Curso de Meteorolo-
gia Agrícola, para Obtenção do
Título de "Magister Scientiae".

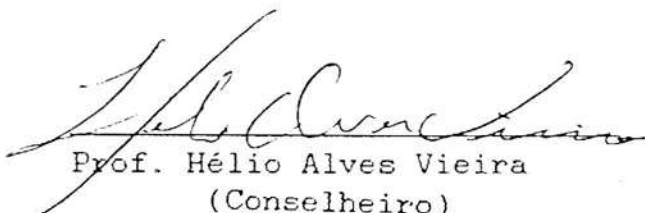
APROVADA: 04 de março de 1994.



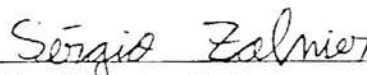
Prof. José Maria Nogueira da
Costa
(Conselheiro)



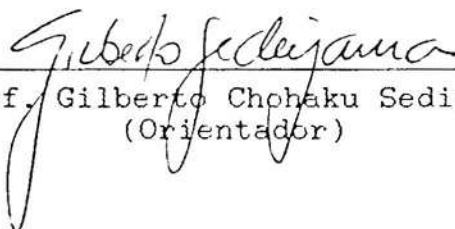
Prof. Marcos Heil Costa



Prof. Hélio Alves Vieira
(Conselheiro)



Prof. Sérgio Zolnier



Prof. Gilberto Chohaku Sedyama
(Orientador)

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

Ao meu pai Machado,

pelo incentivo nos estudos.

À minha mãe Lenyrce,

pelos exemplos de dedicação e de trabalho.

Ao "irmão" Stênio Lasmar,

pela possibilidade de iniciar o curso.

À minha irmã Naira,

pelo sacrifício pessoal do auxílio.

Ao meu irmão Daniel,

pela amizade e pelo companheirismo.

À Ludmila, pelo amor e pelo carinho dedicados.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela força para concluir o curso.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de um rico aprendizado técnico e cultural.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela descoberta de grandes e fecundas amizades.

À Coordenação de Perfeiçãoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão do auxílio financeiro.

À Universidade do Tocantins, que tornou possível o término deste curso.

À EMATER - MG, escritório central de Belo Horizonte, nas pessoas dos engenheiros-agrônomo José Bráz Façanha e Flávio Antônio, pelas informações valiosas.

Ao 5º Distrito Meteorológico do INMET, de Belo Horizonte, na figura do meteorologista Luiz Clemente Ladeia, cujos dados meteorológicos puderam levar a termo este trabalho.

Ao professor orientador Gilberto Chohaku Sediyaama, pela serenidade, pela amizade, pela retidão e pela segura orientação.

Ao professor Adil Rainier Alves, pela didática exemplar, pelas palavras, pelas ações de incentivo e pelo otimismo.

Ao professor José Maria Nogueira da Costa, pelos conhecimentos transmitidos e pelas sugestões indispensáveis.

Ao professor Marcos Heil Costa, pela amizade, pela contribuição no trabalho e pelo constante intercâmbio de idéias.

Aos professores Hélio Alves Vieira, Sérgio Zolnier, Dirceu Teixeira Coelho, Rubens Leite Vianello e Fernando Falco Pruski, pelos estímulos e pelos aconselhamentos diários.

Ao Professor Pedro Castro Neto, pelo encorajamento e pelo despertar do interesse pela Agrometeorologia.

Aos colegas José Eduardo, Gabriel, Klinger, Jorge Washington, Raimunda, Marcos Wanderley e Francisca, pela amizade e pelas alegrias partilhadas.

Ao engenheiro agrícola José Dermeval Saraiva Lopes, pela elaboração do programa computacional, indispensável nos cálculos deste trabalho.

À Maria do Carmo, pela competência e pela abnegação peculiares.

À Edna, pelo sorriso e pela prestatividade constantes.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Agrícola (DEA), em especial, ao Fabiano, pelos desenhos; ao José Mauro e ao Juvercino, pelo auxílio nas tarefas diárias; e ao José Coelho, pelos momentos de descontração no cafezinho.

Aos amigos Sandra, Tito, Alberto e Flávio, pela inestimável acolhida.

Aos companheiros João Batista, Cláudia, Jacqueline e Vilma, pela convivência diária e fraterna.

Aos meus irmãos, pelo encorajamento nos momentos difíceis.

Aos meus pais, pelas palavras dóceis nas horas amargas.

À Ludmila, pela possibilidade de acreditar na vida.

BIOGRAFIA

Marco Aurélio de Mello Machado, filho de José Machado dos Reis e de Lenyrce Corrêa de Mello Machado, nasceu na Cidade de Formiga, MG. Coursou o 1º e o 2º graus no Colégio Santa Terezinha, na mesma cidade, concluindo-os em 1977 e 1980, respectivamente.

Em 1983, ingressou no Curso de Engenharia Agrícola na Escola Superior de Agricultura de Lavras (ESAL), formando em dezembro de 1988.

Em 1989, lecionou para o 2º grau na Cidade de Formiga, iniciando o Curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola, na Universidade Federal de Viçosa, no ano seguinte.

Em janeiro de 1993, foi contratado como professor e pesquisador pela Universidade do Tocantins (UNITINS).

CONTEUDO

	Página
LISTA DE QUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	xi
EXTRATO	xiii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISAO DE LITERATURA	3
2.1. A Influência do Clima na Produtividade das Culturas	3
2.2. Estudos sobre a Estação de Crescimento (EC) ..	6
2.3. Otimização das Táticas de Manejo Agrícola (" <i>Response Farming</i> ")	14
3. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.1. A Macrorregião Estudada - Critérios de Escolha	21
3.2. Análise de Agrupamento - Uma Proposta de Zoneamento Climático	22
3.3. Séries de Dados Climatológicos Utilizados	22
3.4. Determinação da Evapotranspiração Potencial (ETp)	24
3.4.1. O Método Combinado de Penman	26

3.4.2. O Método Baseado na Radiação (Makking Modificado)	27
3.5. Determinação da Evapotranspiração Real (ETr) .	28
3.5.1. O Coeficiente de Cultura (Kc)	28
3.6. O Programa Computacional - Cálculo de ETp, Etr e Kc	31
3.6.1. Datas de Início e Fim das Chuvas	31
3.6.2. A Estação de Crescimento (EC)	32
3.6.3. Distribuições de Frequência do Comprimento da EC	33
3.7. Produtividade de Milho e Demanda Evaporativa .	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1. Relações entre as Datas de Início das Chuvas e o Comprimento da Estação de Crescimento (EC) - Os Comprimentos da EC para Inícios Variáveis do Período Chuvoso	35
4.2. Análises das Séries de Precipitação e Demandas Evaporativas - A Chuva como Sinalizador de Épocas de Plantio	43
5. RESUMO E CONCLUSÕES	54
BIBLIOGRAFIA	55
APÊNDICE	60

LISTA DE QUADROS

	Página
1. Características das Estações Climatológicas Estudadas	25
2. Fases dos Estádios ao Longo do Ciclo das Culturas	31
3. Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Araçuaí, MG	37
4. Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Caratinga, MG	38
5. Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Frutal, MG	38
6. Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Governador Valadares, MG	40
7. Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Lavras, MG	40
8. Probabilidade de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Montes Claros, MG	41
9. Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso, para Teófilo Otoni, MG	42

10. Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Uberaba, MG	42
11. Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Viçosa, MG	44
12. Durações Médias dos Estádios Fenológicos da Cultura do Milho, para Nove Localidades do Estado de Minas Gerais	44
13. Valores Médios das Datas de Início ("I") e Fim ("F") do Período Chuvoso e Comprimentos Médios da EC, para Nove Localidades do Estado de Minas Gerais	45

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Mapa do Estado de Minas Gerais com a Subdivisão pelo Número Ótimo de Regiões Climaticamente Homogêneas	23
2. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Araçuaí, MG	46
3. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Caratinga, MG	46
4. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Governador Valadares, MG	47
5. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Lavras, MG	47
6. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Mocambinho, MG	48
7. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Montes Claros, MG	48
8. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Teófilo Otoni, MG	49
9. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Uberaba, MG	49

10. Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Viçosa, MG	50
1A. Diagrama de Blocos do Programa Computacional Utilizado para Cálculos de ETp, ETr, Kc e durações médias por estádio	61

EXTRATO

MACHADO, Marco Aurélio de Mello, M.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 1995. **Caracterização e Avaliação Climática da Estação de Crescimento de Cultivos Agrícolas para o Estado de Minas Gerais.** Professor Orientador: Gilberto Chohaku Sedyama. Professores Conselheiros: José Maria Nogueira da Costa e Hélio Alves Vieira.

Utilizou-se da metodologia e dos resultados de Análise de Agrupamento, apresentados por RIBEIRO (1983) e por ASPIAZU et alii (1990), para delimitação de regiões climaticamente homogêneas do Estado de Minas Gerais, por intermédio do estudo de Índices Meteorológicos.

As 10 regiões, consideradas neste estudo, foram analisadas quanto às suas demandas hídricas (respectivamente evapotranspiração potencial e real) e também pelo regime pluviométrico, para o estabelecimento de informações úteis aos produtores e àqueles que lidam com as tomadas de decisão no ambiente agrícola. Além disso, foram investigadas as relações entre as datas prováveis de início das chuvas e o comprimento da estação de crescimento de cultivos agrícolas, com especial destaque para a cultura do milho.

A utilização da metodologia foi satisfatória, além de terem sido vantajosos os critérios estabelecidos para definição de uma data de início das chuvas, embora com limitações.

Os resultados, ora obtidos, permitem ao técnico extensionista e ao administrador público, quando conjugados com informações do agricultor, estabelecer épocas propícias ao plantio de culturas, onde o risco de secas é minimizado, bem como maximizar o conjunto de operações ligados ao sistema de manejo.

1. INTRODUÇÃO

É comum observar, nas regiões tropicais, ocorrências de temperaturas elevadas, irradiâncias solares intensas e precipitações irregulares. Além da aleatoriedade, estes elementos climáticos têm influência, em maior ou menor grau, no crescimento e desenvolvimento de cultivos agrícolas.

Assim, é importante, para planejadores de sistemas de produção agrícola, o conhecimento do comportamento destes elementos climáticos, em cada localidade, para subsidiá-los na tarefa de otimização do aproveitamento destes recursos naturais e obtenção da máxima produção ao menor custo possível. Apesar da difícil tarefa de prognosticar o regime dos elementos climáticos, é importante que se avalie o seu comportamento porque, de alguma forma, eles são responsáveis pelas relações de causa e efeito do microclima, da distribuição, do crescimento e do desenvolvimento das plantas em todas as regiões do globo. Conhecendo-se o regime dos principais elementos climáticos, é possível ter

parâmetros balizadores e, a partir daí, traçar estratégias para o planejamento das atividades agrícolas.

O presente trabalho procura investigar as localidades fisiograficamente homogêneas do Estado de Minas Gerais, com o objetivo de estabelecer as datas mais adequadas para o plantio de culturas agrícolas, bem como a definição do comprimento da estação de crescimento, em função da quantidade e da distribuição das chuvas.

Procuram-se, também, obter respostas para auxiliar o produtor agrícola de Minas Gerais, orientando-o na definição de datas propícias ao início do plantio e, por extensão, das demais atividades de campo, baseadas em critérios técnicos, além de lançar à discussão o desenvolvimento de estudos agroclimatológicos, com vistas à predição do potencial de produção de culturas, em função de níveis de ocorrência de precipitação dentro do período chuvoso.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A Influência do Clima na Produtividade das Culturas

Quando se desejam relacionar o crescimento e o desenvolvimento de plantas com as condições atmosféricas, é necessário proceder às avaliações dos parâmetros climáticos envolvidos, que condicionam relações de causa e efeito entre as diferentes épocas de plantio e fases de frutificação e colheita dos produtos agrícolas (TUBELIS, 1988).

Segundo SANSIGOLO (1989), a principal causa das variações interanuais da produção agrícola é a variabilidade das precipitações, especialmente nos trópicos.

De maneira geral, as adversidades das condições climáticas e, conseqüentemente, da produção agrícola são, de acordo com HUFF e NEILL (1982), incontroláveis. Estas variações devem ser contabilizadas nas expectativas de produção de culturas, ou seja, há que se expressarem as relações espaço-temporais em termos probabilísticos, ou por meio de modelos agroclimáticos.

MICHALCZYK (1979) relata que observações climáticas dos últimos três séculos confirmam a existência de mudanças destas condições, o que é motivo de grande controvérsia.

