

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO CENTRO-OESTE, UNICENTRO-PR.

**CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMÁTICAS PARA A CULTURA DO MILHO EM
GUARAPUAVA-PR**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

MARCUS VINICIUS WAGNER

GUARAPUAVA – PARANÁ

2009

MARCUS VINICIUS WAGNER

**CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMÁTICAS PARA A CULTURA DO MILHO EM
GUARAPUAVA-PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

**Prof. Dr. Sidnei Osmar Jadoski
Orientador**

**GUARAPUAVA- PARANÁ
2009**

MARCUS VINICIUS WAGNER

Catálogo na Publicação
Fabiano de Queiroz Jucá – CRB 9/1249
Biblioteca Central da UNICENTRO, Campus Guarapuava

W132c Wagner, Marcus Vinicius
Características hidroclimáticas para a cultura do milho em
Guarapuava-PR / Marcus Vinicius Wagner. – – Guarapuava, 2009.
x , 68 f. : 28 cm

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Centro-Oeste,
Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração
em Produção Vegetal, 2009
Orientador: Sidnei Osmar Jadoski
Banca examinadora: João Domingos Rodrigues, Marcio Furlan
Maggi, Sidnei Osmar Jadoski

Bibliografia

1. Agronomia. 2. Produção vegetal. 3. Milho - Cultura -
Guarapuava (PR). 4. Milho - Cultura - Condições climáticas. I. Título.
II. Universidade Estadual do Centro-Oeste.

CDD 633.15

**CARACTERÍSTICAS HIDROCLIMÁTICAS PARA A CULTURA DO MILHO EM
GUARAPUAVA-PR**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Centro-Oeste, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Produção Vegetal, para a obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 26 de Agosto de 2009.

Prof. Dr. João Domingos Rodrigues – UNESP

Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi – UNICENTRO

Prof. Dr. Sidnei Osmar Jadoski – UNICENTRO

Orientador

GUARAPUAVA- PARANÁ

2009

“À minha Esposa **Telma** e ao meu filho **Vinicius**.”

OFEREÇO

“Aos meus pais **Juracy** e **Arlete** (*in memorian*),
que me deixaram a educação e moldaram a formação do caráter.”

“As minhas irmãs, **Jeanne** e **Karen**,
pelo incentivo nesta etapa da vida.”

“Aos meus sogros, **Gerson** e **Sulita**,
pelo carinho e apoio.”

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Sidnei Osmar Jadoski, pela orientação, ensinamentos e acima de tudo, pela amizade.

Ao Prof. Dr. Marcio Furlan Maggi, grande companheiro e incentivador, minha admiração.

Ao Prof. Dr. Sebastião Brasil Campos Lustosa, o amigo das horas difíceis.

Ao Dr. Sérgio Denega, pela colaboração na composição do banco de dados da Estação meteorológica – UNICENTRO.

Aos colegas da Pós-Graduação pelo convívio e troca de experiências.

Aos colegas do Curso Superior em Mecânico de Manutenção de Aeronaves, por serem simplesmente amigos.

Aos estagiários Adriano Suchoronczek e Gabriela Deschk pelo apoio e colaboração.

À Universidade Estadual do Centro-Oeste, pela oportunidade de realização do mestrado.

A todos os meus familiares, o meu muito obrigado.

À Deus.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	vi
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA FIGURAS	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Principal	3
2.2. Complementares	3
3. REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1. O clima e a agricultura	4
3.2. Considerações sobre o zoneamento agrícola no Paraná	4
3.2.1. Características climáticas da região	6
3.3. Necessidades – efeitos da água	7
3.4. Balanço hídrico	10
3.5. Evapotranspiração	12
3.6. Fenologia	13
3.7. Soma térmica	16
3.8. Necessidades hídricas da cultura do milho	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1. Local da coleta de dados	21
4.2. Tratamentos e análise dos dados	21
4.3. Zoneamento agrícola	22
4.4. Estádios fenológicos de acordo com os subperíodos	22
4.5. Soma Térmica – Unidades térmicas diárias (UTD)	22
4.6. Balanço hídrico	23
4.7. Evapotranspiração máxima da Cultura e estimativas de produção de grãos	25
4.8. Características edáficas	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
5.1. Dados climatológicos anuais	21
5.2. Balanço hídrico anual	33
5.3. Soma Térmica	35
5.4. Relações hídricas durante o ciclo da cultura	39
6. CONCLUSÕES	56
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57
8. ANEXOS	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estádios Fenológicos de uma planta de milho.....	15
Tabela 2. Unidades Térmicas de acordo com estádios fenológicos da cultura do milho. ..	23
Tabela 3. Valores do coeficiente de cultura para os estádios do ciclo de desenvolvimento fenológico do milho, adaptado de Doorenbos e Kassam (1979).....	25
Tabela 4. Classificação das lâminas de evapotranspiração máxima da cultura, de acordo com estádios fenológicos da cultura do milho.	26
Tabela 5. Porcentagem de redução de produção de grãos de acordo com o estágio fenológico da cultura do milho.	27
Tabela 6. Duração média em dias dos estádios fenológicos da cultura do milho determinadas com base na soma térmica para as condições climáticas de Guarapuava-PR.	36
Tabela 7. Precipitação pluvial nos estádios fenológicos da cultura do milho com base em dados climáticos de 1984 a 2008, em Guarapuava-PR.	41
Tabela 8. Evapotranspiração de referência (Eto) nos estádios fenológicos da cultura do milho, determinada com base em dados climáticos de 1984 a 2007, em Guarapuava-PR.	42
Tabela 9. Evapotranspiração máxima acumulada (Etm _{ac}) nos estádios fenológicos da cultura do milho determinada com base em dados climáticos de 1984 a 2007, em Guarapuava-PR.	43
Tabela 10. Probabilidade de ocorrência das máximas lâminas de evapotranspiração máxima acumulada da cultura (>Etm _{ac}) nos diferentes estádios fenológicos e épocas de semeadura do milho, com base em dados climáticos de 1984 a 2007 em Guarapuava-PR.	47
Tabela 11. Probabilidade de ocorrência e classificação da intensidade do deficit hídrico nos estádios fenológicos da cultura do milho em diferentes datas de semeadura, com base em dados climáticos do período 1984 – 2008, em Guarapuava-PR.	49
Tabela 12. Produção de grãos estimada em função do índice proporcional de redução por efeito do deficit hídrico nos estádios fenológicos da cultura do milho em diferentes datas de semeadura com base em dados climáticos do período 1984 – 2008, em Guarapuava-PR.	51

LISTA FIGURAS

- Figura 1.** Precipitação pluvial mensal determinada com base em dados do período de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR. *Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey com probabilidade de 95%.* **21**
- Figura 2.** Evapotranspiração de referência mensal ao longo do ano determinada com base em dados climáticos do período de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR..... **31**
- Figura 3.** Temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar ao longo do ano, determinado com base em dados climáticos do período de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR. **33**
- Figura 4.** Balanço hídrico sequencial estimado pelo método de Thornthwaite-Mather (1955), com base em dados climáticos do período de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR. **34**
- Figura 5.** Temperatura média do ar máxima (Máx.) e mínima (Mín.) com desvio padrão da média, ao longo do período de cultivo da cultura do milho em Guarapuava-PR. (*Média 1984 -2008*) **38**
- Figura 6.** Duração das fases fenológicas da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava-PR. (*Média 1984 -2008*). **39**
- Figura 7.** Máxima lâmina de evapotranspiração máxima acumulada da cultura ($>E_{tmac}$) nos diferentes estádios fenológicos e épocas de semeadura do milho, com base em dados climáticos de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR.. **46**
- Figura 8.** Produtividade estimada (kg ha^{-1}) em função da variação da disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura do milho, em diferentes datas de semeadura para o período 1984 – 2007 em Guarapuava-PR..... **52**
- Figura 9.** Classificação da produtividade estimada em função da disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura do milho, em diferentes datas de semeadura para o período 1984 – 2007 em Guarapuava-PR..... **53**

RESUMO

Marcus Vinicius Wagner. Características hidroclimáticas para a cultura do milho em Guarapuava- Paraná.

O milho é uma das principais culturas tanto em área cultivada como em volume de produção no Estado do Paraná. Contudo, ocorrem freqüentes perdas de produtividade devido a problemas ocasionados pelo estresse por deficiência hídrica devido a distribuição irregular da precipitação pluvial. O objetivo principal da pesquisa foi avaliar o comportamento da disponibilidade hídrica sobre a cultura do milho, assim como estabelecer as melhores datas para a semeadura visando minimizar a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica e seus efeitos sobre a produtividade da cultura na região de Guarapuava-PR. O estudo foi desenvolvido no campus CEDETEG da Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, tendo como base uma série histórica de dados climáticos referentes ao período de 1984 a 2008, os quais foram compilados do acervo da estação agrometeorológica da universidade, localizada na latitude 25°23'02" S, longitude 51°29'43" W, a 1026 metros de altitude. A duração do ciclo da cultura foi calculada pelo acúmulo de soma térmica e a disponibilidade de água avaliada pelo balanço hídrico da cultura considerando a distribuição da precipitação pluvial e a evapotranspiração da cultura. A probabilidade de redução de produtividade de grãos foi estimada a partir da determinação da evapotranspiração máxima acumulada associada a índices pré-definidos de respostas da cultura à deficiência hídrica. Verificou-se que a cultura do milho é afetada pela distribuição da disponibilidade hídrica ao longo do ciclo e o estágio fenológico com maior probabilidade de submissão ao deficit hídrico é A-F (R1) (antese - fecundação); as semeaduras mais tardias no período recomendado tendem a ocasionar reduções na probabilidade de produção de grãos abaixo do intervalo da média e a data de 10 de novembro mostrou ser a mais indicada para a semeadura do milho na região por ocasionar os maiores índices de probabilidade de se obter produção de grãos dentro ou acima do intervalo da média associada com uma das menores probabilidades de se produzir abaixo deste intervalo e aos menores índices de ocorrência de deficiência hídrica no estágio A-F (R1).

Palavras-chave: precipitação pluvial; deficiência hídrica, unidade térmica diária, *Zea mays* L.

ABSTRACT

Wagner, Marcus Vinicius. Features Hydroclimatic for corn in Guarapuava-Pr

The maize is one of the main crops cultivated in Paraná State in cultivated area and volume of production. However, frequently the production is lost because of the problems happened by the stress of the soil water deficit and because of the irregular distribution of the rainfall. The main objective of this work was to measure the behavior of the water over the corn crop and how to establish the best days of sowing to minimize the chances of soil water deficit and its effects on the production of the crop in the region of Guarapuava. The study was developed on the campus CEDETEG in University Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO having base on the historic sequence of the climatic data on the period of 1984 to 2008 which were compiled on the collection of agrometereological station of the University located on the Latitude 25° 23'02'', Longitude 51° 29'43'' W in 1026 meters of altitude. The duration of the crop cycle was calculated on the accumulation of maximum plant height and available water between the water balance of the crop considering the distribution of the rainfall and the evapotranspiration of the crop. The chances of reduction the grain production were established trough the determination of the maximum of the evapotranspiration combined with the pre defined index of the answer of the crop on the soil water deficit. It showed that the corn crop is affected by the distribution of available water as long as the cycle and the phenological state and the chances of the submission on soil water deficit is A-F(R1) (anthesis-fecundation); the later sowing is the recommended period to cause the reduction of the chances of grain production below the average interval. The date of November, 10th showed to be indicated to the corn sowing in the region to obtain the biggest probability to get the grain production in or over the average interval, associate with one of the smallest chances to produce beneath the interval and one of the smallest indexes to happen the soil water deficit on A-F (R1) state.

Key words: rainfall, soil water deficit, thermal time, *Zea mayz* L.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura é um dos mais importantes setores da economia para a maioria dos países do mundo, entretanto, apresenta-se como uma das atividades de maior risco. Com o passar dos tempos o progresso técnico e científico propiciou a exploração das mais distintas regiões agrícolas, mas não eliminou sua dependência em relação ao clima.

Para esta atividade existem diversos fatores que precisam ainda ser mais bem definidos, podendo ser destacado as variações do comportamento climático e suas interferências no desenvolvimento e produtividade; os efeitos de diferentes níveis de disponibilidade hídrica sobre o rendimento potencial das diferentes culturas; bem como a importância da definição adequada da época de semeadura para o desenvolvimento e produtividade das culturas agrícolas.

Os efeitos evidentes da falta de água sobre as limitações ocasionadas sobre a produção agrícola em todo o mundo são amplamente conhecidos, sendo este recurso considerado o mais essencial ao crescimento e produção das culturas. Apesar da existência de um zoneamento agrícola para a região de Guarapuava-PR, tornaram-se necessários estudos visando aprimorar os conhecimentos sobre otimizações das delimitações das épocas de cultivo dentro dos períodos recomendados

Uma forma de se reduzir os prejuízos causados pelo deficit hídrico em culturas, seria a definição das épocas de semeadura, estudo das fases fenológicas nas quais os estádios mais críticos do ciclo de desenvolvimento das plantas não coincidam com os de maior deficiência de água no solo. Como os conhecimentos do comportamento climático não alcançaram até o momento os níveis imprescindíveis para o manejo integrado da atividade agrícola, principalmente em longo prazo, estimativas estatísticas da ocorrência de deficit hídrico regional podem ser de relevante utilidade.

O milho é um cereal de ampla utilidade. Tanto para o consumo humano, como animal e, também, industrial. Apesar dos grandes avanços agrotecnológicos a produtividade média da cultura no Brasil, ainda é considerada baixa e há muitos anos os mesmos problemas continuam a se repetir, como práticas ineficientes de manejo cultural, políticas agrícolas inadequadas e baixo retorno econômico.

A principal justificativa da pesquisa desenvolvida neste trabalho levou em consideração a importância da cultura de milho para a economia agrícola regional e nacional. Sendo esta, considerada de alta suscetibilidade à deficiência hídrica, onde na

região verificam-se eventos seqüenciais de reduzida ocorrência de precipitação pluvial durante o ciclo desta cultura.

2. OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho foram:

2.1. Principal

Avaliar o comportamento da disponibilidade hídrica sobre a cultura do milho, assim como estabelecer as melhores datas para a semeadura visando minimizar a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica e seus efeitos sobre a produtividade da cultura na região de Guarapuava-PR.