VIANELLO e ALVES (1991) afirmam que a possibilidade de melhor adaptar 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. Os mesmos autores acrescentam que, no momento, muito pouco se pode dizer acerca da previsão de futuras mudanças climáticas e que os ecossistemas atuais estão muito bem adaptados às condições do passado, sendo, portanto, mais sensíveis a virtuais mudanças. Por esta razão, as previsões climáticas tem que ser feitas, por meio de modelos probabilísticos, que são baseados em observações de longas séries de dados.

Essas observações podem ser feitas por análises quantitativas de períodos acumulados e arbitrários (cinco, sete, ou 10 dias), estimando as quantidades de chuvas, esperadas para um determinado nível de probabilidade, ou então, por meio do ajuste de uma distribuição. Para a primeira, pode ser adicionada uma análise quanto ao risco de seqüências de dias secos e, ou, chuvosos, com os cálculos feitos, tomando-se o maior valor no período de interesse.

Entretanto, a correta avaliação das flutuações climáticas de curto prazo (de um a cinco anos) é condição necessária, não somente para uma determinação dos efeitos induzidos pelo clima sobre a produção de culturas, mas também pela consideração de estratégias técnicas de manejo

de sistemas agrícolas e político-econômicas, como o crédito e o custeio.

TICE e CLOUSER (1982) afirmam que o produtor pode aumentar sua renda líquida de 9% a 14%, quando se utiliza a programação estocástica discreta. Comentam que os rendimentos médios dos produtores da região Centro-Oeste do Estado de Indiana, EUA, aumentaram com a utilização desta técnica, com base no conhecimento das ocorrências de irregularidades climáticas do passado.

Analisar os eventos climáticos estocasticamente, ou seja, baseados numa distribuição de probabilidade matemática, é importante também na predição de safras de culturas. Técnicas de programações estocásticas discretas, que incorporam a probabilidade de ocorrência de determinado evento e as funções de resposta na produção, podem ser usadas para determinar, por exemplo, o nível de fertilização ótima, quando e quanto irrigar e inclusive o número de horas trabalháveis com máquinas agrícolas.

Segundo KEATING et alii (1991), a precipitação, ou sua falta, exerce uma influência dominante sobre o consumo de nitrogênio (N) dos sistemas de produção de cereais nas regiões semi-áridas. O suprimento de nitrogênio a uma cultura depende dos seus estádios de desenvolvimento, os quais são fortemente influenciados pelo clima e pelo manejo, que incluem a densidade de plantas, a época de aplicação do fertilizante e a data de início das chuvas.

Os mesmos autores argumentam que a variação sazonal no regime de umidade do solo causa alterações substanciais nas taxas de mineralização da matéria orgânica e que o N

pode ser perdido do sistema solo-cultura pela volatilização da amônia e lixiviação, ou ficar temporariamente indisponível à cultura por imobilização. O N não-utilizado, durante a estação de crescimento da cultura, pode ter valor residual substancial para a estação subsequente.

Embora a variabilidade dos elementos meteorológicos seja um dos fatores que mais afetam a produção de culturas, ela não tem sido um tópico para acuradas pesquisas. Os métodos de análise têm mudado de descritivo a estocástico e deste a determinístico.

De acordo com ANGUS (1991), a principal deficiência das análises, baseadas apenas em precipitação, é que a produção de uma planta está diretamente relacionada com o uso da água e, em menor escala, com o seu suprimento. Entretanto, o mesmo autor afirma que modelos, testados em diversos ambientes, têm sugerido que os impedimentos à produção estão mais relacionados com o manejo e menos com o ambiente, ao contrário do que se acreditava.

Esses modelos, que correlacionam tempo e manejo, captam feições essenciais da teoria da incerteza, implícita à natureza do empreendimento agrícola e podem, dessa forma, ser capazes de estabelecer estratégias de manejo, maximizando os objetivos dos produtores numa economia de mercado.

2.2. Estudos sobre a Estação de Crescimento (EC)

Segundo RITCHIE (1991), a taxa de crescimento e a duração do ciclo de vida de um vegetal são parâmetros,

igualmente importantes na modelagem da produção de culturas. As mais altas produções de uma cultura anual sem estresse são obtidas, onde as temperaturas menos quentes maximizam a duração do crescimento. Nos trópicos, onde as temperaturas são relativamente mais elevadas, os níveis de produção potencial podem também alcançar os de regiões de temperaturas mais frias, somente pela combinação de produções de duas, ou mais culturas em seqüência, tanto que a duração dos períodos de crescimento total é, aproximadamente, o mesmo em ambas as regiões. Ainda, segundo esse mesmo autor, quando a temperatura está dentro de um intervalo para crescimento ótimo, a taxa potencial de crescimento de biomassa é relativamente constante tanto espacial quanto temporalmente, exceto onde os níveis de radiação são baixos. Ao contrário, a duração do crescimento é variável no espaço e no tempo e a modelagem do ciclo vegetativo é crítica no intuito de predizer a produtividade potencial da cultura.

Os estudos dos efeitos climáticos sobre plantas e animais estão, hoje, diretamente voltados para os questionamentos sobre como se deve usar o conhecimento científico, em uma ajuda possível aos produtores nas suas tomadas de decisão econômica.

De acordo com ANGUS (1991), técnicas de pesquisa, envolvendo simulações, são cada vez mais aplicáveis ao produtor rural e que estes modelos devem priorizar a variabilidade, dentro das estações que, sob certas condições, podem ser tão grandes quanto as variabilidades entre-estações.

Em anos recentes, alguns modelos têm sido usados para especificar estratégias e táticas ótimas de longo prazo, que poderiam auxiliar os produtores. Uma possível e desejável consequência da melhoria do manejo dessas táticas poderia ser um aumento real da produção.

As estimativas da produção e suas variabilidades, feitas com modelos de simulação, têm sido mais precisas do que aquelas feitas com métodos mais simplificados. Estudos de diversos sistemas de produção têm mostrado que, em algumas regiões, quando as produções reais são comparadas com um potencial estimado, os fatores de manejo limitam a produção a um nível bem abaixo do que os mais relacionados com o manejo e menos com o ambiente.

HUTCHINSON (1991) acrescenta que a simulação da variabilidade de produção de culturas depende, especialmente em regiões semi-áridas, do sucesso da simulação da variabilidade temporal da precipitação, sob enfoques de curto e longo prazos.

LIU e LIU (1983) comentam que, para o melhor planejamento da produção agrícola de culturas de sequeiro, é importante minimizar o risco provocado pela seca. A indicação da melhor época de plantio pode diminuir esse risco e permitir melhor utilização da chuva, durante o ciclo fenológico da cultura.

SILVA et alii (1987) afirmam que a ocorrência das fases fenológicas do milho é geralmente avaliada pelo número de dias do calendário que, por ser um critério impreciso, tem sido substituído pelos sistemas de graus-dia acumulados, representando a interação entre temperatura do ar e

desenvolvimento de plantas, muito embora tenham sido observadas variações nas exigências de graus-dia, necessárias para a ocorrência de uma determinada fase fenológica para um mesmo cultivar de milho.

SOUZA et alii (1991) analisou o calendário de cultivo de arroz irrigado na EC de Dourados - MS, para três cultivares, estabelecido com base nas suas exigências térmicas, para que esses completassem suas fases fenológicas. Esta análise foi baseada na distribuição e na quantificação da precipitação pluvial na semana anterior às datas de plantio, permitindo a recomendação de épocas de plantio que proporcionem menores riscos de perda total da cultura, ou diminuição da produção final.

SOUZA (1989) analisou as curvas de precipitação pluvial média decenal e de evapotranspiração potencial (ETp), para determinação das estações de crescimento e suprimento hídrico-térmico para a cultura do feijão, em quatro localidades do Estado de Minas Gerais, obtendo as respectivas estações de crescimento e elaborando um calendário de cultivo para o feijoeiro naquelas localidades, baseado nas exigências térmicas dos cultivares, para que completassem seus ciclos e na distribuição das precipitações, durante as fases fenológicas da cultura.

SOUZA et alii (1991) determinaram a EC da microrregião de Palmeira dos Índios, AL, baseada na análise das curvas médias da precipitação pluvial e da ETp. Dentro dessa EC, estimou-se a necessidade hídrica da cultura do feijão, por meio dos coeficientes de cultura. Estas exigências hídricas, como também a distribuição média das

chuvas sobre fases fenológicas desta cultura, serviram para uma análise de épocas de plantio na região em estudo.

RODRIGUES et alii (1991) simularam épocas de plantio do feijão macassar (*Vigna unguiculata* (L) WALP), em diferentes microrregiões da Paraíba, com vistas à identificação dos períodos potenciais de maior produtividade. Foram usados temperaturas mensais, séries de precipitação diária, balanço hídrico decendial e seriado de Thornthwaite e Mather de 1955, considerando-se dois parâmetros: a distribuição da freqüência da precipitação decendial e a freqüência da água disponível no solo. Os resultados evidenciam que o método de análise de freqüências decendiais da água disponível no solo apresenta maior confiabilidade do que o que considera apenas a distribuição da chuva decendial.

FIDELES FILHO et alii (1991) relatam que nas culturas de sistema radicular pouco profundo, mesmo a deficiência de água de menor duração é capaz de frustrar parcial, ou totalmente, a produção. Esta observação foi também verificada por ROJAS (1987), por meio da análise de freqüência de chuvas, em relação à ETp e às necessidades hídricas de cada fase fenológica das culturas de algodão, arroz, milho e amendoim, o que possibilitou determinar a época de plantio mais adequada, admitindo que certas fases necessitam de água abundante e outras, ao contrário, como a maturação (algodão, amendoim) não suportam chuvas fortes. Carmona e Radulovich, citados pelo mesmo autor, estudaram a escassez de água durante a estação chuvosa, simulando a severidade dos veranicos, visando enfrentar os períodos de

maior déficit hídrico e determinar a época de plantio mais apropriada para o cultivo de algodão, na região de Araruna, PB.

LACERDA et alii (1989) determinaram o início e a duração da EC em três localidades da Paraíba, estimando valores da umidade diária do solo para um período de 30 anos, com base em dados de precipitação diária e temperaturas médias mensais. Os autores obtiveram também as probabilidades iniciais e condicionais da Cadeia de Markov de primeira ordem para todos os decêndios do ano, que foram então utilizadas com o objetivo de avaliar o melhor momento para a semeadura e, também, a duração da EC.

SILVA et alii (1989), ao estudarem o início e a duração da EC mais prováveis para São Gonçalo, PB, num período de 38 anos, a partir de dados de temperaturas médias mensais e precipitações diárias, determinaram o balanço hídrico mensal seriado de Thornthwaite e Mather e o armazenamento diário de umidade no solo, em períodos de cinco dias, verificando-se a correlação entre o início e a duração da EC.

NEILD et alii (1987) comentam que, diferentemente dos produtores que utilizam a irrigação, os que não fazem uso desta técnica de manejo têm poucas opções para tomar as decisões corretas e em tempo hábil, relativamente ao suprimento de umidade, após as culturas terem sido plantadas. Em áreas com uma estação seca bem distinta, como o Norte de Minas Gerais, a data na qual a chuva começa é um importante parâmetro agroclimatológico.

SIVAKUMAR (1988) analisou dados diários de precipitação para 58 localidades no Sul de Sahel (porção do Nordeste ocidental da África), e mostrou que existe uma relação significativa entre a data de início das chuvas e o comprimento da EC. Dois aspectos, relacionados pelo autor, justificam um trabalho de tal envergadura e podem, "a priori", ser transpostos para as condições brasileiras, quais sejam:

- a distribuição da precipitação é caracterizada por um pico único, ou seja, é unimodal; e

- quando a estação chuvosa avança dentro do mês de julho no Oeste da África (semelhantemente ao mês de dezembro no Brasil), existe um aumento regular na frequência e na quantidade de precipitação (P), que vai exceder a demanda evaporativa potencial da cultura de referência (ET_o). Distribuições mensais de P/ET_o podem auxiliar na compreensão destas afirmativas.

O mesmo SIVAKUMAR (1988) testou, para a mesma região, dois tipos de tratamentos (início precoce e tardio do período chuvoso), comparando ambos na produção de matéria seca de milho (*Pennisetum glaucum* (L) R. Br.). O autor combinou estas informações com dados de perfis de água no solo e concluiu que, no tratamento de início precoce do período chuvoso, o perfil de água no solo permitia o cultivo de uma outra cultura, no caso, o caupi, *Vigna unguiculata* (L) Walp., o que tornava mais eficiente a exploração da umidade do solo.

STEWART e HASH (1982) apresentam um estudo de caso, em que são analisadas a precipitação efetiva, ou a

evapotranspiração real, adotadas no trabalho como sinônimos, para a adequabilidade da cultura do milho, em 48 estações chuvosas de 24 anos de registros, para a região semi-árida do Kênia, com distribuição de chuva anual bimodal. As análises correlacionam vários fatores climáticos, parâmetros físicos do solo e características da cultura. Os autores concluíram que os dados de início das chuvas, naquela região, podem ser classificados em períodos denominados precoce, tardio e muito tardio, os quais têm ditado as taxas de semeadura e fertilização.

No entanto, a definição de uma data para início da estação chuvosa, bem como para seu fim, não tem caráter determinístico, em razão da natureza intermitente e irregular das precipitações. Um dos critérios para a definição do início da estação chuvosa seria, segundo SANSIGOLO (1989), adotar-se aquele dia I (início), que tem a primeira ocorrência de uma quantidade mínima de altura de chuva, totalizada sobre "n" dias consecutivos, desde que não ocorram seqüências de um número predeterminado de dias secos nos "n" dias subsequentes ao dia I. Já para o fim da estação chuvosa, o critério seria adotar a primeira ocorrência de uma longa seqüência de dias secos após uma data específica "F" (final) qualquer. Outra alternativa, mais complexa e mais realista do ponto de vista agrícola, seria incluir o armazenamento de água no solo e as taxas de evaporação calculadas, por meio de um balanço hídrico diário do solo com o final das chuvas, definido como a primeira data, após F, quando o balanço é zero.

Frére e Popov, citados por SOUZA (1989), propuseram também outro critério, segundo o qual o início da EC corresponde ao dia, em que a precipitação média torna-se igual, ou superior, à metade da ETp. Ainda, segundo esses mesmos autores, o fim da EC verifica-se, quando a precipitação média torna-se menor que a metade da ETp mais o intervalo de tempo, exigido para a retirada da lâmina de água correspondente à capacidade de armazenamento do solo.

Assim, as táticas de manejo de culturas em determinadas regiões podem ser orientadas para serem alteradas, dependendo do início das chuvas. De maneira geral, a literatura cita que se as chuvas começam precocemente em uma dada localidade, em relação a uma data média, seria mais seguro usar cultivares de ciclo médio de estação. Se as chuvas atrasam alguns poucos dias além desta média, cultivares precoces, ou até mesmo outras culturas, teriam maior viabilidade de alcançarem uma produção satisfatória. Além disso, em termos de planejamento, assinalam a necessidade de ações públicas rápidas e eficazes, uma vez que cultivares tradicionais e melhorados, de ciclo médio, são tidos como sendo de baixa produção, ou rendimento, embora isto não deva ser tomado como regra geral.

2.3. Otimização das Táticas de Manejo Agrícola (*"Response Farming"*)

Duckhan, citado por MATHER (1974), em uma discussão sobre tomada de decisão em agricultura, lista algumas das

informações básicas, necessárias para quantificar as relações entre eventos meteorológicos, seus efeitos sobre plantas e animais e as conseqüências econômico-sociais dessas.

Modelos têm sido usados para especificar estratégias e táticas ótimas. A função desses modelos é o de validar práticas de longo prazo que são mais bem adaptadas ao ambiente local, ou seja, auxiliar produtores a obter vantagens das estações favoráveis, quando estas aparecem, e evitar gastos e prejuízos nas estações desfavoráveis.

"Response Farming" (RF), que se originou no Leste do Kênia em 1980, é um destes modelos que faz a identificação e a quantificação da variabilidade e a imprevisibilidade da precipitação sazonal. Em cada local, uma predição do comportamento da precipitação esperada é feita no início de cada estação, baseada numa data de início, definida para o cultivo. Um número de relações entre o início da EC e os parâmetros de precipitação tais como quantidade precipitada, duração, freqüência, taxa média diária etc. são determinados por análises dos registros históricos. A formulação da resposta depende de uma avaliação do risco inerente.

Segundo STEWART (1990), desde 1984, a pesquisa sobre RF tem alcançado um largo emprego em várias partes do mundo, com relatos de trabalhos em Rwanda, Marrocos, Chipre, Jordânia, Califórnia, Nepal, Índia, Nigéria, Mali, Senegal, Burkina Faso e Sri Lanka. A variabilidade da precipitação sazonal e seus problemas correlatos formam a maior fonte de riscos na produção de culturas nos trópicos semi-áridos e subtropicais. Esta variabilidade alcança, de acordo com o

mesmo autor, magnitudes de, aproximadamente, 1/3 a mais que duas vezes a média de longo prazo. Dados e serviços meteorológicos podem ser usados também no delineamento quantitativo de decisões que envolvem irrigação. HASHEMI e DECKER (1969) relatam que dados climatológicos e níveis de probabilidade de precipitação foram adaptados a um uso quantitativo na esquematização da irrigação de milho na região central do Estado de Missouri, EUA. Os resultados foram sensíveis reduções no consumo de água para irrigação. Estas informações têm sido usadas qualitativamente no estabelecimento, ou no manejo de atividades agrícolas, mas existem poucos exemplos de decisões, baseadas em estimativas numéricas.

A incerteza com respeito às expectativas de precipitação é diminuída, quando a informação é disponível, relacionando a possível variabilidade e as freqüências de ocorrências históricas. A questão que se coloca é de que forma estas informações poderiam servir ao produtor nos seus processos de tomada de decisão. As análises de probabilidade convencionais levam o produtor a tomar um conjunto único de decisões e, portanto, as mesmas ações a cada estação.

Em RF, o produtor combina sua experiência pessoal de observações periódicas e freqüentes e correlaciona o comportamento da precipitação sazonal com a data de início do período chuvoso. O intuito é reduzir o potencial de variabilidade, associado com uma data de início, e remover então uma considerável medida de incerteza sobre a estação que ora começa.

Objetiva-se, assim, maximizar a produção de culturas com um máximo retorno por unidade de precipitação recebida, além da identificação de novas culturas e da quantificação do risco e do desenvolvimento de critérios de predição da precipitação sazonal. As análises e as interpretações são, portanto, baseadas em registros de precipitação e são específicas para o sistema de cultivo em estudo.

A metodologia de RF designa a data de início da EC como a variável-chave, na qual todas as outras estão relacionadas. Segundo o mesmo STEWART (1990), em agricultura de sequeiro, a EC depende da época em que as chuvas efetivamente começam. Estações de chuva com início precoce são diferentes nas características e, geralmente, superiores na produção de culturas, em relação às estações de início tardio. O conceito de início em RF refere-se ao primeiro registro no tempo em que, assumindo "run-off" e perdas por interceptação iguais a zero, as novas chuvas tenham umedecido suficientemente o solo, a fim de garantir a germinação de uma cultura, mais uma quantidade de água que, quando combinada com uma precipitação a um nível selecionado de risco, preencherá as exigências hídricas da cultura até a iniciação do crescimento vegetativo. Em outras palavras, este início poderia assegurar adequadas condições hídricas para o amplo estabelecimento da cultura.

Os critérios, usados para determinar a data de início em RF, podem diferir em diferentes análises, em virtude de mudanças no tipo de cultura, características do solo, comportamento histórico da precipitação pré e pós-início, níveis de evaporação etc. Os processos evaporativos devem

ser considerados em todos os casos, porque são fatores incontroláveis. Os princípios para os critérios de determinação do início devem incluir a simplicidade e os objetivos do estudo.

Todos os parâmetros da precipitação, que possuem maiores riscos na produção de culturas e que formam relações com a data de início, têm que ser analisados, incluindo a precipitação sazonal total, sua duração, imediatos períodos secos logo após o início, períodos secos no meio da estação, data de fim da estação e fatores tais como quantidade de precipitação diária excessiva e períodos extremamente úmidos.

STEWART (1990) mostra que a data de início é um preditor útil da precipitação efetiva e desenvolveu recomendações pormenorizadas de RF para a produção de milho em Katumani, Kênia. STEWART e HASH (1982) fortaleceram estas recomendações com uma avaliação econômica.

Os danos envolvidos no procedimento comum do uso das análises de probabilidade convencionais, que não consideram a data de início para determinada probabilidade de chuva, após o início, são ilustrados por Ramana Rao, citado por STEWART (1990), que indica para Anand, em Gujarat, Índia, que anos, em que as estações de crescimento começam tardiamente, tendem, por sua vez, a terminar precocemente e são, portanto, muito menores do que as estações que começam mais cedo.

No entanto, a pesquisa tem mostrado que as datas de início, ou parâmetros, tais como frequência de precipitação, quantidade média de chuva por dia e comprimento dos

períodos secos dentro da estação, podem mudar de período a período. O mesmo autor tem manifestado que desde 1971, as relações do início do período chuvoso em Niamey e Bouza e em Niamey, Nigéria, estão, marcadamente, diferentes daquelas verificadas de 1954 a 1970 e em 1918, 1948 e 1968, respectivamente.

McCOWN et alii (1991) afirmam que a eficiência, com que a terra, o capital e o trabalho são usados na produção de culturas nos climas semi-áridos, é reduzida pela alta probabilidade de que a oportunidade de uma produção satisfatória, fornecida pela precipitação, não venha a suprir a produção potencial pela melhoria na seleção de cultivares, a população de plantas e o estado de fertilidade do solo. Em anos secos não-esperados, os insumos não são totalmente utilizados pela cultura, o que normalmente exacerba os défices hídricos. Em anos com bom suprimento hídrico, também não-esperados, as oportunidades para altos retornos ficam dimiuídas. Sem a capacidade de predizer a natureza da estação chuvosa, o benefício econômico na produção será sempre bem menor do que nas Estações de Crescimento (EC) confiáveis. Dessa forma, o RF fornecerá ao produtor uma previsão do potencial da EC, a tempo de influenciar nas suas decisões de manejo e um conjunto de recomendações e alternativas.

Fundamental na derivação de uma previsão em RF são as relações entre a relativa precocidade de uma estação chuvosa e os determinantes de seu potencial para suportar uma produção agrícola, isto é, o comprimento da estação e a quantidade de precipitação recebida. Correlações positivas

têm sido relatadas para um grande número de localidades tropicais e mediterrâneas. A razão aparente para esta relação é que, nestes casos, a data, em que cessam as chuvas, é menos variável do que a data, em que iniciam, fazendo a duração da EC dependente, principalmente, deste último, muito embora possa haver localidades com comportamento totalmente distinto.

Em RF, o comprimento de um período precoce é otimizado, isto é, ele é feito tão longo quanto possível, mas precoce o suficiente para não afetar, seriamente, a eficácia dos ajustes de demanda hídrica das culturas e dos potenciais de produção.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. A Macrorregião Estudada - Critérios de Escolha

Optou-se pelo estudo do Estado de Minas Gerais, situado na região Sudeste do País, entre os paralelos de $14^{\circ} 13' S$ e $22^{\circ} 55' S$ de latitude Sul e os meridianos de $39^{\circ} 51' W$ e $51^{\circ} 02' W$ (MINAS GERAIS, 1990).

No conjunto das unidades da Federação, o estado apresenta as mais expressivas elevações geográficas, sendo constituído de cerca de 9% de terras altas (acima de 1.000 m) e somente 4%, de terras baixas (abaixo de 200 m). No que tange à vegetação, são identificados os seguintes tipos: floresta úmida costeira, floresta seca, floresta subtropical mista, cerrado e campo, o que confirma a larga variedade de tipos climáticos ali existentes (MINAS GERAIS, 1990).

Pelo seu excessivo tamanho, e, por conseguinte, de variados tipos climáticos, foi necessária sua divisão em regiões, climaticamente, homogêneas que melhor representassem o conteúdo do estado. Assim, utilizou-se de

uma metodologia para a determinação dessas regiões, levando em consideração, apenas, elementos climáticos tais como temperatura e umidade relativa. Esta metodologia é a que se apresenta a seguir.

3.2. Análise de Agrupamento - Uma Proposta de Zoneamento Climático

Várias foram as técnicas, já formuladas, para fins de elaboração de zoneamentos climáticos. No entanto, a pesquisa tende sempre a exigir novas metodologias que visem assegurar resultados mais abrangentes e confiáveis. Na delimitação das 10 regiões, climaticamente, homogêneas dentro do Estado de Minas Gerais, foram adotados a metodologia e os resultados, presentes em RIBEIRO (1983) e SPIAZU et alii (1990), conforme a Figura 1.

Os resultados finais da aplicação dessa metodologia têm apenas caráter geral, assemelhando-se às classificações climáticas convencionais. Vianello, 1992 (Comunicação pessoal) acrescenta que, a cada nova proposta metodológica deste porte, deve-se sempre proceder a uma análise comparativa com outras propostas de classificação climática, já estabelecidas, como, por exemplo, a de Köppen.