2.2. Complementares

Considerando diferentes datas de semeadura da cultura do milho dentro do período recomendado pelo zoneamento agrícola do Paraná, os objetivos complementares são:

- estimar índices de probabilidade de redução da produção de grãos da cultura em função de ocorrência de deficiência hídrica;
- estimar a probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica nos diferentes estádios fenológicos da cultura;
- estimar a duração dos estádios fenológicos da cultura considerando o comportamento da temperatura e soma térmica na região;
- Analisar o comportamento de alguns componentes do clima regional, como precipitação pluvial, balanço hídrico e evapotranspiração.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. O clima e a agricultura

Durante as últimas décadas a agricultura passou por expressivas transformações, tendo a produção e a produtividade alcançadas níveis cada vez mais elevados. Contudo, Ayoade (1998) descreve que apesar dos avanços tecnológicos e científicos, o clima ainda é a variável mais importante na produção agrícola, devido o potencial de limitar os rendimentos das culturas e pelas influências que exerce sobre todos os estágios da cadeia de produção agrícola, incluindo, colheita, armazenagem, transporte e comercialização.

Deve-se levar sempre em conta, que uma variável climática pode se modificar mediante outra variável. Ometo (1981) salienta que as variáveis climáticas estão inter-relacionadas na influência que exercem sobre a lavoura, com expressão as variáveis diárias, sazonais e anuais. Para o autor a escolha da cultura a ser desenvolvida começa pelas características locais climáticas, uma vez que cada cultura depende do solo, da radiação solar, precipitação, umidade relativa, além da sazonalidade.

Com relação ao clima sobre a cultura do milho, Sans, Morais e Guimarães (2006) salientam a importância relativa dos fatores que afetam a estação de crescimento da cultura de milho, varia conforme a região do país. O regime de chuvas praticamente determina a disponibilidade de água no solo, afetando indiretamente também as taxas de radiação, uma vez que chuvas intensas limitam a radiação solar que chega à superfície. Para estes autores, por razões essencialmente econômicas, o milho tem sido plantado principalmente no período chuvoso, uma vez que a cultura demanda um consumo mínimo de água para garantir uma produção satisfatória sem necessidade de irrigação.

3.2. Considerações sobre o zoneamento agrícola no Paraná

O zoneamento agrícola é uma informação fundamental para a organização dos programas de trabalho e suporte do planejamento da agricultura. Para Santos (1999) o conhecimento das condições edafoclimáticas é de extrema importância para as culturas, pois a delimitação das regiões climaticamente homogêneas pode estabelecer os indicadores do meio físico e biológico para a região, além de identificar áreas de condições homogêneas de atividades e dos recursos naturais nela existentes.

A quantificação dos riscos decorrentes de fatores climáticos deve ser busca constante dos pesquisadores visando o estabelecimento de probabilidades para a determinação das possibilidades de sucesso das diversas culturas em cada região e época de semeadura, principalmente no que se refere à influência da precipitação pluvial (KELLER, 1998). Para Schubnell (1998) na agricultura brasileira, o componente climático de maior risco é a precipitação pluvial, pois a seca e a chuva excessiva respondem pela maioria dos prejuízos na agricultura.

Segundo Moricochi et al. (1989) tecnologias simples e essenciais, como cultivares adaptados às condições regionais, uso de sementes fiscalizadas, densidade de semeadura apropriada, uso correto de fertilizantes, e, especialmente a definição da época mais adequada de cultivo, podem ser aplicadas para proporcionar condições que permitam que a cultura manifeste todo seu potencial produtivo. Para Assad et al. (2001) o Programa de Zoneamento Agrícola do Brasil passou a orientar os produtores quanto aos tipos de cultura a serem plantadas em cada região e quanto às épocas de semeadura mais favoráveis.

Sobre as considerações de zoneamento agrícola e suas aplicações Dallacort et al. (2006) sugerem que, para fins de estimativa da produtividade de cultivos, os modelos baseados em princípios agroclimatológicos mais importantes são aqueles que simulam as fases de desenvolvimento e de maturação das culturas, a disponibilidade de umidade no solo e os efeitos do estresse hídrico no rendimento da cultura. Para os autores os modelos são dinâmicos e funcionais, pois descrevem mudanças diárias nas variáveis da cultura, considerando os principais processos morfofisiológicos que nela ocorrem.

No Brasil, existem trabalhos relacionados ao zoneamento agroclimático da cultura de milho, os quais, em geral, baseiam-se na caracterização de uma região a partir dos valores de temperatura média do ar e de variáveis derivadas de balanço hídrico (FORNASIERI FILHO, 1992). Conforme Embrapa (1997) o Brasil vem sendo dividido em diferentes regiões objetivando estabelecer a época e os locais adequados para a semeadura de milho, utilizando estudos de zoneamento agrícola, onde se procura estratificar diferentes fatores na busca de indicadores para a definição das épocas e os locais aptos e inaptos para o cultivo do milho.

O sucesso na produção de milho está relacionado com a época de semeadura, sendo de grande importância conhecer os fatores ambientais de risco que tendem a minimizá-la. Dessa forma, quanto mais eficiente for o planejamento das atividades relacionadas com a produção, maior será o sucesso com a cultura (SANS; MORAIS; GUIMARÃES, 2006). Segundo Mota (1983) os estudos sobre zoneamento climático para a cultura de milho, têm

incluído, como principais variáveis limitantes, a deficiência hídrica, a insuficiência térmica e a falta de uma estação seca na época de colheita. Para o autor a escolha da época de semeadura destaca-se no controle da deficiência hídrica valendo-se de mecanismos de escape, pois pode ser ajustada para evitar períodos de baixa precipitação durante estádios críticos e fazer coincidir as etapas de florescimento com períodos favoráveis de disponibilidade hídrica.

3.2.1. Características climáticas da região

Com relação a classificação climática, Wons (1994), considera que os climas do mundo são classificados em três divisões principais – o clima das baixas, das médias e o das altas latitudes. Para Ayoade (1985) essas três divisões estão subdivididas em 14 regiões climáticas as quais se acrescenta ainda o clima das terras altas, onde a altitude surge como controlador dominante. Segundo esta teoria, Guarapuava, bem como toda a Região Sul do Brasil se enquadra na classificação dos "Climas das latitudes médias — climas controlados pelas massas de ar tropicais e polares". Portanto, clima subtropical úmido denominado largamente por massa de ar de origem marítima.

Considerando a classificação climática de Köppen (1948), a região de Guarapuava se caracteriza por apresentar clima Subtropical Mesotérmico Úmido (Cfb), tendo como principais características a ocorrência de verões frescos (temperatura média inferior a 22°C), invernos com eventos de geadas severas e frequentes (temperatura média superior a 3°C e inferior a 18°C) e a ausência de estação seca. A altitude, que varia entre 1000m e 1200m em relação ao nível do mar, combinada com a latitude de 25° garante um clima ameno à maior parte do ano. De acordo com Monteiro (1963) e Mendonça (1997) as condições climáticas caracterizam-se pelas influências dos sistemas atmosféricos intertropicais (massa tropical atlântica, massa tropical continental e massa equatorial continental) e polares (massa polar atlântica), havendo, contudo, participação moderada dos sistemas intertropicais e participação mais efetiva do sistema extratropical. Conferindo à região um clima com característica subtropical.

De acordo com os dados compilados do acervo da estação meteorológica da Unicentro no resumo histórico climático da Cidade de Guarapuava (1976-2008), a precipitação média anual da região é de aproximadamente 1800 mm, porém ocorreram anos com valores superiores. Casos extremos foram registrados no ano de 1983, com 3168,4 mm. A chuva se distribui ao longo do ano com todos os meses apresentando precipitação pluvial média entre 140 a 200 mm, à exceção do mês de agosto com média inferior a 90 mm. Em relação às chuvas intensas (12 horas), podem-se destacar alguns

eventos significativos ocorridos: setembro de 1983 (110,8 mm), julho de 1983 (140,3 mm), maio de 1992 (165,2mm) e abril de 1998 (206 mm). Assim, são comuns os eventos torrenciais (aguaceiros), que causam sérios prejuízos em função da elevada intensidade de precipitação. Outra característica climática são as temperaturas negativas como as ocorridas: julho de 1988 (-4,2°C.), julho de 1989 (-3,8°C.) e 4,4°C no mês de julho de 1994 (IAPAR, 1994).

O estado do Paraná, embora com boa disponibilidade hídrica anual na maioria das regiões, apresenta grandes variações na distribuição temporal e espacial da precipitação (CARAMORI et al., 1991). Na região de Guarapuava-PR, o período recomendado para a semeadura do milho está compreendido entre 21 de setembro a 10 de novembro, (CARAMORI, 2003).

3.3. Necessidades – efeitos da água

As variações no regime hídrico e climático são os fatores que mais atuam na limitação da produção agrícola mundial. De acordo com Ortolani e Camargo (1987) a frequência e a distribuição inadequada das precipitações são responsáveis por 60 a 70% da variabilidade final da produção agrícola. Para os autores, é de suma importância o conhecimento histórico das condições climáticas para efetuar o planejamento dos cultivos e o manejo a ser realizado durante o ciclo da cultura, observando-se cuidadosamente o comportamento da precipitação e da intensidade da evapotranspiração, visando evitar, ou, reduzir ao máximo a ocorrência de déficit hídrico.

O adequado desenvolvimento das culturas agrícolas é dependente de interações entre os fatores referentes à dinâmica do sistema solo, planta e atmosfera, Frizzone et al. (2005) descrevem a ocorrência de uma relação funcional entre esses fatores e a produção das culturas, sendo esta dependente das condições do ambiente, onde a inadequada disponibilidade hídrica pode suprimir o efeito de fatores genéticos e de manejo como a fertilidade de solo e tratamentos culturais restringindo o potencial produtivo da cultura.

Com relação ao regime hídrico Assis (1991) relata que nas regiões tropicais as precipitações pluviais não são harmoniosamente distribuídas em torno da média, mas de maneira irregular, podendo em muitos casos inviabilizar o cultivo e a produção agrícola em lavouras não irrigadas. Para este autor no que concerne à chuva para a agricultura, em geral a frequência deve ser considerada como aspecto mais importante do que os volumes totais precipitados. A este respeito, Silva et al. (1998) afirmam que estudos da distribuição da precipitação pluvial e da intensidade da evapotranspiração potencial devem ser

considerados para implantação dos cultivos, possibilitando estimar a disponibilidade hídrica e a provável condição de água durante o ciclo da cultura.

Em suas pesquisas, Mota (1983) e Barni e Matzenauer (2000) identificaram a precipitação pluvial como a principal variável climática que ao longo dos anos determina as variações na produção de grãos, nas diferentes regiões do estado do Rio Grande do Sul. Conforme Berlato e Fontana (1999) a precipitação pluvial de dezembro a março, explica cerca de 80% da variação interanual do rendimento das culturas no Estado. Em trabalhos efetuados por Berlato (1992), Fontana e Berlato (1997) e Fontana et al. (2001), observa-se que a distribuição da precipitação pluvial foi a variável climática que mais ocasionou reduções na produção agrícola gaúcha nos últimos trinta anos.

Castro (1994) afirma que é necessário o conhecimento de um intervalo mínimo de dados de precipitação pluvial para que se possa refletir sobre as condições ambientais de uma região em relação à determinada cultura agrícola, pois sendo a chuva um fenômeno de ocorrência aleatória, a sua quantidade, distribuição e intensidade podem variar consideravelmente.

O desenvolvimento das plantas pode ser afetado por diferentes fatores, Letey (1985) destaca que dentre os principais está o armazenamento de água no solo, cujas restrições podem prejudicar a velocidade do fluxo de absorção de água pela planta. Subarao et al. (1995) citam que os vegetais desenvolvem processos visando maior eficiência para a absorção e manutenção da água e entre os principais mecanismos desta adaptação à falta d'água, relatam o desenvolvimento do sistema radicular, a alta condutividade hidráulica na raiz (maximizar a captação de água), o controle da abertura estomática e a redução da área foliar (minimizar as perdas de água).

Matzenauer e Sutili (1983) destacam que em relação aos vegetais o consumo de água é determinado por fatores preponderantes, estando dentre os principais a demanda evaporativa da atmosfera, tipo de solo, a morfologia das plantas condições que afetam a área foliar, distribuição e profundidade do sistema radicular e tamanho de plantas. Albuquerque, Sangoi e Ender (2001) salientam que para uma análise da necessidade real de água para as plantas é necessário se considerar fatores como o somatório da evaporação da água de superfície do solo com a transpiração das plantas através dos diferentes mecanismos de extração da água do solo sua liberação para a camada de ar adjacente, e o acréscimo da demanda hídrica e das perdas nas diferentes fases do desenvolvimento vegetal. Para Watts e Dexter (1998) a transpiração representa em termos quantitativos 70 a 80% e a evaporação em 20 a 30% da evapotranspiração ao longo do ciclo das culturas.

A velocidade com que ocorre a extração de água no solo é determinada pela cultura e é variável com o tempo, dependendo da expansão da área foliar e do crescimento do sistema radicular. Contudo o crescimento das raízes contribui para o aumento de extração, à medida que o volume do solo explorado pelo sistema radicular aumenta a eficiência de absorção de água ao longo da arquitetura radicular torna-se maior (BASSOI et al., 1994).

A água, elemento importante para o crescimento das células é essencial para a manutenção da turgescência. Petry (1991) relata que a importância da manutenção do turgor nas células é permitir a continuidade dos processos morfofisiológicos do crescimento vegetal, da expansão e da divisão celular e da fotossíntese.

À medida que o solo começa a perder água, a disponibilidade hídrica para as plantas torna-se cada vez mais reduzida e ocorrem alterações nas propriedades físico-hídricas do solo, como decréscimos na condutividade hidráulica não saturada que pode atingir valores críticos diminuindo-se o fluxo de água para manter a taxa transpiratória. A transpiração fica interdependente das características físico-hídricas do solo mais do que da demanda evaporativa da atmosfera (DENMEAD; SHAW, 1962).

O comprometimento do processo transpiratório por deficit hídrico ocasiona mudanças no comportamento normal das plantas. Glenn, Scorza e Basset (2000), observaram que a redução da absorção de água e a desidratação das células comprometem os processos fisiológicos e estes afetam os componentes do crescimento. Estando o solo com uma menor disponibilidade de água, a taxa de transpiração decresce juntamente com o aumento do processo de fechamento estomático, e a persistência desta condição desencadeia o acionamento de mecanismos de defesa das plantas em contraposição às perdas exageradas de água e ao processo de desidratação. Para Larcher (2006) a desidratação reduz a multiplicação e o alongamento das células, resultando no comprometimento no desenvolvimento do dossel vegetativo.

Quando as plantas são freqüentemente submetidas a diferentes graus de deficit hídrico durante o ciclo de desenvolvimento, os efeitos são variados, podendo inclusive ocorrer indução da planta ao envelhecimento precoce, como um mecanismo de defesa para a perpetuação da espécie (NEY, 1994). Para Alfonsi et al. (1998) ocorre estresse de água nas plantas quando o potencial no solo está comprometido por um longo período sem a restituição do volume em níveis superiores da capacidade de armazenamento disponível. Os mecanismos de resistência à seca podem ser de três tipos: i) evitar, ii) tolerar e iii) escapar da seca (LEVIT, 1972). “Evitar” a seca ocorre quando o ‘status’ de água é mantido em potenciais elevados, mesmo em presença de ambientes secos. As plantas evitam a seca

através do fechamento dos estômatos, aprofundando o sistema radicular para extração de água, diminuindo o tamanho das células, espessando as paredes celulares, aumentando a cerosidade da cutícula, dentre outros, para a manutenção de suas funções fisiológicas. “Tolerar” a seca acontece quando as funções das plantas são mantidas em equilíbrio durante um déficit hídrico interno elevado, com baixos potenciais de água. “Escapar” da seca ocorre quando a planta completa seu ciclo antes do advento da seca, ou seja, o seu ciclo ocorre nos períodos hídricos favoráveis do ano.

Vaux e Pruitt (1983) apresentaram os efeitos gerais do estresse hídrico sobre o rendimento, e evidenciaram as múltiplas interações entre o grau de estresse hídrico e algumas das características como crescimento, desenvolvimento, fases fenológicas e produção das plantas. Jadoski et al. (2005) verificaram que plantas de pimentão desenvolveram mecanismos bioquímicos de resistência ao estresse por deficiência hídrica quando submetidas a diferentes níveis de disponibilidade de água durante o ciclo. Os autores demonstram que as plantas que são submetidas a ciclos de umedecimento e secagem prolongada do solo passaram a se manter por mais tempo em condições de normalidade fisiológica, em comparação com plantas mantidas sob níveis elevados de umidade no solo, que exibiram níveis de estresse aproximadamente trinta dias antes.

O estresse ocorre devido às variações ambientais de maior ou menor grau, alterando o padrão fisiológico normal da planta. Muitas alterações ocorrem na planta durante os períodos de deficiência hídrica, isto depende dentre outros, da duração e da severidade do estresse, do genótipo e do estágio de desenvolvimento da planta (CORDEIRO; SÁ, 2001). Para Kramer e Boyer (1995) as maiorias dessas modificações ocorrem visando à manutenção do desenvolvimento e da reprodução da planta nas condições de disponibilidade de água.

Estudando o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento de grãos das culturas Kelling (1995) e Alfonsi et al. (1998) verificaram expressiva dependência entre os estádios fenológicos da planta no momento do estresse e o grau de dano sobre o seu desenvolvimento e redução do potencial de produção.

3.4. Balanço hídrico

O balanço hídrico climatológico, desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) é uma das várias maneiras de se monitorar a variação do armazenamento de água no solo. Através da contabilização do suprimento natural de água ao solo, pela chuva (P), e da demanda atmosférica, pela evapotranspiração de referencia (Etr), e com nível máximo de

armazenamento ou capacidade de água disponível (CAD) apropriada ao estudo em questão, o balanço hídrico fornece estimativa da evapotranspiração real (ETR), da deficiência hídrica (DEF), do excedente hídrico (EXC) e do armazenamento de água no solo (ARM), podendo ser elaborado com precisão em escalas diárias até a mensal (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

O balanço hídrico climatológico é mais freqüentemente apresentado na escala mensal e para um ano médio, ou seja, o balanço hídrico cíclico, elaborado a partir das normais climatológicas de temperatura média e chuva do local. De acordo com Camargo e Camargo (1997), o balanço hídrico climatológico é um instrumento agrometeorológico útil e prático para caracterizar o fator umidade do clima, sendo sua utilização indispensável na caracterização climática (VIANELLO; ALVES, 1991).

O Balanço Hídrico Seqüencial (BHS) nos possibilita estimar a probabilidade de ocorrência de deficiências ou excessos hídricos nos diferentes tipos de solos, através do estudo de séries longas de dados climatológicos. Quanto mais longa a série, melhor é o ajuste das funções de distribuição e mais precisa é a estimativa de probabilidade de ocorrência (ASSIS; ARRUDA; PEREIRA, 1996).

A importância do balanço hídrico (BH) como ferramenta para avaliar a intensidade das saídas e entradas de água no solo e, por conseguinte, para definição dos períodos mais prováveis de déficit hídrico para as plantas, está relacionada ao conhecimento dos fatores que o compõem (evapotranspiração, precipitação, drenagem interna ou ascensão capilar e variação do armazenamento de água no solo) como, também, ao conhecimento das características das plantas, principalmente, da sua fenologia, que representa o ponto de partida para a interpretação coerente dos resultados do balanço (ANDREATTA, 1990).

O Balanço Hídrico (BH) consiste num “método de se calcular a disponibilidade de água no solo para as comunidades vegetais”, e conforme Tubelis e Nascimento (1992) representando um subsídio importante para complementar as orientações técnicas de cultivo. Para Dantas, Carvalho e Ferreira (2007) os resultados de um BH podem ser utilizados para o zoneamento agroclimático da região, demanda potencial de água das culturas irrigadas, definição de prioridades no planejamento de pesquisas ou, ainda, no conhecimento do regime hídrico para adaptar por épocas de semeadura ou definir a opção por cultivos irrigados.

De acordo com Rossato (2002) o balanço hídrico (BH) consiste em avaliar a contabilidade hídrica do solo, até a profundidade explorada pelas raízes, calculando-se, sistematicamente, todos os fluxos positivos (entrada de água no solo) e negativos (saída de

água do solo).

3.5. Evapotranspiração

Para o estudo do regime hídrico de um local, a evapotranspiração é um fator essencial como integrante do processo de fluxo de água do solo para atmosfera. Para Ferreira e Pereira (1998) a evapotranspiração é um dos principais componentes do balanço de água no solo, possuindo grande utilidade na climatologia, quer para classificações climáticas, quer para quantificação das disponibilidades hídricas regionais através da comparação da precipitação contra a variação no teor de água no solo.

Segundo Camargo e Camargo (2000), nos anos 40 do século passado, Thornthwaite utilizou o termo evapotranspiração potencial (Eto) para expressar a ocorrência simultânea dos processos de transpiração e evaporação de um extenso gramado (superfície padrão de posto meteorológico), sem restrição hídrica, e em crescimento ativo. Penman (1956) também adotou essa definição de Eto. Assim definido, este processo representa um elemento que se contrapõe à chuva para expressar a disponibilidade hídrica regional. Teoricamente, pode ser interpretado como o nível de precipitação adequado para que não ocorra deficiência de água no local.

A evapotranspiração pode ser classificada em dois tipos: a evapotranspiração real e a evapotranspiração potencial ou de referência (para o caso de se considerar $E_{tp}=E_{to}$). A primeira é a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação, nas condições reais de fatores atmosféricos e umidade do solo. A segunda é a quantidade de água transferida à atmosfera por evaporação e transpiração, na unidade de tempo de uma superfície extensa e completamente coberta por vegetação de porte baixo e bem suprida de água, ou seja, considerando condições ideais para a mesma (TUCCI; BELTRAME, 2001).

Na escolha de um método para a determinação da evapotranspiração, devem ser levados em consideração praticidade e precisão, pois, apesar de esses métodos teóricos e micrometeorológicos serem baseados em princípios físicos, apresentam limitações, principalmente quanto à instrumentação, o que pode restringir a utilização (BERLATO; MOLION, 1981). Estudando a correlação da evapotranspiração de referência (Eto) estimado pelo método de Penman-Monteith e medida em lisímetro de drenagem, Peres, Pereira e Frizzone (1995) concluíram que a correlação entre os dados medidos foi coerente em relação aos dados estimados, tanto na escala decenal quanto na escala mensal, demonstrando que esse método pode ser utilizado de forma prática.

Existem métodos diretos e indiretos para o cálculo da evapotranspiração. Os

métodos indiretos geralmente se baseiam em fórmulas que combinam diferentes elementos climáticos. Segundo Pereira, Angelocci e Sentelhas (2002) a evapotranspiração pode ser estimada a partir de uma série de modelos tais como: Thornthwaite (1948), Monteith (1965), Doorenbos e Pruitt (1977), Hargreaves (1985) e Penman-Monteith adaptado por Allen et al. (1998).

Em 1990, os métodos recomendados pela FAO no Boletim número 24 de 1977 foram submetidos a uma revisão feita por especialistas chegando-se à conclusão de que o método de Penman-Monteith apresentava melhores resultados, por serem baseados em processos físicos e por incorporar parâmetros fisiológicos e aerodinâmicos (ALLEN et al., 1998).

A Comissão internacional de irrigação e Drenagem (ICID) considera o método de Penman-Monteith como padrão de estimativa da evapotranspiração de referência, a partir de dados climatológicos, sendo utilizado também para avaliar outros métodos (SMITH, 1991). Diversos trabalhos vêm mostrando que o desempenho desse método é satisfatório, quando comparado com medidas em lisímetros (MAGGIOTTO, 1996; CAMARGO; SENTELHAS, 1997; SENTELHAS, 1998).

Para Sedyama (1996), dentre os métodos de estimativas de evapotranspiração o modelo combinado de Penman-Monteith é um dos mais avançados. Monteith desenvolveu com base na equação Penman, um modelo que não somente concilia os aspectos aerodinâmicos e termodinâmicos, mas também inclui a resistência do ar ao fluxo de calor sensível (RAH) e vapor d'água (RAV) e a resistência da superfície vegetada (RC) à transferência de vapor d'água para a atmosfera.

Nas áreas que possuem dados de temperatura, umidade, vento e radiação solar ou radiação, sugere-se o emprego do método de Penman, por proporcionar resultados satisfatórios para avaliar os efeitos do clima sobre as necessidades de água das plantas (MOREIRA, 1992).

Doorenbos e Kassan (1994) recomendam estudos regionalizados sobre a relação entre queda de rendimento relativo e o deficit de evapotranspiração relativa, com teste dos fatores de resposta da produção ao deficit hídrico, já que as condições de produção durante o ciclo da cultura são específicas do local e da variedade utilizada.

3.6. Fenologia

Fenologia para De Fina e Ravelo (1973), é o ramo da ecologia que estuda os fenômenos periódicos dos seres vivos, bem como suas relações com as condições

ambientais (luz, temperatura, umidade). A primeira tentativa de relacionar a fenologia das plantas com índices bioclimáticos baseados na temperatura do ar foi realizada por Reamuner, em 1735, o qual chegou à conclusão de que as plantas só iriam completar seu ciclo vegetativo quando obtivesse uma determinada soma térmica, sendo esta específica para cada cultivar, independente do local onde fosse cultivada (SOUZA, 1989).

Os estádios fenológicos surgiram visando facilitar o detalhamento das etapas de desenvolvimento das plantas. Para Bergamaschi (2006) são as transformações que ocorrerão nos processos de crescimento e de desenvolvimento das plantas, como a germinação, brotação, florescimento, espigamento, maturação e os seus conhecimentos que ajudam a melhorar a descrição do ciclo da cultura. O autor acrescenta que dentro dos estádios fenológicos pode haver as suas subdivisões (subperíodos). O subperíodo é definido como o tempo decorrido entre duas fases consecutivas, considerando-se que, ao longo destes, as necessidades e as estruturas da planta são praticamente constantes. Alguns subperíodos são facilmente observados, com o aparecimento ou desaparecimento de órgãos, enquanto que outros, por serem invisíveis (órgãos), são somente perceptíveis através de exames detalhados, como microscopia ou análises químicas.

Conforme Matzenauer (1997) a previsão dos estádios fenológicos é importante no planejamento das melhores épocas de semeaduras e também nos estudos de adaptação de cultivares. Para Bergamaschi (2006) as aplicações da fenologia seriam para se determinar os períodos críticos das culturas à deficiência hídrica, auxiliar nos períodos em que há maior demanda de necessidade de água, na elaboração dos zoneamentos agrícolas, para épocas de melhor aplicação de fertilizantes, para a classificação de cultivares quanto à precocidade e no manejo de pragas.

O ciclo de vida da planta de milho pode ser dividido em uma série de estádios fenológicos (FANCELLI, 2002). Em cada estágio são identificadas mudanças que os caracterizam e pode ser dividido em duas grandes fases: vegetativa e reprodutiva. Ritchie et al. (1993), efetuou as subdivisões dos estádios vegetativos de milho através das designações pela letra “V”, mais um valor numérico, que representaria o número de folhas totalmente expandidas. Os estádios (fases) vegetativos vão de V1 até Vn (n sendo o número total de folhas expandidas antes do estágio VT). Os estádios (fases) reprodutivos são relativos ao desenvolvimento do grão desde a polinização a maturação.

Fancelli e Dourado Neto (2000) adaptaram a escala de Hanway (1966) de conformidade com o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, subdividindo-se em cinco períodos: (1) germinação e emergência; (2) crescimento vegetativo; (3) floração; (4)

frutificação e; (5) maturação fisiológica.

Segundo estes autores, no estágio de desenvolvimento V6, conhecido como estágio “cartucho”, a planta apresenta seis folhas, estando o sistema radicular nodal em pleno funcionamento e em crescimento, sendo este o principal sistema radicular em funcionamento. Se o estresse hídrico ocorrer nesta fase, há a inibição do alongamento das células em desenvolvimento, e, por conseguinte diminuição do comprimento dos internódios do caule, colmos mais finos, plantas menores e menor área foliar fotossintética ativa, e redução de produção.

Na tabela 1, são apresentados os estádios fenológicos da cultura do milho, conforme Ritchie, Hanway e Benson (1993).

Tabela 1. Estádios Fenológicos de uma planta de milho.

Estádios vegetativos	Estádios reprodutivos
VE- emergência	A- antese
V1- primeira folha	R1- florescimento e fecundação
V2- segunda folha	R2- grão leitoso
V3- terceira folha	R3- grão pastoso
V6- sexta folha	R4- grão farináceo
V9- nona folha	R5- grão farináceo-duro
V12- décima segunda folha	R6- maturidade fisiológica (MF)
V15- décima quinta folha	
V18- décima oitava folha	
VT- pendoamento	

Fonte: adaptado de Ritchie, Hanway e Benson (1993).

Fancelli e Dourado Neto (2000) descrevem os estádios de desenvolvimento fenológicos da cultura do milho considerando as seguintes características:

- No estágio **V7-V10**, ocorre uma grande demanda de água para satisfazer as necessidades das plantas de milho devido à taxa de desenvolvimento dos órgãos florais (início do pendão), alongamento do caule. Ocorre a definição dos números de fileiras da espiga.