3.3. Séries de Dados Climatológicos Utilizados

Após a escolha do mapa do Estado com 10 grupos, ou regiões, climaticamente homogêneas, passou-se ao seleciona-



FONTE: RIBEIRO (1983) e ASPIAZU et alii (1990).

FIGURA 1 - Mapa do Estado de Minas Gerais com a Subdivisão pelo Número Ótimo de Regiões Climaticamente Homogêneas.

mento das Estações Climatológicas, que representariam cada região. Os dados dessas estações, à exceção de Lavras e de Viçosa, foram obtidos junto ao 5º Distrito Meteorológico (5º DISME) do INMET, sediado em Belo Horizonte. As escolhas por estas cidades deram-se, em função da confiabilidade, maior número de anos de registros e, principalmente, da representatividade delas no contexto regional. Foram analisados dados pentadais para todas as estações mencionadas, à exceção de Viçosa e Lavras, cujas informações foram diárias. As características gerais de cada uma dessas estações encontram-se listadas no Quadro 1.

Dada a natureza deste trabalho, não foi feita nenhuma análise de ajuste, ou preenchimento de falhas nos registros históricos. Uma vez verificada alguma discrepância, o dado era sumariamente eliminado.

3.4. Determinação da Evapotranspiração Potencial (ETp)

A literatura cita inúmeros métodos para a determinação da Evapotranspiração Potencial (ETp). No presente trabalho, optou-se pela escolha de dois métodos na estimativa da ETp. O primeiro, o método combinado de Penman, descrito por SEDIYAMA (1987). O segundo, o método baseado na radiação, ou também intitulado método modificado de Makking, descrito por DOORENBOS e PRUITT (1977). Este segundo método, de formulação menos complexa, foi utilizado quando os dados disponíveis de determinada localidade não eram suficientes para a determinação, conforme o método original de Penman.

QUADRO 1 - Características das Estações Climatológicas Estudadas

Nome	Zona Geográfica	Latitude (S)	Longitude (W)	Altitude (m)	Número de anos
Araçuaí	Médio Jequitinhonha	16°51'	42°04'	284	27
Caratinga	Rio Doce	19°48'	42°09'	610	27
Frutal	Triângulo	20°02'	48°56'	544	27
Governador Valadares	Rio Doce	18°51'	41°56'	277	30
Lavras	Sul	21°14'	45°00'	919	12
Mocambinho	Alto-Médio	15°03'	44°01'	452	15
Montes Claros	Montes Claros	16°43'	43°52'	646	25
Teófilo Otoni	Mucuri	17°51'	41°31'	356	29
Uberaba	Triângulo	19°46'	47°56'	743	30
Viçosa	Mata	21°45'	42°51'	690	66

FONTE: ANUÁRIO ESTATÍSTICO DE MG, 1989.

3.4.1. O Método Combinado de Penman

Embora muitas formulações empíricas sejam usadas para estimar a ETP, somente a equação de Penman tem um embasamento físico. Penman inicialmente combinou o balanço de energia com equações de transferência de vapor para determinar a evaporação de uma superfície úmida. Segundo PERRIER e SALKINI (1991), uma das formas de derivar a equação de Penman é por meio do balanço de energia.

A expressão final de Penman é:

$$ET = [\Delta \cdot (R_n - G) + \gamma (e_o - e_a) \cdot f(U_2)] / (\Delta + \gamma) \quad \text{eq. 3.1}$$

em que

Δ = Declividade da curva de pressão de saturação de vapor e a temperatura correspondente, mb. $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

e_o = Pressão de saturação de vapor à temperatura do ar, em uma superfície de água livre, mb.

e_a = Pressão real de vapor de água à temperatura do ponto de orvalho, mb.

$$f(U_2) = 0,35 \cdot (0,50 + U_2/160) \quad \text{eq. 3.2}$$

Para a velocidade do vento em km.dia $^{-1}$, medida à altura de dois metros acima da superfície.

R_n = Saldo de radiação, à superfície, cal.cm $^{-2}$.

G = Fluxo de calor sensível no solo, cal.cm $^{-2}$

γ = Constante psicrométrica = $(C_p \cdot P) / (U \cdot L)$ eq. 3.3

C_p = Calor específico do ar à pressão constante = 0,242 cal.g $^{-1}$. $^{\circ}\text{C}^{-1}$.

P = Pressão atmosférica, mb.

U = Relação entre o peso molecular da água em relação ao do ar = 0,622.

L = Calor latente de vaporização da água, 590 cal.g⁻¹.

Importante ressaltar que Penman ignorou o fluxo de calor no solo, G , uma vez que este é apenas uma pequena fração de R_n , quando a umidade do solo não é limitante. Entretanto, mesmo sendo a medida de G não-fundamental, ela está incluída na equação acima. Cite-se que outros autores, como Monteith (1963, 1964), citado por ROSENBERG (1983), ajustaram a equação no intuito de contabilizar as resistências aerodinâmica e estomatal da planta, muito embora não sejam aqui mencionadas, uma vez que o uso do modelo de Monteith-Penman tem escassos relatos de uso na pesquisa.

3.4.2. O Método Baseado na Radiação (Makking Modificado)

Inicialmente, proposto em 1957 por Makking, citado por ROSENBERG (1983), este método emprega, por meio de regressão, a seguinte formulação para estimativa da ETp, em mm.dia⁻¹, utilizando-se de medidas de irradiância solar:

$$ETp = (R_s \cdot \Delta / (\Delta + \gamma)) + 0,12 \quad \text{eq. 3.4}$$

em que o termo energético R_g é convertido em equivalentes unidades de água evaporada. De acordo com os mesmos autores, a equação original de Makking tem dado bons resultados em locais com clima frio e úmido, mas não muito satisfatórios em regiões áridas.

Este método foi adaptado por DOORENBOS e PRUITT (1977), que recomendam sua utilização para regiões, onde os dados climáticos medidos incluam a temperatura do ar e a insolação, ou a radiação, mesmo estando ausentes anotações de velocidade do vento e umidade relativa do ar. Mas, segundo Doorenbos e Pruitt, citados por COSTA (1991), os conhecimentos de níveis gerais de umidade e vento são necessários e podem ser obtidos do mesmo período de anos anteriores na mesma região, ou de extrapolações de áreas relativamente próximas. Cita o mesmo autor que esse método assume, em condições extremas, no verão, um erro máximo de 20%.

Na adaptação proposta pela Food and Agriculture Organization (FAO), a constante 0,12 é substituída por um termo de ajustamento, dependente da umidade relativa média e das condições de vento, durante o dia. Ali, esse termo é utilizado de maneira indireta, isto é, procura-se num ábaco o valor do produto $R_s \cdot (\Delta / (\Delta + \gamma))$ e, de acordo com as condições predominantes de vento e umidade, extrai-se o valor da E_{Tp} desse mesmo ábaco. Quando há a necessidade de cálculos computacionais, há que se fazer a transformação das informações, contidas no ábaco em equações matemáticas.

3.5. Determinação da Evapotranspiração Real (E_{Tr})

3.5.1. O Coeficiente de Cultura (K_c)

A E_{Tr} resulta quando há um suprimento inadequado de água, o que irá ocasionar uma redução da disponibilidade

hídrica à planta. A quantidade de água realmente evapotranspirada, por uma cultura (ETr), é, na maioria das vezes menor, e, em algumas poucas ocasiões, igual à quantidade de água, que poderia estar sendo, potencialmente, evapotranspirada (ETp). Estas diferenças parecem estar relacionadas com as resistências às difusões externa e interna da água na planta.

A relação ETr/ETp pode ser expressa como uma função do potencial da água no solo e tem sido usada como um índice do suprimento de água, em relação à demanda.

COSTA (1991) cita que alguns estudos mostraram ser esta relação, aproximadamente, constante para mesma cultura numa mesma fase de seu ciclo. JENSEN (1973) definiu esta razão como sendo coeficiente de cultura:

$$Kc = ETr/ETp \quad \text{eq. 3.5}$$

Esta relação é afetada, segundo DOORENBOS e PRUITT (1977), principalmente, pelas características da cultura, seu estágio de crescimento, comprimento do ciclo e condições climatológicas. COSTA (1991) afirma que a época de plantio afeta o Kc de maneira indireta, pois tem influência no ciclo da cultura e na sua taxa de crescimento. Mesmo dentro do ciclo da cultura, segundo afirma MOTA (1986), a duração do dia, ou fotoperíodo, irá atuar, reduzindo, ou prolongando o ciclo da planta sobre sua composição química, formação de bulbos, tubérculos, raízes carnosas, atividade e repouso vegetativo, tipo de flores e resistência ao frio.

Assim, os Kcs devem ser determinados para cada cultura, em cada fase de seu ciclo, em cada época de

plantio e em cada região. COSTA (1991) cita que, apesar da existência de algumas fórmulas e gráficos para sua determinação, a melhor e mais confiável maneira de determiná-los é, ainda, experimentalmente, no campo.

Neste trabalho, utilizou-se da metodologia proposta por COELHO (1978) e COSTA (1991), em que o primeiro comparou vários métodos que inter-relacionavam a temperatura do ar com o comprimento do ciclo do milho, por meio da utilização de conceitos como os de graus-dia, função temperatura (FT) e outros. A função temperatura mostrou-se como tendo o melhor comportamento e pode, resumidamente, ser, assim, descrita após a divisão do ciclo da cultura em quatro estádios (I, II, III e IV), conforme o Quadro 2, passa-se, então, a determinar o comprimento de cada estádio e relacioná-lo com a temperatura do período de duração deste intervalo. Em função da temperatura média diária, cada dia recebe um valor de FT correspondente, o qual é calculado, por meio das seguintes equações, de acordo com a faixa de temperatura:

$$\begin{array}{ll} FT = 0,0266T - 0,1596 & , \quad 6 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < 21 \text{ }^{\circ}\text{C}; & \text{eq. 3.6} \\ FT = 0,0857T - 1,399 & , \quad 21 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < 28 \text{ }^{\circ}\text{C}; & \text{eq. 3.7} \\ FT = 1,0000 & , \quad 28 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < 32 \text{ }^{\circ}\text{C}; & \text{eq. 3.8} \\ FT = - 0,0833T + 3,67 & , \quad 32 \text{ }^{\circ}\text{C} < T < 44 \text{ }^{\circ}\text{C} & \text{eq. 3.9} \end{array}$$

Os valores de FT são então acumulados, diariamente, até o final de cada estádio e, sucessivamente, até o último, os quais fornecem a duração do ciclo total da cultura.

Dos totais de FT acumulados e dos valores da temperatura média de cada período analisado, obtiveram-se, assim, os dados dos Kcs.

QUADRO 2 - Fases dos Estádios ao Longo do Ciclo das Culturas

FASES	ESTADIOS
I	da emergência até 10% do desenvolvimento vegetativo
II	de 10% do desenv. vegetativo até a floração
III	da floração à maturação
IV	da maturação à colheita

3.6. O Programa Computacional - Cálculo de ETP, ETr e Kc

Para o cálculo dos valores de ETP, ETr e Kc, foi desenvolvido um programa computacional em linguagem Pascal, desenvolvido com o intuito de ser utilizado, especificamente, neste trabalho. Estes cálculos foram feitos para determinados períodos do ano, em função das coordenadas geográficas do local e principalmente, de dados meteorológicos. Empregou-se como compilador a versão 5.5 Turbo-Pascal. Uma visualização mais pormenorizada deste programa pode ser vista no Apêndice, onde se esquematiza o diagrama de blocos do mesmo.

3.6.1. Datas de Início e Fim das Chuvas

Neste trabalho, coerente com os princípios que norteiam a escolha do início da EC, quais sejam a simplicidade e a praticidade, determinou-se como o início (I) a data após 10 de setembro, quando a precipitação, acumulada em três dias consecutivos, alcança, no mínimo,

20 mm, desde que não haja a ocorrência de um período seco, nos 30 dias seguintes, que exceda sete dias consecutivos, uma vez que as necessidades hídricas das plantas podem, em períodos de até 10 dias, ser, normalmente, satisfeitas pela água armazenada no solo.

Já para o fim (F) do período chuvoso, escolheu-se a data após 1º de março, na qual não ocorre chuva num período de 20 dias, tempo suficiente para que o produtor tome suas decisões sobre colheita, armazenagem e comercialização. Foi considerado como chuva, para todos os efeitos, a altura de água precipitada de, pelo menos, 1 mm.