- O estágio que vai **V10-VT**, significa planta com dez folhas ao pré-pendoamento. Sendo considerado o intervalo onde ocorrem vários pontos críticos à produção da cultura se houver algum nível de incidência de maneira distúrbios por deficit hídrico. Neste intervalo, há a definição dos grãos em potencial, ao tamanho das espigas, e é definido o

aparecimento de novas raízes adventícias.

- Estádio do **pendoamento** (VT) é quando o pendão se torna visível e os estilos-estigmas (cabelos da espiga) não são visíveis. Acontece em torno de 2 a 4 dias antes dos “cabelos”. O período de duração do pendoamento (inflorescência masculina) e sua liberação de pólen estendem-se por sete a catorze dias, ocorrendo geralmente nos finais das manhãs ou no início das noites. Um dos fatores a reduzir a produção de grão de pólen é o déficit hídrico. Este pode levar também a uma maior falta de sincronismo entre liberação de pólen e o florescimento feminino.

- O estágio reprodutivo **R1** (florescimento feminino) é o primeiro que ocorre após o período vegetativo, começa quando o estilo-estigma (cabelo da espiga) é visível fora da espiga. A polinização ocorre quando um grão de pólen é capturado por um estilo-estigma. A fertilização do óvulo (O_+) pelo pólen (O^m) ocorre de 12 a 36 horas após o início do processo de polinização, dependendo do teor de umidade e da temperatura do ar. O estresse hídrico neste período ocasiona espigas mal formadas (baixa granação) e defeituosas.

- O estágio **R2** é também conhecido como “bolha d’água” ou “grão leitoso”, os grãos apresentam-se brancos na parte externa. O amido começa a acumular no endosperma e os grãos estão com acúmulo de massa seca e enchimento. As umidades dos grãos se situam em torno de 85%.

- No estágio **R3** ou “Grão pastoso”, os grãos apresentam uma coloração amarelada, ocorre à definição da densidade e o rápido acúmulo de massa seca do grão que se encontra com mais ou menos 80% de umidade. O crescimento é ocasionado pela expansão celular e enchimento com amido.

-No estágio **R4** ocorre continuação do desenvolvimento dos grãos ao acúmulo de amido, o líquido interno fica espesso, ficando mais farináceos, os grãos encontram-se aproximadamente com 70% de umidade e o milho está com metade de seu peso de maturação. A deficiência hídrica neste estágio acarretará em grãos leves e pequenos.

-No estágio **R6** ou “maturação fisiológica” o máximo acúmulo de massa seca é pouco afetado pelo estresse hídrico. Na parte basal do grão a cor é preta ou marrom. Para o sentido da ponta à base da espiga com maior pronunciamento, ocorre o rompimento do elo da planta mãe com o fruto. O teor de umidade encontra-se entre 35 a 38% e não há perdas por déficit hídrico neste estágio.

3.7. Soma térmica

A soma térmica é uma maneira de relacionar o crescimento e o desenvolvimento de

um vegetal com a temperatura do ambiente, o qual corresponde ao total acumulado de graus-dias necessários para o vegetal completar um subperíodo ou todo o seu ciclo (BARBANO et al., 2003). O conceito de graus-dia ou de unidades térmicas diárias (UTD) assume que existe uma temperatura (temperatura base), abaixo da qual a planta não se desenvolve, e se o fizer é em quantidade muito reduzida; além disso, pressupõe uma relação completamente linear entre acréscimo de temperatura e desenvolvimento vegetal (BRUNINI et al 2001). De acordo com Nesmith e Ritchie (1992), um dos métodos utilizados para se relacionar temperatura e desenvolvimento do milho é o da soma de temperaturas, unidades térmicas ou graus-dia, e definida como o acúmulo térmico, acima de uma temperatura base, necessária para que a planta atinja um determinado estágio fenológico de desenvolvimento.

A soma térmica é uma medida amplamente utilizada para avaliar a duração dos diferentes estádios de desenvolvimento das plantas de milho e também empregada para classificar as cultivares quanto ao seu ciclo de vida. O conceito de graus-dia (GD) e graus-dia acumulados (GDA) foi introduzido para superar inadequações no calendário civil, visando prever eventos fenológicos (WARINGTON; KANEMASU, 1983), identificar as melhores épocas de semeadura, escalonar a produção das culturas e programas de melhoramento (PRELA; RIBEIRO, 2002). Para Barbano et al. (2001), tal metodologia possibilita determinar com boa precisão a duração das fases fenológicas de várias espécies vegetais.

Segundo Monteith e Elston (1996) ocorre um aumento da taxa de desenvolvimento das plantas dentro da melhor faixa de variação da temperatura, sendo assim, o ciclo de determinadas espécies, não pode ser corretamente estimado considerando somente o calendário, sendo que em vez do número de dias, o acúmulo térmico que a planta necessita para completar parte ou todo o ciclo tem-se demonstrado mais preciso para caracterizar o ciclo de vida das plantas. Para Brunini et.al, (2006) a duração aproximada, em dias, dos subperíodos: germinação-início florescimento masculino, e germinação-início de maturação para híbridos de milho o melhor método de se determinar seria o de soma térmica para completar diferentes períodos fenológicos de diversos cultivares de milho podendo a duração destas quantificadas em decorrência da temperatura média do ar.

O conhecimento das exigências térmicas, associado ao conhecimento da fenologia da cultura, pode ser utilizado no planejamento da utilização de insumos, definição da época de semeadura e época de colheita (GADIOLLI et al., 2000) e sua duração dos estádios de desenvolvimento das plantas (STEWART; DWYER; CARRIGAN, 1998).

A temperatura-base considerada para o cálculo da soma térmica é de 10°C para todo o ciclo da cultura do milho (BERLATO; MATZENAUER, 1986). Maluf, Cunha e Evangelista

(2001) destacam que as exigências térmicas da maioria dos genótipos de milho podem variar para os processos de germinação e crescimento, porém pouco se desenvolvem com temperaturas inferiores a 10°C. Estimativas da temperatura mínima de crescimento ou temperatura base para o milho situam-se entre 10 e 8°C (STEWART; DWYER; CARRIGAN, 1998). Estes autores indicam as temperaturas de 10, 30 e 41°C como a temperatura mínima, ótima e máxima de crescimento do milho, respectivamente. Conforme Brunini et al. (2006) as estimativas da temperatura máxima para o período vegetativo e reprodutivo encontram-se entre 19 e 34°C.

A disponibilidade térmica tem influência direta sobre o desenvolvimento fenológicos das plantas, de tal forma que locais ou períodos mais quentes determinam desenvolvimento mais rápido destas. Logo, em regiões ou mesmo épocas mais quentes, há maior precocidade no desenvolvimento das plantas de milho (BERGAMASCHI, 2006).

A perspectiva da duração de uma fase fenológica para a cultura do milho está relacionada com aspectos fisiológicos, bioquímicos e, especialmente morfológicos. Sangoi et al. (2001) relatam que o número de dias entre a emergência e a floração é um importante referencial do desenvolvimento da planta de milho, pois há uma correlação positiva entre essa variável e a área foliar, o número de folhas, a estatura da planta e podendo afetar a produtividade.

Quirrenbach (2007) em pesquisa com cultivo de milho em duas cidades do Paraná (Arapoti e Castro) observou que o acúmulo de soma térmica da emergência a floração, variou devido às diferenças de temperatura que foram mais elevadas nos estádios vegetativos da cultura em Arapoti resultando 69,2 dias e 77 dias em Castro.

3.8. Necessidades hídricas da cultura do milho

Quando submetidas à baixa disponibilidade de água no solo as plantas alteram seu comportamento fisiológico. No caso do milho Carlesso et.al. (2001), destacam que em situações de deficit hídrico a cultura reage enrolando as folhas nos momentos de maior demanda atmosférica, e que períodos contínuos de deficiência hídrica afetam o desenvolvimento fenológico ocasionando redução do comprimento de entrenós e, conseqüentemente, da altura, além da área foliar das plantas.

Muitos trabalhos têm sido realizados com os objetivos de se determinar a ocorrência e a duração do deficit hídrico em milho. As respostas das plantas quando são submetidas à deficit hídrico podem variar conforme o estágio de desenvolvimento, o genótipo, e com duração e grau de severidade do deficit. Santos (1997) e Wolschick (2008) assinalam que para

claro entendimento do comportamento das plantas em condições de deficiência hídrica, é necessário quantificar e acompanhar as variações da disponibilidade de água no solo, ao mesmo tempo estudar e analisar a influência dos mecanismos utilizados pelas plantas para reduzir as perdas de água.

A cultura do milho é considerada como exigente quanto à disponibilidade hídrica. Fancelli e Dourado Neto (1997) destacam que a cultura do milho necessita de lâmina de 400 mm a 600 mm de água durante o ciclo para adequado desenvolvimento e produção de grãos e que esta exigência de água pela planta de milho é função do genótipo da planta, estágio de desenvolvimento e ciclo da planta, em associação com os fatores ambientais. Já Durães et al., (2004) destacam que a cultura exige lâmina de precipitação em torno de 350 a 500 mm durante o seu ciclo de desenvolvimento, com um consumo diário de 3 mm até o estágio de sete folhas ou com altura inferior a 30 cm. Em períodos posteriores à antese e fecundação este consumo se eleva para 5 a 8 mm diários.

Matzenauer et al. (2002) determinaram o consumo de água pela cultura do milho para vários locais em diferentes anos, e destacaram a alta associação entre a disponibilidade hídrica e o rendimento de grãos. Tomaselli e Villa Nova (1995) apresentaram resultados de pesquisas que evidenciam expressiva relação entre deficiência hídrica e redução de produtividade da cultura.

Na fase inicial do processo a deficiência hídrica afeta a germinação das sementes, e o estabelecimento da cultura reduzindo a população de plantas. Logo após, o estresse hídrico poderá atrasar ou paralisar o crescimento vegetativo, ou ainda numa fase posterior o desenvolvimento reprodutivo das plantas (FANCELLI, 2002).

A falta de disponibilidade de água no solo durante o pré-florescimento afeta o desenvolvimento das estruturas vegetativas das plantas, para Shussler e Westgate (1991) isto acontece devido ocorrer redução da capacidade de produção de fitomassa. Zinselmeier, Lauer e Boyer (1995) acrescentam que a partir deste estágio até ao início de enchimento de grãos, a cultura do milho é extremamente sensível ao deficit hídrico, devido aos processos fisiológicos ligados à formação do zigoto e início do enchimento de grãos. Para estes autores a ocorrência de deficiência hídrica durante a antese e logo após a fertilização causa abortamento das flores, reduzindo a produção de grãos.

O efeito do deficit hídrico sobre a produção de grãos pode ser diferenciado em função da fase de desenvolvimento fenológico da cultura do milho. Durães et al. (2004) relatam que considerando estádios como emergência, o florescimento e a formação dos grãos, as maiores reduções de produtividade foram ocasionados pela ocorrência de deficit hídrico no período de

quinze dias antes e quinze dias após o florescimento, sendo este considerado como o período crítico da cultura em relação à falta de água no solo. Bergamaschi et al. (2004) constataram que pode haver redução de produção mesmo em anos onde as condições climáticas sejam favoráveis, se ocorrer déficit hídrico no período crítico. Os autores observaram redução de 25% e 50% da produtividade de quando o déficit hídrico ocorreu na emissão dos estigmas e no florescimento, respectivamente.

De acordo com Fancelli (1995) os períodos de deficiência hídrica de sete dias no estágio do pendoamento podem provocar queda de produção de 40% a 50 %, e que após essa fase de polinização provocam reduções de produção de 25% a 32%. Já Durães et al. (2004) demonstraram que dois dias de estresse hídrico nos períodos críticos diminuem a produtividade da cultura em 20% se o estresse permanecer por mais de quatro a oito dias a redução de produção poderá ser em até 50%.

Pesquisando as relações hídricas da cultura do milho, Medeiros et al. (1991) observaram que o período de desenvolvimento mais afetado pela deficiência hídrica está compreendido entre dez dias anterior e dez dias posterior ao pendoamento e também durante o espigamento. Os autores complementam que a severidade dos períodos de estiagem pode afetar de forma diferenciada a cultura. Outros autores, como Eck (1986) e Nied et al. (2005) citam que as fases mais críticas da cultura do milho à deficiência de água são o florescimento, o enchimento de grãos e o desenvolvimento vegetativo, na respectiva ordem de efeito sobre a redução da produtividade. Conforme Fornasieri Filho (1992) os estádios considerados críticos para a cultura do milho seriam os períodos entre o pendoamento e a polinização, pois nestas fases, acontece a definição do número de óvulos a serem fecundados, podendo ocorrer redução do rendimento de grãos caso o déficit hídrico insida no período da pré-floração ao início do enchimento de grãos.

Para se definir a produtividade da cultura de milho é necessário determinar o número de espigas por planta, em seguida o número de grãos por espiga e após a massa de grãos (BERGONCI et al. 2001). Em seus experimentos Ney, Duthion e Turc (1994) verificaram que o déficit hídrico causou significativo efeito na redução do número de grãos quando ocorreu junto ou após o florescimento, e, que o estágio em que o número de grãos por espiga é mais sensível ao déficit hídrico compreende o período entre duas semanas antes e duas a três semanas após a antese.

Cirilo e Andrade (1994) relatam que o número de grãos na espiga do milho depende das condições fisiológicas da planta no momento do estágio do florescimento, entretanto, Didonet et al. (2001) salientam que se as condições climáticas durante o período de

enchimento de grãos forem adversas, estas poderão afetar a produtividade por alterar a alocação de fotoassimilados para a formação dos grãos.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Local da coleta de dados

O estudo foi desenvolvido tendo como base uma série histórica de dados climatológicos médios diários para o período de 1984 a 2008, os quais foram compilados do acervo da estação meteorológica da UNICENTRO, em Guarapuava-PR, localizado latitude 25°23'02" S, longitude 51° 29'43" W, a 1026 metros de altitude, no campus CEDETEG. Estes dados incluíram a temperatura do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluvial, radiação solar e velocidade do vento acumulado a 10 m de altura. Pela metodologia de Köppen (1948), o clima do local é classificado como Cfb subtropical mesotérmico úmido.

O período de 1984 a 2008 foi definido considerando a disponibilidade em série ininterrupta dos dados climáticos, pois embora a referida estação meteorológica esteja em operação desde 1976, seu arquivo de dados para o período anterior a 1984 não é completo.

4.2. Tratamentos e análise dos dados

Avaliou-se o comportamento da distribuição da precipitação pluvial para a cultura do milho. Os tratamentos (T) constaram da simulação de diferentes datas de semeadura da cultura sendo: T1) 21 de setembro, T2) 01 de outubro, T3) 11 de outubro, T4) 21 de outubro, T5) 31 de outubro e T6) 10 de novembro, a partir das quais foi determinada a duração do ciclo da cultura em função da soma térmico e identificado os períodos de ocorrência de deficiência hídrica definida em função da distribuição da precipitação pluvial e, sendo estimado matematicamente o comportamento produtivo da cultura e definidas as melhores datas para a semeadura de acordo com os resultados de produção calculados.

A análise estatística foi realizada utilizando-se o software Sisvar. Efetuou-se análise de variância e teste de Tukey para comparação de médias com probabilidade 95%. As análises descritivas foram realizadas pelo agrupamento em Quartis de percentagem conforme Pimentel Gomes (1990). Para a representação gráfica dos resultados foram utilizados os softwares Sigma Plot™ e Origin™ e planilha de cálculos Excel™.

Para a realização das estimativas foram considerados os diferentes fatores, relacionados a seguir.

4.3. Zoneamento agrícola

De acordo com o zoneamento agrícola do Estado do Paraná apresentado por Caramori (2003) o período de semeadura recomendado para a semeadura do milho estende-se de 21 de setembro a 10 de novembro.

4.4. Estádios fenológicos de acordo com os subperíodos

O ciclo de desenvolvimento da cultura foi subdividido em diferentes estádios fenológicos segundo Ritchie et al. (1993) (Tabela 1) e adaptação apresentada por Fancelli (1986), sendo: 1)VE-V6 – Emergência a sexta folha; 2)V7-V10 – Sétima folha a décima folha; 3)V10-VT – Décima folha ao pendoamento; 4)VT - Pendoamento; 5) A-F (R1) – Antese-Florescimento (fecundação); 6)R2 – Grão leitoso; 7)R3 – Grão pastoso; 8)R4 – MF Grão farináceo-Maturidade fisiológica.

O estágio **VE-V6** corresponde aos estádios da emergência (VE) ao estágio vegetativo de seis folhas (V6) da cultura. Considerou-se um período médio de seis (06) dias para a emergência da cultura, definindo-se, a partir da semeadura nas datas indicadas pelos respectivos tratamentos, a emergência em (27/09, 07/10, 17/10, 27/10, 06/11 e 16/11).

Após a avaliação do balanço hídrico, considerou-se que para todas as datas de semeadura havia as condições de umidade e temperatura para a germinação.

Devido à duração temporal e relações fisiológicas aproximadamente similares, os estádios “antese (A) – florescimento e fecundação (R1)” foram considerados em conjunto A-F(R-1) durante as avaliações do trabalho.

4.5. Soma Térmicas – Unidades térmicas diárias (UTD)

As avaliações foram realizadas considerando o comportamento normal de uma cultivar hipotética de milho com características do grupo precoce, por ser a mais cultivada na região, conforme Seab-Deral (2007). A duração temporal do ciclo da cultura foi determinada a partir da exigência em soma térmica com base no acúmulo das UTD necessárias nos diferentes estádios fenológicos, adaptado de resultados de trabalhos desenvolvidos por diferentes pesquisadores, conforme tabela 2.

Tabela 2. **Unidades Térmicas de acordo com estádios fenológicos da cultura do milho.**

<i>Fases fenológicas</i>	<i>Soma térmica (UTD acumulada)</i>	<i>Fonte</i>
VE - V6	0-295	GADIOLI et.al. (2000)
V7 – V10	295-470	GADIOLI et.al. (2000)
V10 – PRÉ- PENDOAMENTO: V10 – VT	470-660	GADIOLI et.al. (2000)
PENDOAMENTO: VT	660-857	GADIOLI et.al. (2000)
ANTESE – FECUNDAÇÃO: A-F(R1)	857-1010	NIED, (2003)
FORMAÇÃO DO GRÃO - GRÃO LEITOSO: R2	1010-1130	NIED, (2003)
FORMAÇÃO DO GRÃO - GRÃO PASTOSO: R3	1130-1320	NIED, (2003)
GRÃO FARINÁCEO A MATURAÇÃO FISIOLÓGICA: R4 - MF	1320-1690	NIED, (2003)

O cálculo da soma térmica foi realizado a partir da temperatura média do ar subtraída da temperatura base (Equação 1). Assumiu-se que o desenvolvimento das plantas foi constante entre a temperatura base inferior 10°C e temperatura base superior 32° conforme Monteith e Elston (1996).

$$UTD = \sum_{i=1}^n \left[\frac{(T_{máx} + T_{min})}{2} - T_b \right] \quad \text{(Equação 1)}$$

em que:

UTD = Unidade térmica diária (°C);

T_{máx} = Temperatura máxima do dia considerado (°C);

T_{min} = Temperatura mínima do dia considerado (°C);

T_b = Temperatura base inferior.

4.6. Balanço hídrico

O balanço hídrico climatológico foi determinado pelo Método proposto por Thornthwaite e Mather (1955).

O balanço hídrico foi inicializado ainda no mês de julho de 1984, no momento em que o solo apresentava-se em condições de limite superior de armazenamento de água (capacidade de campo – CC) devido o prolongado período de elevado índice de precipitação pluvial, e foi calculado sem interrupção até março de 2008. Este procedimento

possibilitou maior precisão na determinação das condições de lâmina armazenada no solo para os períodos onde a cultura estaria se desenvolvendo no campo (balanço hídrico da cultura).

A evapotranspiração de referencia (Eto) foi estimada pelo método de Penman-Monteith, modelo padrão FAO (ALLEN et al., 1998) (equação 2), escolhido por ser considerado um dos mais precisos para estimativas de perdas de água do solo e devido a considerar as principais variáveis climáticas do local.

$$Eto = \frac{0,408 * s * (Rn - G) + \frac{y * 900 * U_2 * (es - ea)}{T + 275}}{s + y * (1 + 0,34 * U_2)} \quad (\text{equação 2})$$

em que :

Eto – Evapotranspiração referência em mm d⁻¹;

Rn - Radiação líquida total diária (MJ m⁻² d⁻¹);

G - Fluxo de calor no solo (MJ m⁻² d⁻¹);

900 – Fator de conversão

γ - Constante psicrométrica (0, 063 kPa °C⁻¹);

T - Temperatura média do ar (°C);

U₂- Velocidade do vento a 2 m (m s⁻¹);

es - Pressão de saturação de vapor (kPa °C⁻¹);

ea - Pressão parcial de vapor (kPa);

s - Declividade da curva de pressão de vapor na temperatura do ar (kPa),

calculado por:

$$s = \frac{4098. * es}{(T + 237,3)^2}, \quad (\text{equação 2.1}) \quad \text{e a pressão de saturação de vapor por:}$$

$es = 0, 6108 * 10^{(7,5T/237,3+T)}$, (equação 2.2) e finalizando a pressão parcial de vapor a través da seguinte expressão:

$$ea = (es * UR) / 100 \quad (\text{equação 2.3})$$

A velocidade média do vento medida a 10 m de altura (U_z com $Z=10$) foi convertida para 2 m, através da seguinte relação (Allen et al., 1998):

$$U_2 = U_z \frac{4,87}{\ln(67,8(Z) - 5,42)} \quad (\text{equação 2.4})$$

Obs. Nas equações “ * ” é utilizado em substituição a “ x “ para multiplicação.

4.7. Evapotranspiração máxima da Cultura e estimativas de produção de grãos

A evapotranspiração máxima da cultura (E_{tmc}) foi determinada com a finalidade de se desenvolver avaliações sobre a disponibilidade hídrica e delimitações de períodos de deficiência hídrica.

A (E_{tmc}) foi determinada multiplicando-se E_{to} pelo coeficiente de cultura k_c , representada pela expressão: $E_{tmc} = E_{to} \times k_c$, utilizando-se os valores de coeficiente de cultura (k_c) conforme adaptação de Doorenbos e Kassam (1979), e apresentados na Tabela 3. O coeficiente variou em função dos distintos estádios fenológicos em conformidade com o desenvolvimento vegetativo ou reprodutivo.

Tabela 3. Valores do coeficiente de cultura para os estádios do ciclo de desenvolvimento fenológico do milho, adaptado de Doorenbos e Kassam (1979).

Estádios fenológicos	kC
<i>20 dias pré semeadura</i>	0,2
<i>VE – V6</i>	0,3 – 0,5
<i>V7 – V10</i>	0,7
<i>V10 - VT</i>	0,8
<i>VT</i>	1,0
<i>A-F(R1)</i>	1,1
<i>R2</i>	1,0
<i>R3</i>	0,9-0,8
<i>R4</i>	0,65-0,55

A “lâmina ótima” acumulada de E_{tmc} foi fixada como 0 a 18 mm para o estágio VE-V6 e 0 a 32 mm para os demais estádios fenológicos do ciclo (tabela 4). Considerou-se como “lâmina deficiente” o limite de E_{tmc} acumulada 50% superior à lâmina ótima, isto é,

limites máximos de 27 e 48 mm para os estádios VE-V6 e V7 a MF, respectivamente. Definiram-se como “deficit hídrico relativo” as posições de E_{tmc} intermediárias dentro dos limites da lâmina deficiente. A “lâmina crítica” foi definida para valores da E_{tmc} acumulada superior aos limites da lâmina deficiente.

Tabela 4. Classificação das lâminas de evapotranspiração máxima da cultura, de acordo com estádios fenológicos da cultura do milho.

Intervalo	Estádios fenológicos	
	VE – V6	V7 – R3
Lâmina ótima	0-18 mm	0 – 32 mm
Lâmina deficiente	18-27 mm (≠9,0 mm)	32 – 48 mm (≠16,0 mm)
Lâmina crítica	> 27 mm	> 48 mm

Fonte: Adaptado de Camp et al. (1988) e Carlesso et al. (2000).

As perdas de produção por deficit hídrico foram estimadas considerando informações adaptadas de Thomison (2005), Tacker, Vories e Huitink (2003) e Claassen e Shaw (1970), (Tabela 5). Dentro da lâmina deficiente as perdas de produção intermediárias foram determinadas por regressão linear com 0% de perda para lâminas E_{tmc} acumuladas de 18 e 32 mm e 100% de perdas para lâminas de E_{tmc} acumuladas de 27 e 48 mm, respectivamente.

O valor zero significa a não ocorrência de deficiência hídrica e o valor 100% indica que o deficit hídrico poderá ocasionar o máximo do efeito atribuído a este fator sobre a cultura, sendo considerado que valores de lâmina acumulada de E_{tmc} superiores aos limites do intervalo crítico não ocasionam incremento dos efeitos do deficit hídrico relativo além do valor máximo de 100%.

Para o cálculo do deficit hídrico relativo os valores percentuais de probabilidade foram divididos em cinco classes entre 0 e 100%, sendo: 1) zero 2) 1 – 25; 3) 26 – 50; 4) 51 – 75 e 5) 76 e 100%. Assim, por exemplo, o valor de lâmina acumulada de E_{tmc} de 33,6 mm representa deficit hídrico relativo de 100% no estágio fenológico VE-V6, pois ultrapassa o limite máximo de 27,0 mm, e este mesmo valor é proporcional a 10% se ocorrer em qualquer um dos demais estádios, pois representa 1,6/16 mm correspondente a lâmina deficiente, inerentes ao acréscimo máximo de 50% sobre a lâmina ótima.

Para os casos em que ocorreu a mudança para um novo estágio fenológico, com o balanço hídrico indicando valores acumulados de E_{tmc} acima do limite ótimo de 32 mm, as perdas de produção inerentes ao deficit hídrico relativo, foram estimadas considerando a

inicialização da contabilização da lâmina de E_{m_c} diretamente no início do intervalo correspondente a lâmina deficiente.

Para a estimativa dos efeitos da deficiência hídrica sobre a produção considerou-se como valor máximo a produtividade de $14.000 \text{ kg ha}^{-1}$ como possível de ser alcançado sem ocorrência de deficiência hídrica, sendo este um teto de produtividade considerado normal para lavouras tecnicamente conduzidas em Guarapuava-PR sob tais condições, de acordo com Seab-Deral (2007), entretanto, é importante salientar que este é um valor médio utilizado no trabalho como um objetivo complementar de estimar as probabilidades de variações de produtividade em função da deficiência hídrica e de determinar as diferenças entre datas de semeadura visando fugir do deficit hídrico. Não sendo este apresentado com objetivo de estabelecer um modelo para estimativa da produtividade regional. Salienta-se ainda que nesta referência são encontradas produtividades próximas $18.000 \text{ kg ha}^{-1}$ e outras expressivamente inferiores a $14.000 \text{ kg ha}^{-1}$, demonstrando que inúmeros fatores atuam na composição da produtividade de uma lavoura de milho, como a fertilidade e o manejo do solo, tratos culturais, fitossanidade, adversidades climáticas além da distribuição da precipitação pluvial, dentre outros.

Tabela 5. Porcentagem de redução de produção de grãos de acordo com o estágio fenológico da cultura do milho.

Estádio fenológico	Produção de grãos (% redução)
Germinação	Germina ou não.
VE – V6	5%
V7 – V10	5%
V10 - VT	10%
VT	15%
A-F(R1)	35%
R2	10%
R3	5%

Fonte: Adaptado de Thomison (2005), Tacker et al. (2003) e Claassen e Shaw (1970).

4.8. Características edáficas

Para as estimativas de armazenamento demais relações da dinâmica da água no solo foram considerados valores médios para os solos predominantes nas lavouras da região,

classificados de acordo com Embrapa (2006) como “latossolo bruno álico distroférico” tendo em média densidade de $1,25 \text{ g cm}^{-3}$ e 50% de porosidade total distribuídos em 12% de macroporos e 38% de microporos.

Conforme metodologia adaptada de Espinoza (1980) definiu-se a profundidade de 0,50 m para zona de extração de água pelo sistema radicular da cultura do milho, e, lâmina correspondente a 80% do total de capacidade de armazenamento de água no solo como fração máxima possível de ser retirada por evapotranspiração. Desta forma, a lâmina total estimada de armazenamento na profundidade de 0,50 m, determinada através da equação 3 é de 237,5 mm, e, a lâmina total extraível por evapotranspiração é de 190 mm.

$$[(LS - LI) \times ds \times p \times a] \times 80\%; \quad (\text{Equação 3})$$

Em que:

LS: Lâmina superior (mm);

LI: Lâmina inferior (mm);

ds: Densidade do solo (g cm^{-3});

p: Profundidade no solo (m);

a: Área (m^2).

No exemplo de calculo com a equação 3 temos:

$$\{[(50 - 12) / 100] \times 1,25 \times 0,50 \times 1\} \times 0,80 = 190 \text{ mm}$$

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Dados climatológicos anuais

A partir da avaliação dos dados climáticos determinou-se a distribuição média mensal da precipitação pluvial ao longo do ano visando observar os limites das lâminas precipitadas durante o período do ciclo da cultura do milho no campo (Figura 1).