3.6.2. A Estação de Crescimento (EC)

Fundamental na derivação de previsões em RF são as relações empíricas entre uma possível precocidade de uma estação chuvosa e o seu potencial para suportar uma produção agrícola, ou seja, o comprimento em dias da estação e a quantidade de precipitação recebida. A data do término das chuvas é menos variável do que a data de início, o que torna a duração da EC dependente, principalmente, deste último. Em RF, o comprimento de uma estação precoce é otimizado, ou seja, ele é feito tão longo quanto possível. Desta forma, adotou-se neste trabalho, para o comprimento da EC, a contabilização dos dias corridos, datados desde o início até o fim das chuvas, ou seja:

$$EC = F - I$$

eq. 3.10

Estabeleceram-se, assim, datas médias de "I" e de "F", que foram, a seguir, analisadas quanto à distribuição de frequência e classificação dos anos, em função da confrontação dos valores de chuva e demandas evaporativas real e potencial.

3.6.3. Distribuições de Frequência do Comprimento da EC

Após as determinações dos valores das ECs, em dias, passou-se ao cálculo das probabilidades de ocorrência de que as ECs excedessem durações especificadas, também, em dias. Para isso, subdividiram-se esses valores dos comprimentos em intervalos, regularmente, espaçados de 15 em 15 dias, estabelecendo categorias de estudo probabilístico teórico, relativos a uma data média, para o início do período chuvoso.

A seguir, para cada categoria, anteriormente, citada, estabeleceu-se um critério único de subdivisão do início do período chuvoso em precoce (de 20 a 10 dias antes - de 22/09 a 02/10), normal (de 9 dias antes a 10 dias depois - de 03/10 a 22/10) e tardio (de 11 a 20 dias depois - de 23/10 a 01/11), à exceção de Viçosa, cujas informações permitiram a subdivisão em quatro classes, quais sejam: muito precoce (de 30 a 20 dias antes da data considerada como média - de 17/09 a 28/09), precoce (de 19 a 10 dias antes da data média - de 29/09 a 08/10), normal (entre 9 dias antes a 10 dias depois - 09/10 a 27/10) e tardio (de 11 a 20 dias depois - de 28/10 a 06/11).

3.7. Produtividade de Milho e Demanda Evaporativa

As condições evaporativas são muito mais uniformes de ano a ano do que as precipitações e, a um certo tempo, são absolutamente uniformes sobre grandes áreas de condições semelhantes. Dados climáticos confiáveis, quando combinados com avanços tecnológicos, podem fornecer uma base para estimativas de exigências hídricas da cultura, além de informações acerca de produtividades máximas alcançáveis. Contudo, tais estimativas têm que estar correlacionadas com as respectivas ECs, designadas por prováveis datas de plantio e épocas de maturação, uma vez que condições evaporativas mudam, rapidamente, de uma época do ano a outra.

Neste trabalho, estimativas foram feitas para cada período de 15 dias, indo da possível data de plantio, 10 de setembro até a data de 31 de dezembro. A precipitação anterior ao plantio é assumida não como tendo sido toda perdida por evaporação, mas, sim, armazenada na zona do sistema radicular para uma extração futura, e a água que excedia a capacidade de armazenamento do solo, como sendo perdida por percolação profunda.

Nesta análise, procurou-se estabelecer a relação entre a produtividade máxima alcançável, supondo cultivares, climaticamente, adaptáveis e a energia livre disponível para crescimento, mostrada por brilho solar e temperatura do ar. A energia é, então, representada pela taxa de expectativa média quinzenal, de 10 de setembro a 31 de dezembro, da demanda evaporativa potencial.

4. RESULTADOS E DISCUSSAO

4.1. Relações entre as Datas de Início das Chuvas e o Comprimento da Estação de Crescimento (EC) - Os Comprimentos da EC para Inícios Variáveis do Período Chuvoso

Tabelas, que mostram as relações entre as classes, ou períodos de provável início das chuvas e os respectivos comprimentos da EC, foram preparadas para cada localidade. Essas classes, com números de dias variáveis expressam, teoricamente, o valor percentual probabilístico que se esperaria encontrar para o comprimento da EC, em dias, como resultado das análises efetuadas nas séries históricas investigadas. Essas mesmas classes foram elaboradas para períodos oscilantes entre os anteriores, em torno e, posteriormente, a uma data escolhida como média, ou data, que, pelo critério adotado, melhor representaria o início do período chuvoso, ou seja, computou-se probabilidades de

comprimentos da EC para períodos considerados precoces, normal e tardio do início das chuvas.

De maneira geral, observa-se para todas estas regiões uma relação entre a data de início das chuvas e o comprimento da estação de crescimento. Inícios precoces do período chuvoso redundaram, na maioria das vezes, em épocas chuvosas, significativamente, menores, ou seja, é visto que em locais, onde as chuvas começam mais cedo, estas tendem também a terminar mais cedo. De maneira diversa, quando se têm períodos chuvosos iniciados, tardiamente, ter-se-á EC com períodos, relativamente, maiores, ou seja, eles são "alongados", resultando numa estação de cultivo, consideravelmente, maior.

Estas tabelas são mostradas a seguir, por ordem alfabética, para nove localidades (excluiu-se Mocambinho, cuja série histórica incompleta impossibilitou a investigação).

Na primeira das tabelas, observa-se que para Araçuaí (Quadro 3), na classe de início precoce do período chuvoso, a probabilidade é de 100%, para que se encontrem períodos chuvosos de até 174 dias. Estes percentuais caem para a metade e zero, quando se computam ECs maiores que 189 e 234 dias, respectivamente. Já para períodos posteriores à data média (classe tardia), observou-se que se pode esperar uma probabilidade de até 33% para comprimentos da EC maiores que 189 dias. Naqueles períodos, que gravitam em torno da média, há ECs, que excedem 219 dias em até metade dos anos estudados, caindo para zero, quando se tem EC com mais de 234 dias, o que demonstra um melhor comportamento deste período.

QUADRO 3 - Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Araçuaí, MG

Comprimento da EC, excedendo (dias)	CLASSE I Precoce %	CLASSE II Normal %	CLASSE III Tardia %
129	100	100	100
144	100	100	50
159	100	100	50
174	100	100	33
189	50	100	33
204	zero	100	17
219	zero	50	zero
234	zero	zero	zero

Tem-se o mesmo comportamento, ao analisar-se o quadro referente a Caratinga, (Quadro 4), porém com uma segmentação maior na análise. A Classe I (precoce) comporta valores, relativamente, altos (78%) de probabilidade de comprimentos da EC para até 220 dias, ou mais. Na Classe II (normal), observou-se a ocorrência de EC de até 235 dias, ou mais, embora pequena (25%), o que reforça a idéia de que períodos chuvosos, iniciados nos períodos próximos à data média, têm um comprimento maximizado, embora a Classe III (tardia) tenha tido um comportamento semelhante.

Já para Frutal (Quadro 5), notaram-se distribuições mais diferenciadas. No período anterior à média, há 70% de probabilidade de que se encontre EC de 241 dias, ou mais, caindo para 40% e zero para EC de 256 e 271 dias, respectivamente. Naquelas datas posteriores à considerada como média (04/10), pode-se esperar que haja ECs maiores que 196 dias em até 67% dos casos consultados, caindo para zer

QUADRO 4 - Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Caratinga, MG

Comprimento da EC, excedendo (dias)	CLASSE I Precoce %	CLASSE II Normal %	CLASSE III Tardia %
145	100	100	100
160	100	88	86
175	100	75	86
190	89	62	43
205	89	62	29
220	78	62	14
235	55	25	zero
250	33	zero	zero
265	22	zero	zero
280	22	zero	zero
295	11	zero	zero
310	zero	zero	zero

QUADRO 5 - Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Frutal, MG

Comprimento da EC, excedendo (dias)	CLASSE I Precoce %	CLASSE II Normal %	CLASSE III Tardia %
181	100	100	100
196	90	100	67
211	90	50	zero
226	80	33	zero
241	70	zero	zero
256	40	zero	zero
271	zero	zero	zero

para ECs maiores que 211 dias. Comportamento intermediário e bastante amplo pôde ser visualizado na Classe II (normal), com valores de ECs maiores que 211, ou mais dias em até 50% dos casos.

Para Governador Valadares (Quadro 6), observou-se um comportamento distinto daquele observado nas demais localidades. Aí, as ECs são tanto maiores, à medida que se têm inícios do período chuvoso mais tardios. Assim, é que há 100% de probabilidade de se ter ECs maiores que 170 dias para a classe tardia, caindo para 60% e 33%, quando se analisa o mesmo comprimento nas classes precoce e normal, respectivamente, o que vem confirmar a importância de se terem plantios planejados para a região.

Na localidade de Lavras (Quadro 7), há uma predominância de estações mais longas, quando se analisam as Classes I e II, ou seja, períodos que não os próximos à data média (22/09). Na Classe III (tardia), ressalta-se que, já para ECs maiores que 180 dias, a probabilidade cai a zero, indicando um período pouco propício ao plantio, sendo que para as classes I e II (precoce e normal), os valores, para os quais a probabilidade é zero, são para ECs maiores que 315 e 270 dias, respectivamente.

Em Montes Claros (Quadro 8), nos períodos em torno da data média de início da estação chuvosa (24/10), é de se esperarem ECs maiores que 189 dias em até 40% do número de anos estudados, caindo para a metade (20%) para ECs de até 219 dias, ou mais. Nos dias anteriores à data média (início precoce), o plantio aí efetuado não poderá contar com uma EC maior que 219 dias e, nesta mesma Classe, para ECs maiores

QUADRO 6 - Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Governador Valadares, MG

Comprimento da EC, excedendo (dias)	CLASSE I Precoce %	CLASSE II Normal %	CLASSE III Tardia %
110	100	100	100
125	80	92	100
140	80	75	100
155	60	67	100
170	60	33	100
185	40	33	80
200	40	25	60
215	40	25	60
230	20	8	40
245	20	8	40
260	zero	zero	20
275	zero	zero	20
290	zero	zero	20
305	zero	zero	zero

QUADRO 7 - Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Lavras, MG

Comprimento da EC, excedendo (dias)	CLASSE I Precoce %	CLASSE II Normal %	CLASSE III Tardia %
165	100	100	100
180	100	100	zero
195	95	80	zero
210	90	60	zero
225	90	60	zero
240	80	20	zero
255	55	20	zero
270	20	zero	zero
285	5	zero	zero
300	5	zero	zero
315	zero	zero	zero

QUADRO 8 - Probabilidade de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Montes Claros, MG

Comprimento da EC, excedendo (dias)	CLASSE I Precoce %	CLASSE II Normal %	CLASSE III Tardia %
114	100	100	100
129	100	100	70
144	100	100	50
159	100	40	50
174	100	40	10
189	67	40	10
204	33	20	10
219	zero	20	zero
234	zero	zero	zero

que 204 dias, as ocorrências reduzem-se a um terço. Entretanto, para os inícios situados, tardiamente, tem-se metade dos casos para ECs de mais de 159 dias. Assim, para esta região, é de se esperar que, para plantios efetuados após a data média, não há seguridade, visando o aproveitamento do período chuvoso da região.

Para Teófilo Otoni (Quadro 9), onde constatou-se o mesmo comportamento, indicando que se podem efetuar plantios nos períodos, exatamente, anteriores à data média (12/10), onde em até 67% dos casos foram verificadas ECs maiores que 199 dias. Por uma EC maior (214 dias, ou mais), a probabilidade é de 0% (zero) na Classe III, e, na Classe II, têm-se índices percentuais intermediários, sendo que em até 14% dos casos foram notadas ECs maiores que 289 dias.

Para Uberaba (Quadro 10), há uma semelhança para com a localidade de Frutal, em virtude de, provavelmente,

QUADRO 9 - Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Teófilo Otoni, MG

Comprimento da EC, excedendo (dias)	CLASSE I Precoce %	CLASSE II Normal %	CLASSE III Tardia %
109	100	100	100
124	100	100	86
139	100	100	86
154	100	86	86
169	78	71	71
184	67	71	29
199	67	57	29
214	44	43	zero
229	33	43	zero
244	22	14	zero
259	11	14	zero
274	11	14	zero
289	11	14	zero
304	zero	zero	zero

QUADRO 10 - Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Uberaba, MG

Comprimento da EC, excedendo (dias)	CLASSE I Precoce %	CLASSE II Normal %	CLASSE III Tardia %
175	100	100	zero
190	94	90	zero
205	94	80	zero
220	88	40	zero
235	53	20	zero
250	35	10	zero
265	18	10	zero
280	zero	zero	zero

pertencerem à mesma região (Triângulo). Aí, há a predominância de ECs mais longas nas Classes I e II com índices percentuais pouco diferenciados, mas com ocorrências verificadas de ECs com até 265 dias, ou mais. Na Classe III, contudo, não houve nenhuma ocorrência de ECs que se iniciassem após a data considerada como média, o que vem demonstrar a importância de se evitarem plantios, efetuados nesta época.