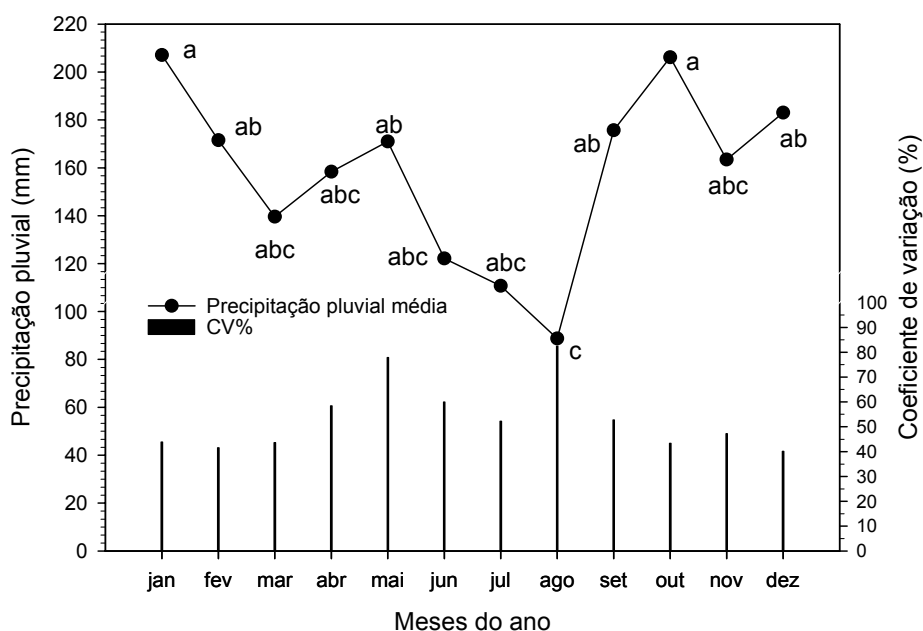


Figura 1. Precipitação pluvial mensal determinada com base em dados do período de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR. *Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey com probabilidade de 95%.*

Os resultados demonstram que os meses de primavera e verão são os que apresentam os maiores índices de precipitação, sempre superiores a 160 mm, sendo janeiro e outubro os meses de maior média com índices superiores a 200 mm. Os meses de outono apresentam índices intermediários destacando-se março com média de 140 mm e maio com 170 mm, aproximadamente. Os meses de inverno apresentam os menores valores que são sempre inferiores a 130 mm, sendo que o mês de agosto apresenta índice de 88 mm que é a menor média anual.

Salienta-se que os elevados valores do coeficiente de variação para este parâmetro, sempre superiores a 40% e podendo chegar a 80% em meses de outono e inverno, podem ser interpretados como indicação de que esta variação dentro dos meses do ano pode

também ser expressiva ao longo dos anos, com a ocorrência de discrepâncias nas médias mensais, fato que está diretamente associado com o comportamento produtivo das culturas agrícolas.

Sobre a distribuição da precipitação verifica-se, que dentro da seqüência de resultados, os meses de verão tendem a reduzir, do início para o final da estação, assim como o inverno, destacando-se o comportamento inverso dos meses de outono que aparece como período de crescente reposição hídrica. A maior variação mensal é verificada no período agosto-setembro cujos índices variam em mais de 100%, passando de menos de 90 mm em agosto para aproximadamente 180 mm em setembro.

Estes resultados demonstram que embora sejam verificados menores índices de precipitação de junho a agosto, a média de precipitação do mês de setembro indica um período de reposição hídrica. Para o caso da cultura do milho este dado é primordial, pois, o período recomendado de semeadura para região inicia em 21 de setembro e o ciclo de cultivo se desenvolve em período posterior, quando os índices de precipitação são mais elevados, entretanto, os elevados valores do coeficiente de variação para este parâmetro demonstram que a distribuição pluvial apresenta irregularidades, sendo necessário avaliar a probabilidade de ocorrência de menores índices em diferentes anos e a sua possível influência sobre a cultura.

Em contraposição ao abastecimento hídrico, representado pela precipitação pluvial, têm-se as perdas de água do solo por evapotranspiração. A avaliação do comportamento da evapotranspiração de referência (E_{to}), determinada pelo método de Penman Monteith (ALLEN et al, 1998) é apresentada na Figura 2, onde se observa grande variação nos valores extremos mensais passando de menos de aproximadamente 75 mm em junho, para 150 mm em dezembro.

Verifica-se que o período de maior potencial de extração de água do solo ocorre de outubro a março cujos índices variam de aproximados 130 a 160 mm mensais. Já os meses de abril a setembro apresentam os menores valores que estão entre aproximadamente 70 a 100 mm mensais, destacando-se as menores médias para os meses de junho e julho. Os coeficientes de variação para este parâmetro são inferiores a 20% e, aproximadamente, bem distribuídos ao longo do ano, demonstrando que o comportamento do potencial de perda de água do solo para a atmosfera é menos variável do que a reposição pela precipitação pluvial. Este dado pode representar uma preocupação em termo de cultivos agrícolas não irrigados, pois, demonstra que as perdas constantes de água para a atmosfera,

quando associadas à possibilidade de ocorrência de períodos mais secos devidos a menores índices de precipitação, podem ocasionar prejuízos por deficiência hídrica para as culturas.

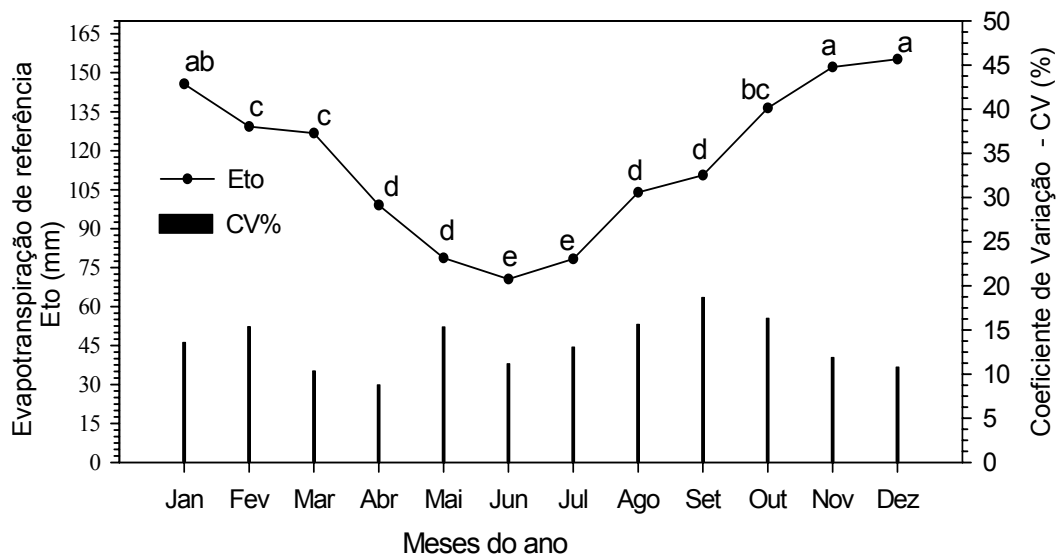


Figura 2. Evapotranspiração de referência mensal ao longo do ano determinada com base em dados climáticos do período de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR. *Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey com probabilidade de 95%.*

Os comportamentos médios das características climáticas temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, utilizados para a determinação da Eto são apresentados na figura 3. Verifica-se que a temperatura média varia entre aproximadamente 13 e 22°C, com as maiores médias verificadas para o período de outubro a março, entre 18 e 22 °C, sendo o mês de janeiro o que apresenta a maior média de temperatura no ano. O período de abril a setembro apresenta as menores médias com a temperaturas inferiores a 16°C, sendo o mês de julho o mais frio, com temperatura média inferior a 13 °C.

Estes dados são acompanhados pela chegada de energia solar, onde se pode verificar que a radiação solar apresenta comportamento similar com maiores valores na primavera-verão e menores no outono-inverno sendo normais para as respectivas épocas do ano, conforme CARAMORI (2003). Os coeficientes de variação para estas características climáticas são sempre inferiores a 15%, contudo, com relação a temperatura, verifica-se que o período de inverno tende a apresentar maior variação, especialmente nos meses de junho e julho, indicando que em alguns anos podem ocorrer invernos com temperaturas mínimas mais baixas e frios mais intensos.

Para culturas agrícolas cultivadas na primavera-verão na região, como no caso do milho, observa-se que quando a semeadura é realizada mais para o final do período recomendado, a cultura tenderá a desenvolver o seu ciclo vegetativo em condições de temperaturas mais elevadas, especialmente as fases fenológicas do estágio vegetativo, quando comparado a semeadura mais no cedo.

Os valores médios de umidade relativa do ar variam entre 70 e 80%, sendo considerados elevados conforme salienta Silva e Guetter (2003), contudo este comportamento pode ser interpretado como consequência das características regionais com temperaturas que tendem a ser amenas e índices de precipitação médios anuais superiores a 1800 mm. Porém, verifica-se que existe a tendência de os menores valores médios deste parâmetro serem agrupados no período de agosto a novembro. Neste caso, é possível que as maiores médias de velocidade do vento, que também tendem a se apresentar neste período, colaborem com retirada de umidade do ar.

Com relação à velocidade do vento observa-se que os valores médios variam entre 11 e 16 km h⁻¹, sendo considerados elevados conforme salienta SANSIGOLO (2005). Este comportamento, além de estar diretamente associado com as variações de umidade e ser componente essencial para as variações da Eto, atua também sobre o comportamento das culturas agrícolas em geral, podendo afetar o comportamento fisiológico, especialmente quando relacionado a transpiração, e, inclusive, possíveis danos físicos no caso de culturas mais sensíveis, e mesmo no milho, conforme descreve (MUZILLI et al, 1983). Além disso, Cunha, Teixeira e Fernandes (2007) salientam que em regiões de ventos mais constantes as operações de aplicação de produtos por pulverização tendem a ser menos eficientes e devem ser realizadas com maior atenção e planejamento. Verifica-se ainda na figura 3, que no caso da cultura do milho o período recomendado para semeadura ocasionalmente coincide com os meses de maior média de vento na região, sendo este um fato importante a ser considerado no planejamento do cultivo.

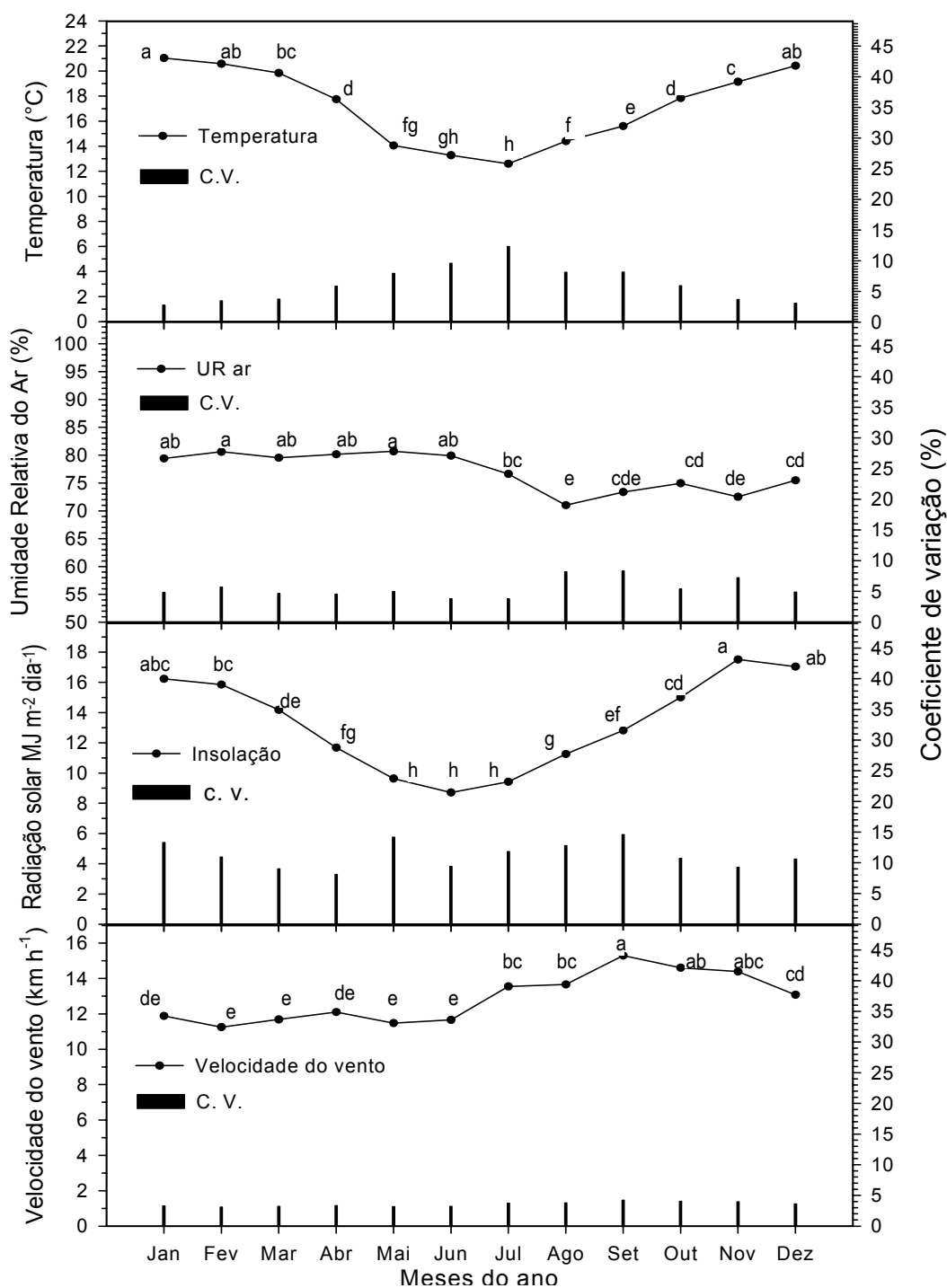


Figura 3. Temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar ao longo do ano, determinado com base em dados climáticos do período de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR. *Médias seguidas de mesma letra não diferem pelo Teste de Tukey com probabilidade de 95%.*

5.2. Balanço hídrico anual

Com base na disponibilidade de dados de precipitação pluvial e evapotranspiração determinou-se o balanço hídrico anual (Figura 4). Salienta-se que este foi calculado

considerando valor de capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm, que conforme Grego e Vieira (2005) é o padrão mais usual quando o objetivo é a caracterização média da disponibilidade hídrica seqüencial de um local. Neste caso a visualização do balanço hídrico pode colaborar para uma melhor interpretação do comportamento da distribuição hídrica e de suas inter-relações com a Eto ao longo do ano e, especialmente, para visualizar o padrão médio das condições hídricas durante o período de setembro a março, que engloba o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho na região.