Na análise de Viçosa (Quadro 11), houve, diferentemente, das feitas anteriormente, não três, mas quatro Classes de datas de início das chuvas. Nestas, há clara predominância de ECs maiores para as duas primeiras Classes, respectivamente, de 30 a 20 dias antes - 17/09 a 28/09 e de 20 a 10 dias - 29/09 a 08/10, também antes da data, considerada média (17/10). As diferenças acentuam-se, quando se analisam as Classes III e IV, respectivamente, ao redor e posterior à média, ou seja, de 10 a 20 dias depois - 28/10 a 06/11. Nesta última, o valor de 100% de ocorrência dos casos deu-se somente para ECs acima de 90 dias, sendo que, para EC acima de 250 dias, o índice foi 0% (zero).

4.2. Análises das Séries de Precipitação e Demandas Evaporativas - A Chuva como Sinalizador de Épocas de Plantio

Durações médias de cada estágio fenológico podem ser vistas no Quadro 12 seguinte, representando valores desde a data de 10 de setembro, data escolhida, arbitrariamente, partindo-se do pressuposto que, a partir daí, o agricultor já poderia iniciar suas atividades de campo.

QUADRO 11 - Probabilidades de que o Comprimento da EC Exceda Durações Especificadas para Inícios Variáveis do Período Chuvoso para Viçosa, MG

Comprimento da EC excedendo (dias)	CLASSE I	CLASSE II	CLASSE III	CLASSE IV
	Muito precoce de 30 a 20 dias antes %	Precoce de 19 a 10 dias antes %	Normal de 9 dias antes a 10 dias depois %	Tardia de 11 a 20 dias depois %
90	100	100	100	100
115	100	100	100	95
130	100	100	100	89
145	100	100	95	84
160	100	100	95	79
175	100	100	95	63
190	100	92	90	47
205	100	77	81	32
220	92	62	71	21
235	50	54	62	5
250	50	38	43	zero
265	42	31	24	zero
280	33	15	14	zero
295	33	15	9	zero
315	zero	zero	zero	zero

QUADRO 12 - Durações Médias dos Estádios Fenológicos da Cultura do Milho, para Nove Localidades do Estado de Minas Gerais

Localidade	Duração Média por Estádio (dias)				
	I	II	III	IV	Total
Araçuaí	5	37	24	16	82
Caratinga	8	58	42	25	133
Governador Valadares	6	45	30	17	98
Lavras	11	65	50	33	159
Mocimbinho	5	35	26	18	84
Montes Claros	6	46	37	24	113
Teófilo Otoni	7	50	34	22	113
Uberaba	6	48	36	23	113
Viçosa	11	71	45	30	157

Da mesma forma, no Quadro 13 seguinte têm-se os resultado da aplicação dos conceitos de "I" e de "F" e, por conseqüência, do comprimento da EC em dias (valores médios), para nove localidades do estado.

QUADRO 13 - Valores Médios das Datas de Início ("I") e Fim ("F") do Período Chuvoso e Comprimentos Médios da EC, para Nove Localidades do Estado de Minas Gerais

Localidade	Data "I"	Data "F"	Comprimento da EC (dias)
Araçuaí	19/10	16/04	179
Caratinga	13/10	18/05	217
Frutal	04/10	16/05	225
Gov. Valadares	17/10	15/05	217
Lavras	22/09	24/05	243
Montes Claros	24/10	06/04	164
Teófilo Otoni	12/10	11/05	201
Uberaba	25/09	19/05	230
Viçosa	17/10	23/05	221

As Figuras de 2 a 10 seguintes mostram o comportamento histórico dos parâmetros evapotranspirométricos (ETp e ETr) e de precipitação para as localidades estudadas, à exceção de Frutal, cujas poucas informações não possibilitaram este estudo.

Nessas figuras, pode-se inferir a marcha destes parâmetros, ora em queda desde 19 de setembro (Precipitação), ora em ascensão (ETp e ETr) até 31 de dezembro, em que se admite que o agricultor não tomaria mais a decisão de efetuar um plantio de sequeiro e espaçados de

Araçuaí

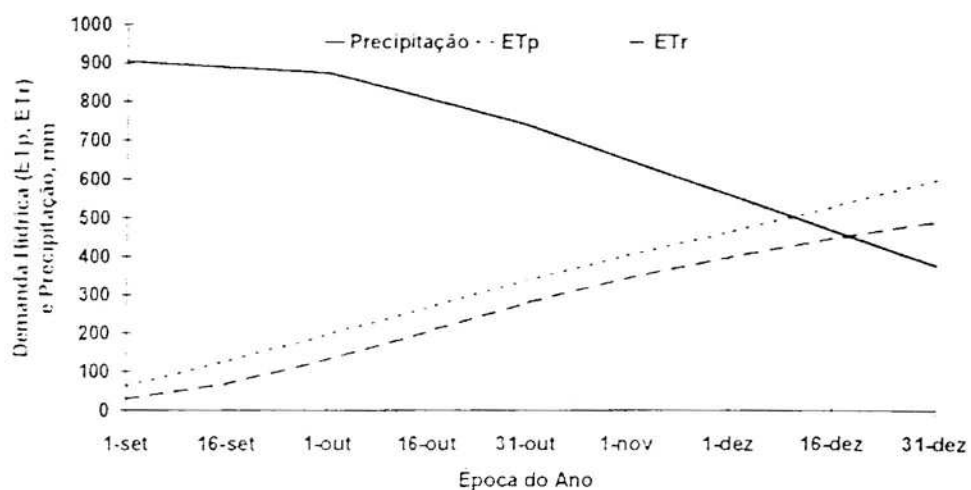


FIGURA 2 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Araçuaí, MG.

Caratinga

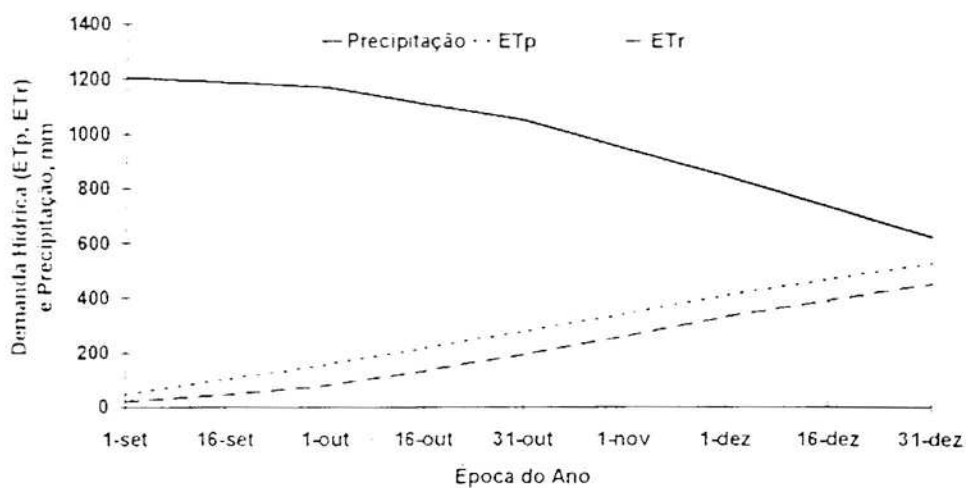


FIGURA 3 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Caratinga, MG.

Governador Valadares

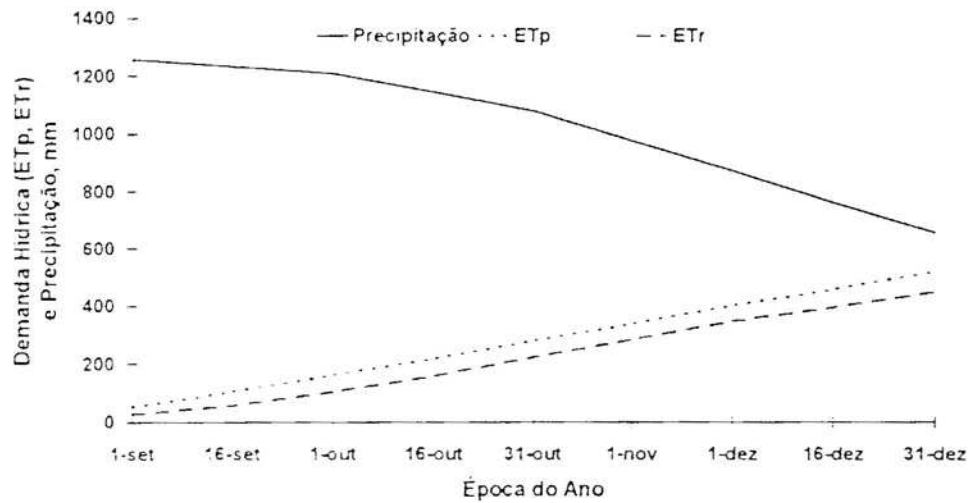


FIGURA 4 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Governador Valadares, MG.

Lavras

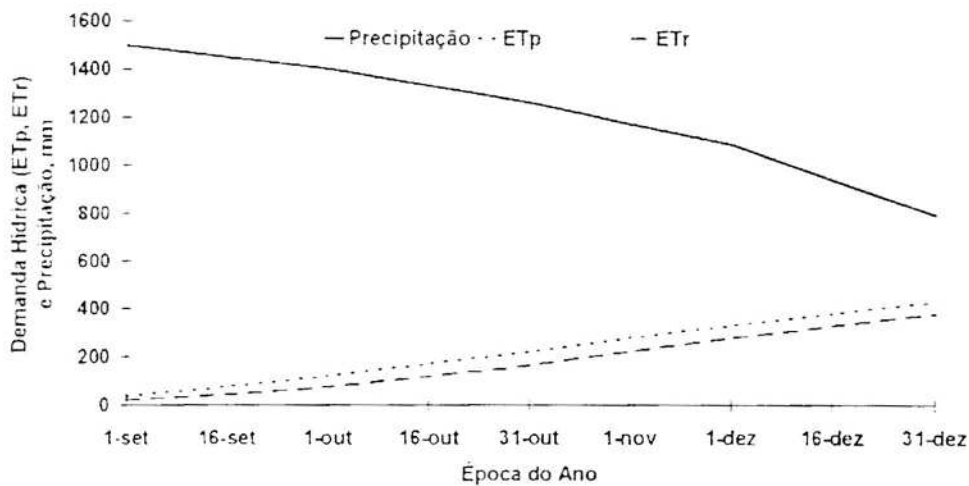


FIGURA 5 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Lavras, MG.

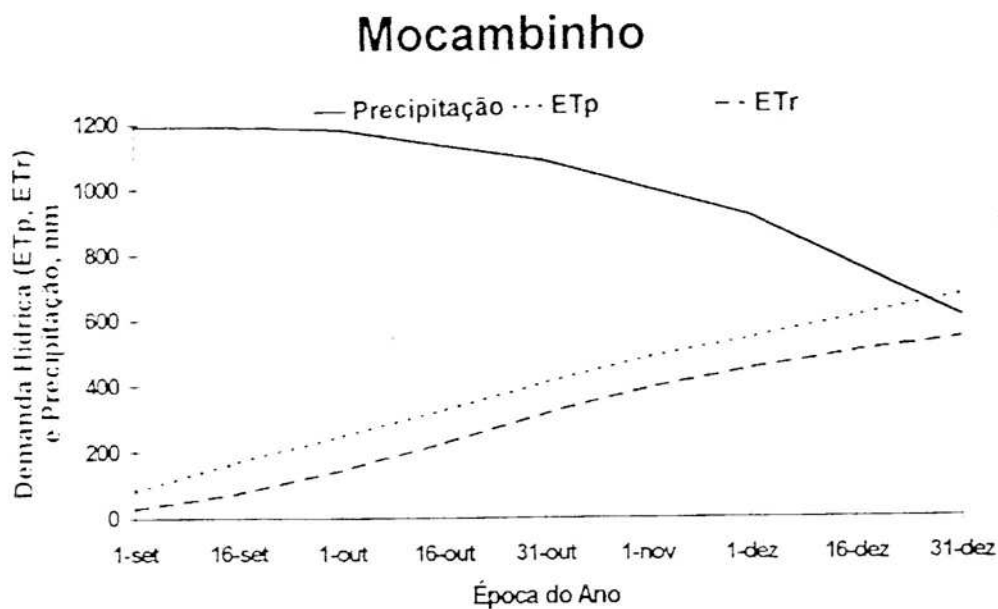


FIGURA 6 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Mocambinho, MG.