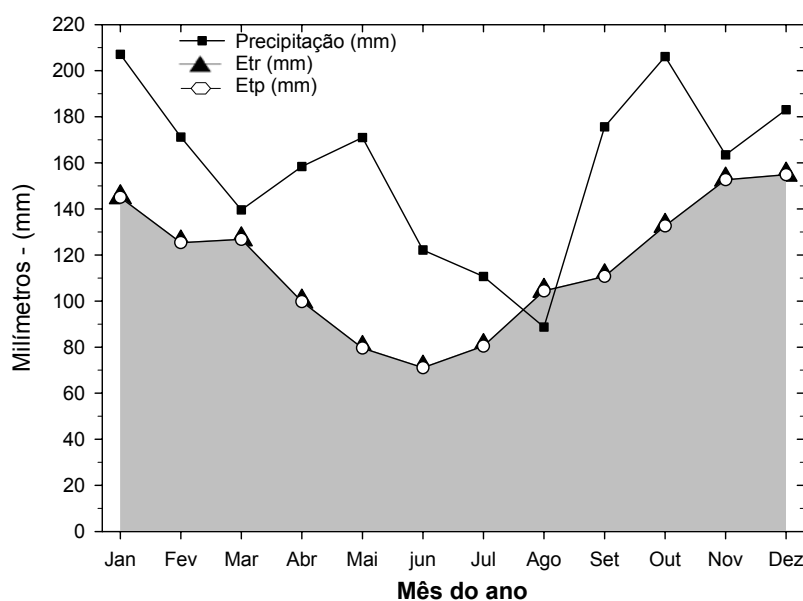


Figura 4. Balanço hídrico seqüencial estimado pelo método de Thornthwaite-Mather (1955), com base em dados climáticos do período de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR.

Na avaliação do comportamento mensal do balanço hídrico verifica-se que a entrada de água no solo pela precipitação pluvial é superior à saída da evapotranspiração para todos os meses do ano, exceto em agosto, que é também o único mês onde não se verifica a existência de excedente hídrico, que é representado pelo valor positivo da diferença entre a lâmina de precipitação e a Eto. Entretanto, para este caso, também não se verifica a existência de deficiência hídrica, que seria interpretada pela ocorrência de valores de evapotranspiração real (Etr) menores do que a Eto. Isto ocorre porque o método de cálculo pressupõe que no primeiro período de ocorrência de valores de precipitação inferiores aos da Eto o armazenamento de água no solo que estava com valores máximos, possa suprir sem restrições a demanda potencial da evapotranspiração.

Neste sentido, Oliveira (1996) descreve que os efeitos mais restritivos exercidos pelo solo em relação à saída de água, aumentarão seqüencialmente, acompanhando a redução do armazenamento de água, sendo geralmente nulos quando o solo apresenta-se em condições próximas ao limite superior de sua capacidade de armazenamento hídrico.

Com estes resultados é possível inferir sobre o grande potencial agrícola da região, com características de temperatura e distribuição hídrica que, de forma geral, podem satisfazer as necessidades da maioria das culturas agrícolas que se desenvolvem nas diferentes épocas do ano. Entretanto, deve ser considerado que estes são valores médios, obtidos a partir de uma série de informações climáticas de 24 anos, e, considerando intervalos mensais que são extensos quando se trata de disponibilidade hídrica para culturas agrícolas, cujo suprimento de água deve considerar como mais importante a distribuição do que o montante total precipitado.

Para a cultura do milho se verifica que, em média, os cultivos serão realizados em períodos sem restrições de água, porém, como já observado, os coeficientes de variação da precipitação pluvial (Figura 1) são elevados, indicando riscos de ocorrência de períodos com precipitação acima ou abaixo da média o que pode comprometer os cultivos. Neste caso é pertinente que sejam desenvolvidas avaliações das probabilidades de ocorrência de períodos como valores acima ou, principalmente abaixo da média e de seus efeitos sobre as plantas. Para Costa, Pinho e Parry (2008) a cultura do milho é altamente responsiva as variações hídricas, contudo, salientam que as influências da precipitação pluvial devem ser pesquisadas considerando a amplitude de variação da distribuição em períodos de tempo representativos para o local.

5.3. Soma Térmica

Os resultados da avaliação da soma térmica para as fases fenológicas da cultura do milho, determinados a partir de valores médios climáticos de 24 anos são apresentados na tabela 6 e a duração dos estádios e do ciclo fenológico total pode ser visualizada na figura 6. Para totalizar a duração do ciclo de desenvolvimento até a maturação fisiológica foi adicionado o período de seis dias a partir da data de semeadura, necessários para a germinação. Ressalta-se que os dados referentes ao ciclo vegetativo total (Tabela 6) se estendem até a maturação fisiológica. Sendo assim, a elaboração de inferências considerando o ciclo semeadura – colheita, deve considerar que a partir da maturação fisiológica, a cultura ainda necessita de tempo no campo para a redução do teor de umidade do grão, neste caso, conforme Matzenauer (1997) para aproximadamente 20 a 25%, o que

em condições climáticas normais ocorre em período aproximado de 15 dias após a maturação fisiológica

Verifica-se que o ciclo vegetativo total estimado varia entre 114 e 122 dias aproximadamente. Com seqüencial encurtamento para semeaduras mais tardias em relação ao início do período recomendado a partir de 21 de setembro (Tabela 6). O encurtamento total do ciclo entre as datas extremas de semeadura foi de aproximadamente 8 dias. Esta diferença, embora expressiva, pode ser maior em regiões com características climáticas diferentes, conforme salientado por autores como Forsthofer (2006) e Gadioli et al. (2000). Entretanto, as características climáticas da região de Guarapuava-PR, com clima Cfb mesotérmico úmido, não apresentam amplitudes térmicas com valores de extrema variação durante o ciclo de cultivo, que pudessem ocasionar grandes variações no acúmulo de soma térmica e maior aceleração do ciclo da cultura.

Tabela 6. Duração média em dias dos estádios fenológicos da cultura do milho determinadas com base na soma térmica para as condições climáticas de Guarapuava-PR.

Datas de Semeadura	Duração dos estádios Fenológicos (dias)*								Ciclo vegetativo total (dias)
	VE-V6	V7	V10	VT	A-F(R1)	R2	R3	R4-MF	
21 set	22,33a	12,66a	12,95a	12,70a	9,50a	7,37a	11,70a	22,45ab	121,91a
01 out	21,33b	12,08ab	12,08b	12,37ab	9,70a	7,41a	11,37a	22,45ab	119,50b
11 out	20,66bc	11,95abc	12,33ab	12,16ab	9,75a	7,16a	11,16a	22,50ab	117,50c
21 out	20,04cd	11,66bc	11,70b	12,29ab	9,58a	7,08a	11,08a	22,41b	115,87d
31 out	19,37de	11,33bc	11,79b	11,95b	9,29a	7,04a	11,33a	22,58ab	114,70e
10 nov	18,87e	11,16c	11,58b	11,70b	9,25a	7,04a	11,04a	23,16a	113,83e
Média	20,43	11,81	12,07	12,20	9,54	7,18	11,28	22,59	117,25
Dms	0,97	0,85	0,79	0,73	0,52	0,57	0,68	0,74	0,94
C.V. %	5,70	8,61	7,87	7,22	6,59	9,51	7,28	3,94	1,01

* Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey com probabilidade de 95%.

O comportamento de redução do ciclo vegetativo pode ser melhor avaliado com a caracterização da duração individual dos diferentes estádios fenológicos da cultura, nas condições climáticas ocorrentes durante o ciclo de desenvolvimento a partir das diferentes datas de semeadura. Nos dados apresentados na tabela 6, observa-se que as diferenças são verificadas somente nos estádios fenológicos do período vegetativo, especificamente de

VE a VT. Estes resultados estão de acordo com Bergamaschi et al (2006) que verificaram encurtamento de estádios vegetativos da cultura do milho em função da variação da soma térmica local.

Ao se analisar a duração total das fases fenológicas do período vegetativo (VE a VT) nota-se que estas se estenderam por período que variou entre, aproximadamente, 60 e 53 dias para as semeaduras realizadas em 21 de setembro e 10 de novembro, respectivamente. Sendo que estes resultados podem ser considerados os principais responsáveis pelas diferenças verificadas na duração do ciclo vegetativo total, já que para os estádios do período reprodutivo as diferenças são pouco expressivas e sem significância estatística.

Na figura 5 são apresentados os dados sobre o comportamento das temperaturas máximas e mínimas com o respectivo desvio padrão em relação à média. Verifica-se um comportamento crescente da temperatura até aproximadamente o final do mês de novembro. Assim nota-se que as unidades térmicas diárias (UTD) se apresentaram com valores menores para as semeaduras mais precoces e, conforme as semeaduras avançaram no decorrer das datas, as UTD se elevaram em conformidade ao aumento das temperaturas, o que ocasionou o encurtamento do período necessário para completar o acúmulo da soma térmica das fases do período vegetativo. Resultados similares são descritos por Brunini et al. (2006) onde o aumento da temperatura média acelerou o desenvolvimento fenológico de plantas de milho.

Por meio da figura 5 pode-se notar que a variação da temperatura tende a concentrar os valores dentro da faixa de desenvolvimento da cultura do milho, sendo que somente até próximo a 15 de outubro a linha que determina o desvio padrão da média mínima apresenta valores fora do limite da temperatura base inferior. Entretanto, como estas determinações consideram dados climáticos de vários anos para a composição dos valores médios é esperado que a amplitude das temperaturas alcance valores mais extremos em anos específicos. Neste sentido, se pode inferir que a região apresenta verões amenos, contudo, as mínimas de alguns dias do inverno e inclusive primavera, atingem comumente valores negativos, neste caso, possivelmente o desenvolvimento fenológico da cultura na região seja mais frequentemente afetado por temperaturas abaixo da base inferior do que acima da base superior. Este comportamento é determinado pelas condições climáticas da região Sul, onde predominam o clima subtropical e temperado, conforme descrevem VILLA NOVA; PEREIRA (2006).

Este processo fica mais evidente para as fases fenológicas do período vegetativo para as sementeiras até 21 de outubro, reduzindo-se as proporções das diferenças em relação às sementeiras de 31 de outubro e 10 de novembro, por estas se desenvolverem já em período que tende a estabilização das médias diárias. Já para o período reprodutivo, a cultura semeada em 21 de setembro chegará na antese aproximadamente em 30 de novembro (70 dias após a sementeira) demonstrando que independente da data de sementeira, as fenológicas do período reprodutivo tenderão a variar menos sua extensão porque ocorrem em condições térmicas mais estáveis. Desta forma, apesar de as datas extremas de sementeira serem separadas em 53 dias no tempo, as variações climáticas médias a partir do mês de dezembro não são tão expressivas quanto as que ocorrem nos meses de setembro, outubro e novembro.

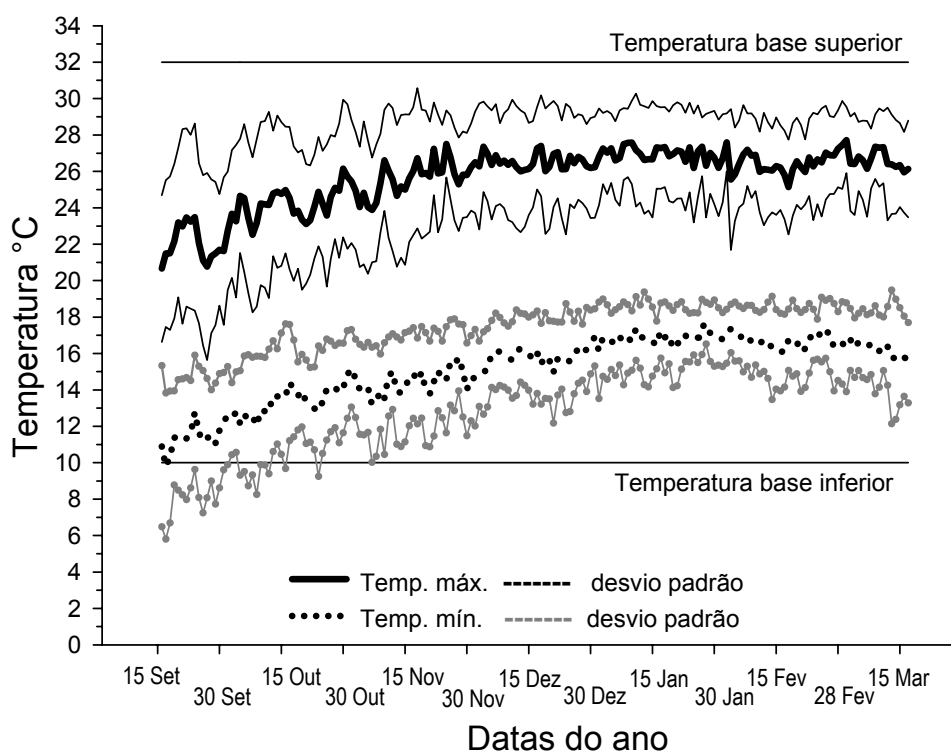


Figura 5. Temperatura média do ar máxima (Máx.) e mínima (Mín.) com desvio padrão da média, ao longo do período de cultivo da cultura do milho em Guarapuava-PR. (Média 1984 -2008)

Na região de Ponta Grossa-PR, situada geograficamente próxima à Guarapuava e apresentando condições térmicas aproximadamente similares à Guarapuava-PR, Quirrenbach (2007) concluiu que o desenvolvimento fenológico no período reprodutivo do milho é menos sensível à soma térmica em relação ao período vegetativo. Sendo assim, possivelmente, mesmo que a tendência de incremento da temperatura se mantivesse a

partir de dezembro, possivelmente as respostas em relação a duração do ciclo vegetativo total mantivesse o aproximadamente o mesmo comportamento.