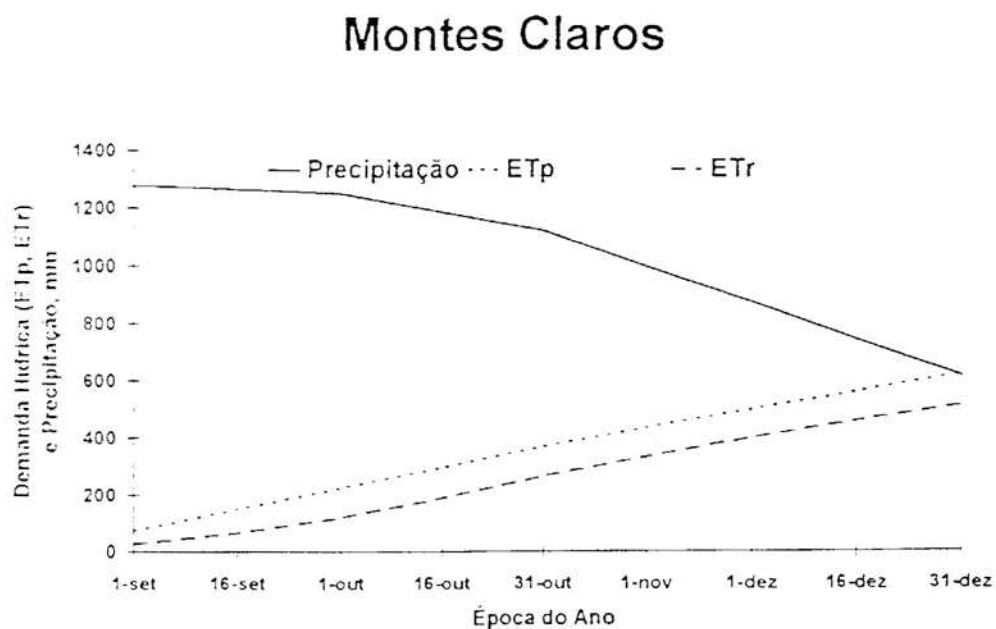


FIGURA 7 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Montes Claros, MG.

Teófilo Otoni

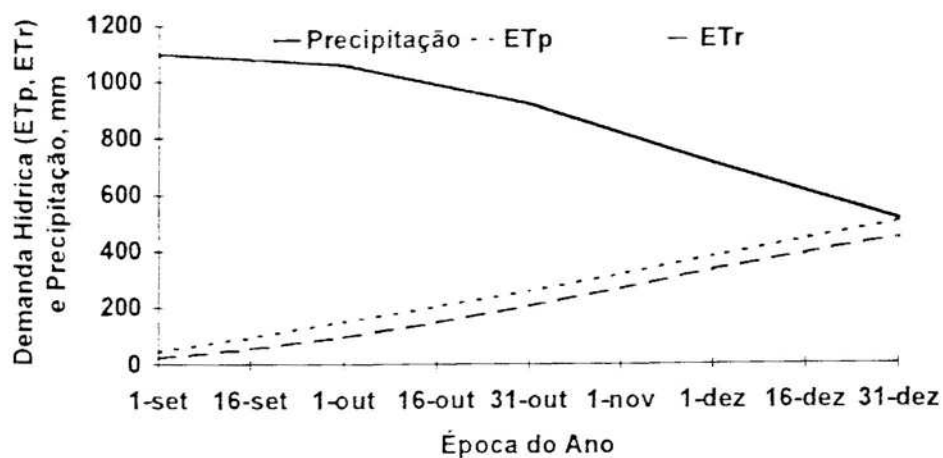


FIGURA 8 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Teófilo Otoni, MG.

Uberaba

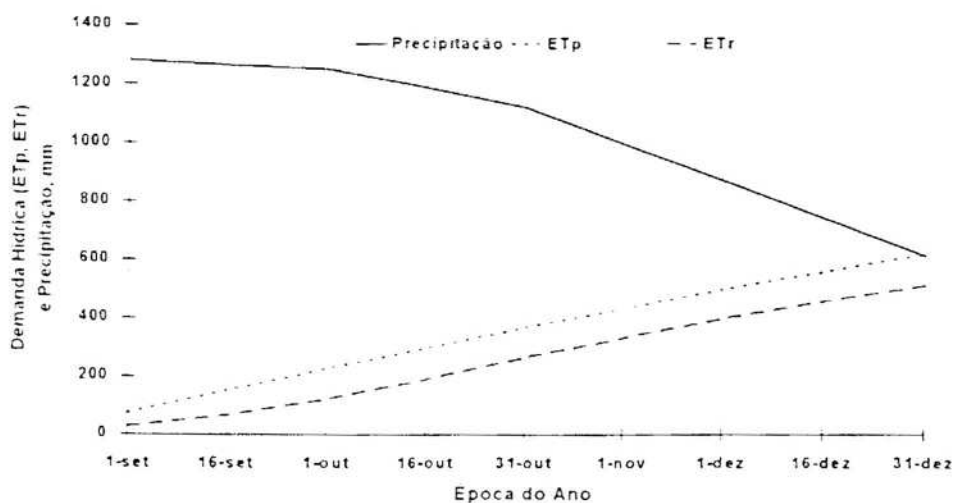


FIGURA 9 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Uberaba, MG.

Viçosa

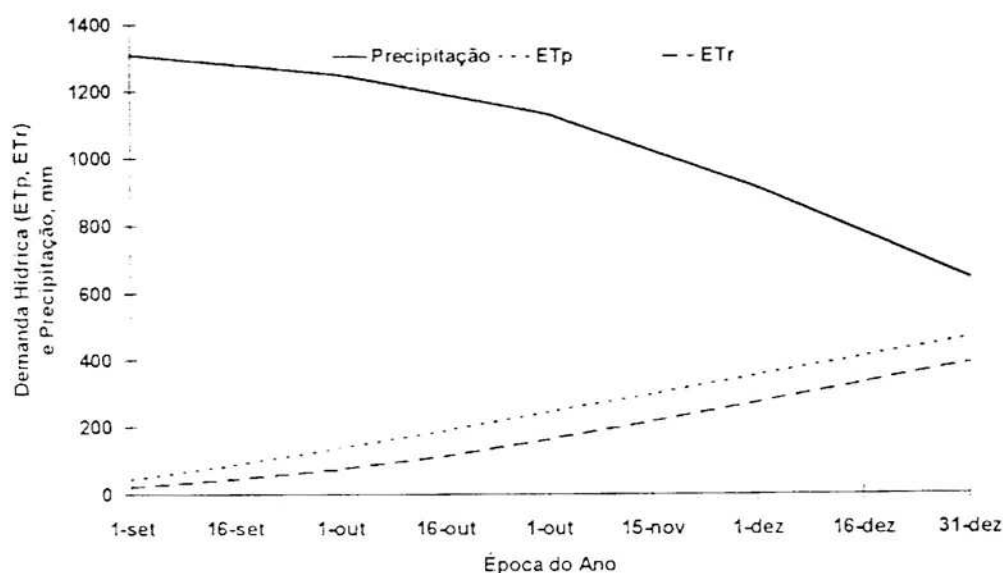


FIGURA 10 - Características das Demandas Hídricas da Cultura do Milho (ETp, ETr) e Precipitação, para a Região de Viçosa, MG.

15 em 15 dias. Estas curvas de tendências médias temporais para as exigências hídricas do milho, embora não tenham todas o mesmo grau de relevância, quando da escolha de uma data propícia ao plantio, podem oferecer uma razoável noção que venha suportar decisões sobre manejo de água e sobre semeadura de milho para cada região.

De maneira geral, estas tendências podem favorecer um plantio precoce quando isto for possível, ou mesmo um tardio, quando se ponderam os riscos envolvidos nesta atitude. Neste intervalo de, aproximadamente, 120 dias, pôde-se estabelecer, pela análise das curvas de ETp e P e, em confronto com os critérios, adotados para as datas de "I" e de "F", uma época minimamente adequada ao plantio de

milho, embora esta seja uma decisão que não dependa, exclusivamente, destes parâmetros.

Por exemplo, para Araçuaí (Figura 2), observaram-se altos índices de demandas evaporativas ao final do ciclo, (600 mm e 493 mm, respectivamente, para ETP e ETR), aliados a baixos valores de precipitação total. Os números, representados nas curvas, indicam, na verdade, valores de expectativa dos parâmetros para os 15 dias seguintes, ou seja, se a decisão de se plantar for em determinada data após 19 de setembro, quais os valores de P, ETP e ETR, que se esperaríamos acumulados para o período seguinte. É perceptível que, na Figura 2, a expectativa por precipitação vai caindo menos, abruptamente, de 01/09 até 01/10 do que desta data até 31/12, período este que pode ser inferido como o mais propício ao plantio de milho para a região. Evidentemente que, os plantios efetuados após 19 de dezembro teriam pouca viabilidade de satisfazer suas necessidades hídricas e fisiológicas das culturas e, no presente caso, do milho.

Já para Caratinga (Figura 3), há que se observar que, tanto as curvas de ETP como de ETR têm uma partida bastante aproximada. Para a precipitação, a queda na expectativa é, significativamente, acentuada do dia 01/10 até 31/12, podendo significar épocas mais indicadas ao plantio. Contudo, as curvas de ETP e ETR têm um aumento quinzenal pouco acentuado, minimizando a baixa expectativa de chuvas para o período anterior ao mencionado.

Para Lavras, há uma uniformidade na curva de precipitação, durante todo o período analisado, com apenas

algumas pequenas diferenças entre 1º de dezembro e 31 de dezembro, aliado a valores, relativamente, baixos de demandas evaporativas, o que confere uma certa flexibilidade na definição de datas mais propícias ao plantio para a região.

Para Teófilo Otoni (Figura 4), apesar dos baixos valores, esperados para a precipitação, em comparação com outras localidades, o período compreendido entre 1º de setembro e 31 de outubro pareceu ser o de menor queda nesta expectativa, podendo ser uma provável data favorável ao plantio. Notem-se também os valores muito próximos para ETP e ETr (502 mm e 447 mm, respectivamente, ao final do período).

Para Governador Valadares (Figura 4), fica patente, não só a proximidade dos valores das demandas evapotranspirométricas, bem como três distintas fases na curva de precipitação. Uma primeira, do dia 1º de setembro até, aproximadamente, 1º de outubro, de tendência linear e de pouco declínio; uma segunda, indo desta última data até próximo a 31 de outubro, com queda mais acentuada que a anterior, e uma última, de 31 de outubro a 31 de dezembro, indicando que, como os índices de expectativa pluviométricos tendem a decrescer mais rapidamente nesse período, este poderia ser uma hipotética data mais adequada ao plantio.

É de se notarem os comportamento de Montes Claros e Uberaba (Figuras 7 e 9) onde, de 1º de setembro a 31 de outubro, parece não ser uma boa época de plantio, dada a substancial linearidade na curva de expectativa de precipitação, indicando baixos totais de expectativa por

chuva, apesar de que, a partir desta data e até 31 de dezembro, tenha havido um aumento, com índices pluviométricos, relativamente, altos.

Um comportamento de queda menos acentuada, adicionada a padrões elevados de demandas hídricas, pode ser observado para Mocambinho (Figura 6), chamando a atenção os baixos valores de expectativa por precipitação, muito embora os totais anuais não sejam baixos, mas sim mal distribuídos, e os altos índices de expectativa por evapotranspiração (678 mm e 544 mm, respectivamente para E_{Tp} e E_{Tr}).

Finalmente, observam-se os padrões peculiares para as marchas destes parâmetros para Viçosa (Figura 10). De início, há uma queda pouco acentuada nas expectativas de precipitação, desde 10 de setembro e até 10 de outubro; a partir daí, e até 31 de dezembro, a queda é acentuada e, aproximadamente constante. Já para as evapotranspirações potencial e real, o aumento é praticamente linear e constante, ao longo deste período, com valores bastante próximos, quando do início da contabilização, 44 mm e 22 mm, respectivamente.

5. RESUMO E CONCLUSOES

Das análises e discussões dos resultados, obtidos no presente trabalho, conclui-se que:

a) Os critérios utilizados para a definição de datas de início e fim do período chuvoso carregam elevado grau de incerteza, dadas as dificuldades de se precisarem, com exatidão, estas datas e da pequena extensão das séries pluviométricas.

b) A segmentação da estação chuvosa, em períodos anteriores, em torno, e posteriores à data média, embora possam fornecer importantes informações, é um critério impreciso e subjetivo.

c) No tocante às indicações de datas mais propícias ao plantio da cultura do milho, puderam-se observar os seguintes períodos: Araçuaí (entre 03/10 e 22/10), Caratinga (entre 01/10 e 01/11), Governador Valadares (entre 23/10 e 31/12), Montes Claros (entre 01/10 e 22/10), Teófilo Otoni (entre 22/09 e 22/10) e para as localidades de Lavras, Uberaba e Viçosa, praticamente, todo o período de 120 dias estudado.

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOTECA
DEPTO. ENG. AGRÍCOLA

BIBLIOGRAFIA

1. ANGUS, J.F. The evolution of methods for quantifying risk in water limited environments. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATIC RISK IN CROP PRODUCTION, Brisbane, 1991. Proceedings... Brisbane, C.A.B. International, 1991. p. 39-53.
2. ASPIAZU, C.; RIBEIRO, G.A.; VIANELLO, R.L.; RIBEIRO, J.C.; VALENTE, O.F.; PAULA NETO, F. Análise dos componentes principais aplicada na classificação climática do Estado de Minas Gerais. Teste metodológico. Rev. Arvore, 14(1): 1-15, 1990.
3. COELHO, D.T. The consideration of temperature in corn (*Zea mays* L.) growth and development models. s.l., Purdue Univ., 1978. 70 p. (Tese Ph.D.)
4. COSTA, M.H. Modelo de otimização dos recursos hídricos para irrigação, conforme a época de plantio. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1991. 111 p. (Tese M.S.)
5. DOORENBOS, J. & FRUITT, W.O. Guidelines for predicting crop water requirements Rome, FAO, 1977. 144 p. (FAO irrigation and drainage paper, 24).
6. FIDELIS FILHO, J.; SILVA, B.B.; DI PACE, F. T.; SILVA, LC.; RAMANA RAO, T.V. Determinação da época de plantio em função da precipitação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, Viçosa, 1991. Anais... Viçosa, 1991 p. 192-194.
7. HASHEMI, F. & DECKER, W. Using climatic information and weather forecast for decisions in economizing irrigation water. Agricultural Meteorology, 6: 245-57, 1969.

8. HUFF, F.A. & NEILL, J.C. Effects of natural climatic fluctuations on the temporal and spatial variation in crop yields. *Journal of Applied Meteorology*, 21: 540-50, 1982.
9. HUTCHINSON, M.F. Climatic analyses in data sparse regions. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATIC RISK IN CROP PRODUCTION, Brisbane, 1991. *Proceedings...* Brisbane, C.A.B. International, 1991. p. 55-71.
10. JENSEN, M.E. *Consumptive use of water and irrigation water requirements*. New York, ASCE, 1973. 215 p.
11. KEATING, B.A.; GODWIN, D.C.; WATIKI, J.M. Optimising nitrogen inputs in response to climatic risk. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATIC RISK IN CROP PRODUCTION, Brisbane, 1991. *Proceedings...* Brisbane, C.A.B. International, 1991. p. 329-358.
12. LACERDA, F.F.; SILVA, B.B.; SILVA, J.A.T.; KUMAR, K.K. Determinação do início e duração da estação de cultivo em localidades do estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, Salvador, 1989. *Anais...* Salvador, s. ed., 1989. p. 69-73.
13. LIU, W.T.H. & LIU, B.W.Y. Seleção das melhores épocas de plantio de milho e sorgo na região do alto São Francisco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, Campinas, 1983. *Resumos...* Campinas, s.ed., 1983. p. 164.
14. MATHER, J.R. *Climatology: fundamentals and applications*. s. l., McGraw-Hill Book Company, 1974. 412 p.
15. McCOWN, R.L.; WAFULA, B.M.; MOHAMMED, L.; RYAN, J.G.; HARGREAVES, J.N.G. Assessing the value of a seasonal rainfall predictor to agronomic decisions: The case of response farming in Kenya. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATIC RISK IN CROP PRODUCTION, Brisbane, 1991. *Proceedings...* Brisbane, C.A.B. International, 1991. p. 383-409
16. MICHALCZYK, K.W. The effect of climatic variations on the significance of agricultural planning data. *Agricultural Meteorology*, 20: 319-26, 1979.
17. MINAS GERAIS. Secretaria de Planejamento. *Anuário Estatístico de Minas Gerais - 1988 e 1989*. Belo Horizonte, v. 7, 896 p. 1990.
18. MOTA, F.S. *Meteorologia Agrícola*. São Paulo, Nobel, 1986. 376 p.
19. NEILD, R.E. Growing season and phenological response of sorghum as determined from simple climatic data. *Agricultural Meteorology*, 29: , 1983.

20. NEILD, R.E.; WILHITE, D.A.; HUBBARD, K.G. Preseason precipitation probabilities as an aid to corn planting decisions. *Agricultural and Forest Meteorology*, 41: 259-66, 1987.
21. PERRIER, E.R. & SALKINI, A.B. *Supplemental irrigation in the near East and North Africa*. s. l., Kluwer Academic, 1991. 611 p.
22. RIBEIRO, G.A. *Uma metodologia de classificação climática empregando análise fatorial e de agrupamento*. Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1983. 66 p. (Tese M.S.)
23. RITCHIE, J.T. Specifications of the ideal model for predicting crop yields. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATIC RISK IN CROP PRODUCTION, Brisbane, 1991. *Proceedings...* Brisbane, C.A.B. International, 1991. p. 97-122
24. RODRIGUES, R.S.; BRAGA, C.C.; SILVA, B.B. Simulação de épocas de plantio do feijão macassar em diferentes microrregiões do estado da Paraíba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, Viçosa, 1991. *Anais...* Viçosa, s. ed., 1991. p. 118.
25. ROJAS, O.E. Análisis agroclimático para determinar la fecha optima de siembra de los cultivos anuales, en los países de la zona intertropical. *Turrialba*, 37: 101-5, 1987.
26. ROSENBERG, N.J. *Microclimate: the biological environment*. New York, John Wiley & Sons, 1983. 495 p.
27. SANSIGOLO, C.A. Análise das precipitações diárias de Piracicaba, SP, visando planejamento agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, Maceió, 1989. *Anais...* Maceió, s. ed., 1989. p. 224-231
28. SEDIYAMA, G.C. *Necessidade de água para os cultivos*. Brasília, ABEAS, 1987. 143 p.
29. SILVA, J.A.; COSTA, J.M.N.C.; SANS, L.M.A.; AVELAR, B.C.; THIEBAUT, J.T.L. Influência da água disponível no solo na variação dos graus-dias necessários para ocorrência das fases fenológicas do milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 5, Belém, 1987. *Coletânea...* Belém, s. ed., 1987. p. 188.
30. SILVA, B.B.; KUMAR, K.K.; LACERDA, F.F. Início e duração da estação de cultivo mais prováveis em São Gonçalo - PB. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 6, Maceió, 1989. *Anais...* Maceió, s.ed., 1989. p. 121-125
31. SIVAKUMAR, M.V.K. Predicting rainy season potential from the onset of rains in Southern Sahelian and Sudanian climatic zones of West Africa. *Agricultural and forest Meteorology*, 42: 295-305, 1988.

32. SOUZA, J.L. Avaliação agroclimática de quatro microrregiões do Estado de Minas Gerais para alguns cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). Viçosa, UFV, Impr. Univ., 1989. 70 p. (Tese M.S.)
33. SOUZA, A.; OLIVEIRA, C.R.; LAURETTO, M. Análise de um calendário de cultivo do arroz irrigado em Dourados - MS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, Viçosa, 1991. Anais... Viçosa, s. ed., 1991. p. 46.
34. SOUZA, A.; OLIVEIRA, C.R.; LAURETTO, M. Caracterização fenológica de três cultivares de arroz, utilizando o conceito de graus-dia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7, Viçosa, 1991. Anais... Viçosa, s. ed., 1991. p.85.
35. STEWART, J.I. Effective rainfall analysis to guide farm practices and predict yields. In: ANNUAL GENERAL MEETING OF THE SOIL SCIENCE SOCIETY OF EAST AFRICA, 4, Arusha., 1980. Proceedings... Arusha, s. ed., 1990. p. 247.
36. STEWART, J.I. Principles and performance of response farming. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON CLIMATIC RISK IN CROP PRODUCTION, Brisbane, 1991. Proceedings... Brisbane, C.A.B. International, 1991. p. 361-382.
37. STEWART, J.I. & HASH, C.T. Impact of weather analysis on agricultural production and planning decisions for the semiarid areas of Kenya. *Journal of Applied Meteorology*, 21: 477-93, 1982.
38. TICE, T.F. & CLOUSER, R.L. Determination of the value of weather information to individual corn producers. *Journal of Applied Meteorology*, 21:(4): 447-52, 1982.
39. TUBELIS, A. A chuva e a produção agrícola. São Paulo, Nobel, 1988. 85 p.
40. VIANELLO, R.L. & ALVES, A.R. Meteorologia Básica e aplicações. Viçosa, Impr. Univ., 1991. 449 p.

APÊNDICE

APÊNDICE A

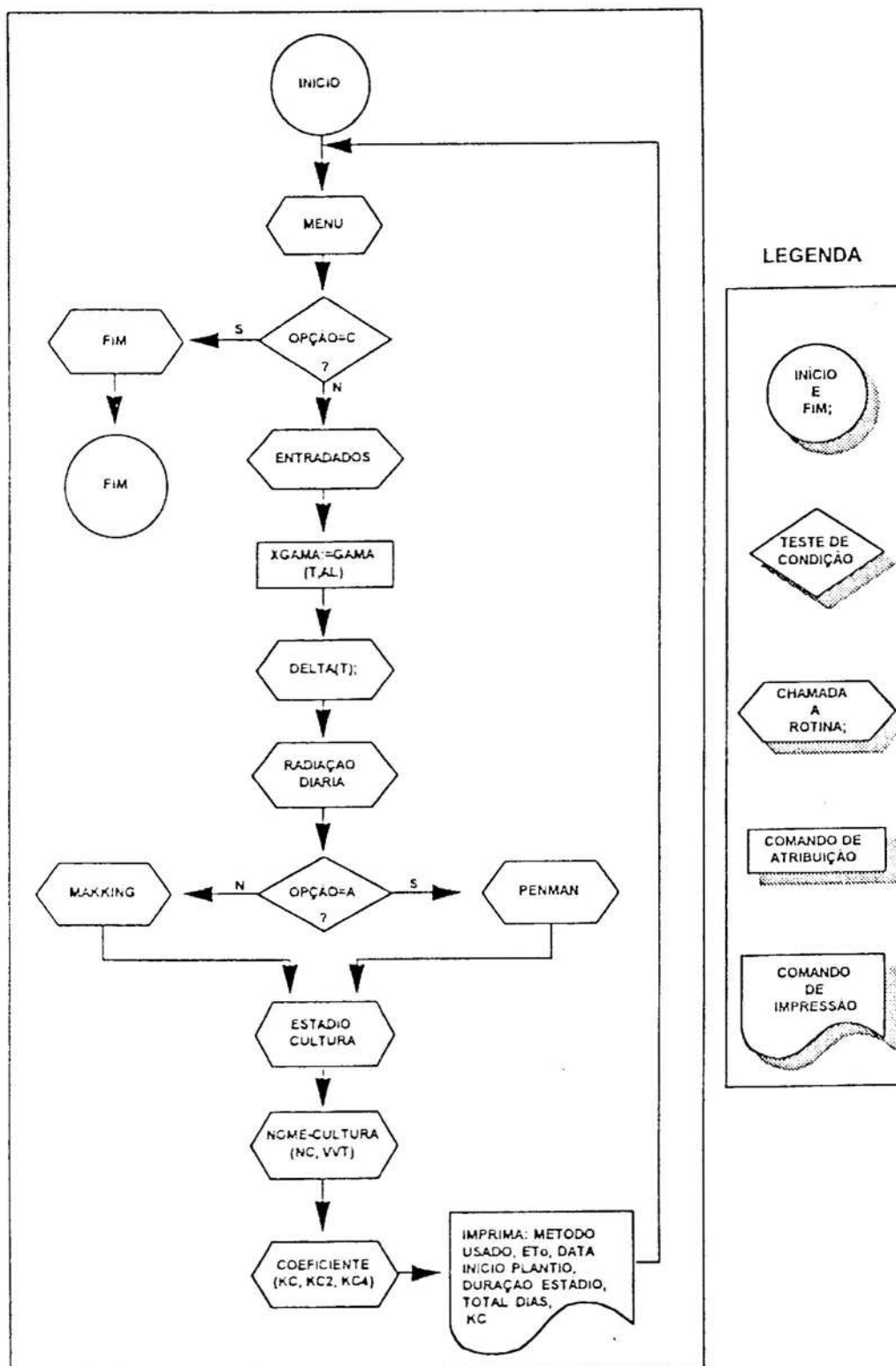


FIGURA 1A - Diagrama de Blocos do Programa Computacional Utilizado para Cálculos de E_{Tp}, E_{Tr}, K_c e Durações Médias por Estádio.