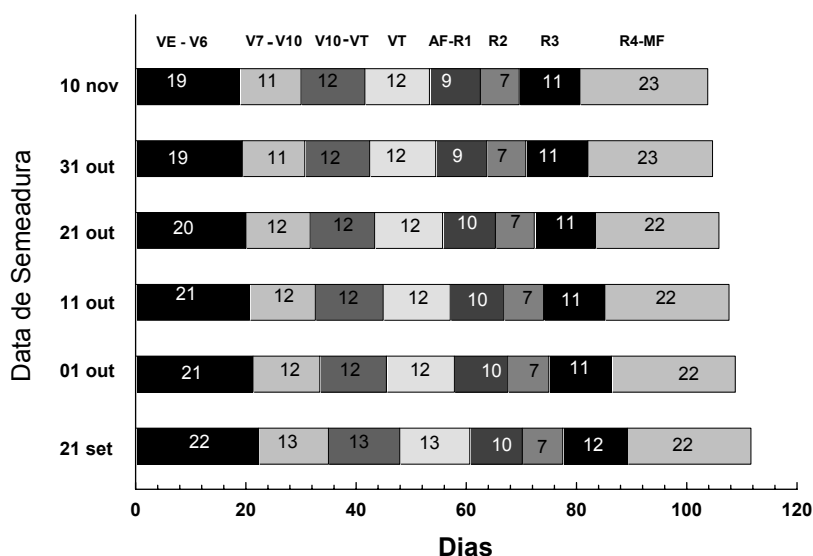


Figura 6. Duração das fases fenológicas da cultura do milho em função da soma térmica em Guarapuava-PR. (Média 1984 -2008).

Com relação aos resultados da avaliação estatística nota-se na tabela 6, que os coeficientes de variação para a duração das fases fenológicas apresentaram valores inferiores a 10%, o que além de proporcionar a expressão de diferenças estatísticas significativas, também demonstra que a soma térmica no período recomendado para o cultivo do milho na região, é um parâmetro que apresenta consistência ao longo dos anos indicando ser esta uma ferramenta de elevada precisão para o planejamento das lavouras de milho.

Pelos resultados se pode inferir que com a utilização da avaliação da soma térmica é possível se prever a duração do ciclo da cultura do milho, entretanto, diversos resultados de pesquisas, como os apresentados por Gadioli (2000) têm demonstrado que outros fatores de origem climática, principalmente a ocorrência de período de deficiência hídrica podem afetar o desenvolvimento fenológico e o ciclo total da cultura do milho.

5.4. Relações hídricas durante o ciclo da cultura

A avaliação estatística da lâmina total de precipitação pluvial e sua distribuição nos estádios de desenvolvimento da cultura são apresentadas na Tabela 7 e os dados anuais deste parâmetro ao longo do período de 1984 a 2007 estão listados no **anexo I**. Observa-se na tabela

7 que as diferenças de distribuição da precipitação ocorrem somente no estágio E-V6, onde os índices para a semeadura em 21 de setembro e 01 de outubro tendem a serem superiores aos verificados para a semeadura em 31 de outubro e 10 de novembro. Neste caso, considerando o comportamento da precipitação pluvial, apresentado na figura 1, observa-se que as precipitações em setembro são superiores aos do mês de novembro. Já no caso do outubro, que apresenta um dos maiores índices, verifica-se que a concentração média da precipitação é decrescente do início para o final do mês. As diferenças na distribuição da precipitação passam a ser ainda mais expressivas se for considerado o fato de que quando a semeadura é realizada em 21 de novembro, o estágio VE-V6 dura em média 03 dias a menos, tendendo a receber menor lâmina hídrica.

A ausência de diferenças nos demais estádios de desenvolvimento da cultura pode ser considerada consequência da ocorrência do ciclo total de cultivo em período que concentra os meses com os maiores índices de precipitação do ano, além disto, o elevado coeficiente de variação deste parâmetro dificulta a identificação estatística de pequenas diferenças. Destaca-se que a comparação estatística dos valores de precipitação entre os estádios fenológicos é inviável, devido às diferenças observadas no período de duração destes, conforme tabela 6.

Os valores médios e os resultados da análise estatística das variações da evapotranspiração de referência (Eto) para as datas de semeadura e estádios fenológicos são apresentados na tabela 8. As diferenças mais expressivas são verificadas entre as semeaduras em datas extremas (21 de setembro e 10 de novembro). Quando a semeadura é realizada em 21 de setembro, a parte do ciclo vegetativo do estágio fenológico E-V6 com duração média de aproximadamente 22 dias (Figura 6), ocorre na dezena final do mês de setembro e inicial do mês de outubro. Já para a semeadura em 10 de novembro o referido estágio, que no caso tem duração aproximada de 19 dias, irá se desenvolver entre 10 e 30 de novembro.

Neste caso as diferenças são devidas à menor demanda evaporativa da atmosfera no primeiro período, que apresenta em média maiores índices de precipitação e menor temperatura. Na seqüência dos resultados observa-se que as diferenças de Eto continuam envolvendo a semeadura em datas extremas, entretanto, com tendência de maiores valores para a semeadura em 21 de setembro, a partir do estágio VT.

Tabela 7. Precipitação pluvial nos estádios fenológicos da cultura do milho com base em dados climáticos de 1984 a 2008, em Guarapuava-PR.

Data de semeadura	Estádios fenológicos										
	E-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-F(R1)	R2	R3	R4 - MF	Total no ciclo		
Etm (mm)											
21-set	161,37 a	74,00 a	65,15 a	77,38 a	49,71 a	58,91 a	65,35 a	145,70 a	697,66 a		
01-out	140,94 ab	66,62 a	66,80 a	65,07 a	63,50 a	37,18 a	65,06 a	147,80 a	653,54 ab		
11-out	123,09 abc	64,09 a	58,10 a	72,66 a	53,45 a	43,48 a	58,04 a	159,72 a	632,66 b		
21-out	113,71 abc	53,92 a	66,37 a	74,18 a	56,25 a	35,28 a	87,67 a	143,08 a	630,49 b		
01-nov	93,72 bc	65,06 a	67,84 a	71,55 a	46,68 a	60,90 a	70,52 a	152,48 a	628,78 b		
11-nov	86,43 c	73,68 a	56,73 a	62,70 a	78,47 a	44,65 a	78,28 a	137,68 a	620,66 b		
Cv`%	49,72	59,52	62,33	66,33	74,90	81,52	62,16	36,42	11,42		
DMS	49,82	33,21	33,12	39,36	36,36	31,88	36,89	45,03	61,53		

* Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey com probabilidade de 95%.

O entendimento deste resultado é similar ao discutido para o comportamento dos estádios iniciais, neste caso, a semeadura em data precoce resulta no desenvolvimento, especialmente dos estádios de VT a R3 (aproximadamente 50 a 90 DAS), no período entre 10 de novembro e 20 de dezembro, que tende a apresentar menor temperatura média (figura 3), e, também a ter menor precipitação (Figura 1) e evapotranspiração mais elevada (Figura 2). Tucci e Beltrame (2001) enfatizaram os efeitos sinérgicos da temperatura e precipitação sobre a evapotranspiração e, suas consequências sobre o desenvolvimento das plantas, que tende a ser alterado em diferentes épocas do ano.

A partir dos valores da Eto foi possível a estimativa da evapotranspiração máxima acumulada nos estádios fenológicos da cultura ($E_{tm_{ac}}$) através da consideração do coeficiente de cultura (K_c) associado a cada estágio fenológico do milho. A avaliação estatística, os valores médios e totais deste parâmetro considerando as diferentes datas de semeadura são apresentados na tabela 8 e os dados anuais para o período de 1984 a 2008 no **anexo II**.

Tabela 8. Evapotranspiração de referência (Eto) nos estádios fenológicos da cultura do milho, determinada com base em dados climáticos de 1984 a 2008, em Guarapuava-PR.

Data de semeadura	Estádios fenológicos															
	E-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-(R1)	R2	R3	R4 - MF								
Eto (mm)																
21-set	90,25	c	56,25	a	62,66	ab	65,45	a	51,20	a	35,95	a	58,33	a	107,83	a
01-out	91,25	bc	56,12	a	65,87	a	63,91	ab	48,25	ab	36,45	a	55,75	ab	109,25	a
11-out	91,54	abc	59,79	a	63,83	ab	61,66	ab	49,20	ab	34,54	a	55,83	ab	104,41	a
21-out	96,16	abc	59,54	a	61,08	ab	62,08	ab	45,45	ab	35,12	a	53,41	ab	103,91	a
01-nov	99,16	ab	59,33	a	58,16	b	58,79	ab	46,25	ab	32,54	a	56,62	a	102,25	a
10-nov	100,12	a	53,45	a	59,20	ab	57,16	b	44,04	b	33,91	a	48,83	b	104,25	a
Cv*	11,05		15,66		13,82		14,19		15,84		18,67		15,53		11,41	
DMS	8,76		7,52		7,15		7,3		6,28		5,43		7,12		10,05	

* Na coluna, médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey com probabilidade de 95%.

Com a comparação entre os dados das tabelas 8 (Eto) e 9 (Etm_{ac}) observa-se que os dados médios da Etm_{ac} são diretamente relacionados com a proporção do kc utilizado, sendo que, devido a isto, as tendências das diferenças estatísticas entre os diferentes estádios fenológicos, e, suas interpretações, são similares para ambos os parâmetros.

Salienta-se que este parâmetro representa o somatório total da Etm ocorrida diariamente no período definido pela extensão de um determinado estágio fenológico, independente das condições de disponibilidade hídrica do período. Neste caso, o parâmetro servirá para estimar a lâmina de Etm_{ac} para as diferentes fases fenológicas e a lâmina total de Etm_{ac} durante todo o ciclo da cultura.

Com relação a lâmina total de Etm_{ac} para o ciclo completo até a maturação fisiológica da cultura, observa-se que ocorre redução na demanda hídrica estimada, conforme as semeaduras vão sendo realizadas mais tardiamente dentro do período recomendado. A avaliação estatística demonstra estas diferenças, sendo que os valores são reduzidos de 400 mm para 370 mm, aproximadamente, demonstrando diferença aproximada de 30 mm na demanda hídrica durante o ciclo entre as datas extremas de semeadura.

A respeito destes resultados é importante salientar, que esta diferença máxima de aproximados 30 mm em relação a demanda hídrica total para todo o ciclo da cultura, nas diferentes datas de semeadura, não é um valor que deva ser considerado altamente expressivo em termos de lâmina hídrica, pois representa aproximadamente 8% da Etm_{ac}

total (tabela 9) e 5% da precipitação pluvial total do ciclo (tabela 7). Podendo ser uma simples consequência do encurtamento do ciclo total da cultura, que conforme demonstrado anteriormente na tabela 6, também apresenta redução para semeaduras mais tardias no período recomendado. Para Bergamaschi et al (2006) a demanda de água pela cultura do milho é amplamente variável em diferentes locais e épocas de cultivo, os autores apresentam valores que variam entre 200 e 400mm no ciclo total. Já Radin (1998) descreve resultados de pesquisa com aplicação de lâmina total de aproximadamente 450 mm de água para cultura.

Tabela 9. Evapotranspiração máxima acumulada ($E_{m_{ac}}$) nos estádios fenológicos da cultura do milho determinada com base em dados climáticos de 1984 a 2008, em Guarapuava-PR.

Data de semeadura	Estádios fenológicos *									
	E-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-(R1)	R2	R3	R4 - MF	Total	
Etm (mm)										
21-set	35,50	a 39,45	a 50,04	ab 65,45	b 56,29	b 35,95	a 50,17	b 65,07	a 397,84	a
01-out	35,91	ab 39,20	a 52,58	b 63,91	ab 53,17	ab 36,45	a 47,87	b 66,01	a 395,21	a
11-out	36,16	ab 41,87	a 51,08	ab 61,66	ab 54,107	ab 34,54	a 47,83	b 63,35	a 390,39	ab
21-out	38,08	ab 41,62	a 48,87	ab 62,16	ab 49,95	ab 35,12	a 45,70	ab 62,92	a 384,38	bc
01-nov	38,79	ab 41,58	a 46,70	a 58,79	ab 51,00	ab 32,54	a 46,33	ab 62,04	a 377,59	c
11-nov	39,20	b 37,41	a 47,50	ab 57,16	a 48,54	a 33,91	a 41,79	a 63,06	a 368,39	d
Cv %	11,53	15,65	13,96	14,23	15,91	18,67	14,49	11,38	2,47	
DMS	3,59	5,26	5,77	7,32	6,94	5,43	5,65	6,06	7,97	

* Na coluna médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de Tukey com probabilidade de 95%.

Com os resultados apresentados com relação à precipitação pluvial, (E_{to}) e $E_{m_{ac}}$ é possível avaliar o comportamento destes parâmetros em relação ao ciclo de desenvolvimento da cultura, considerando as diferentes datas de semeadura. Entretanto, os dados apresentados desta forma, não permitem a realização de inferências sobre o grau de adequação da distribuição das precipitações em relação à determinação da probabilidade de ocorrência ou não de deficiência hídrica para a cultura ao longo dos anos.

Assim, a disponibilidade de água deve ser avaliada de acordo com o balanço hídrico, considerando que o montante de precipitação observado em dado momento, poderá estar repondo parte da lâmina de água retirada do solo em estágio anterior. Neste caso é possível ocorrer, que em dado estágio fenológico seja acusado negativo acumulado

de armazenamento de água no solo, mesmo que a lâmina precipitada seja maior do que a evapotranspirada. O uso do balanço hídrico da cultura é ferramenta amplamente difundida para o manejo de culturas no campo. Em relação à evapotranspiração máxima da cultura para avaliação do milho, Radin et al. (2000) salientam que o estabelecimento do balanço hídrico possibilita a interpretação do armazenamento de água no solo e estabelecimento de inferências sobre o comportamento produtivo da cultura.

Neste contexto, é pertinente que, além das inferências apresentadas tendo por base os valores médios dos parâmetros, sejam acrescentadas outras avaliações em relação à demanda e disponibilidade hídrica para a cultura. Desta forma, é necessário correlacionar a distribuição das lâminas das precipitações em relação à amplitude da lâmina de $E_{tm_{ac}}$ dentro de cada estágio de desenvolvimento, visando identificar a ocorrência de períodos onde as maiores lâminas de $E_{tm_{ac}}$ atinjam valores fora dos limites ótimos da cultura e, assim, capazes de ocasionar deficiência hídrica. A associação entre os índices de estresse hídrico estimados para cada estágio fenológico, nas diferentes datas de semeadura, com potencial provável de redução de produção de grãos, torna possível estimar as conseqüentes probabilidades de variação nos montantes de produção, devidos a escolha de uma determinada data de semeadura.

Com esta perspectiva, avaliou-se o balanço hídrico total do ciclo da cultura conforme as datas de semeadura, identificando os *máximos valores estimados das lâminas de E_{tm} acumulada ($>E_{tm_{ac}}$)* verificados nos diferentes estádios fenológicos, que são apresentados na Figura 7.

É importante considerar que este parâmetro representa o máximo valor da lâmina de depleção de água no solo, que a planta pode ter experimentado em determinada fase fenológica, podendo este ser acumulativo da fase fenológica anterior, o qual permanecerá aumentado (até limite máximo estimado de 190 mm conforme características do solo predominante na região) até que ocorra reposição do armazenamento de água pela precipitação pluvial. Este parâmetro está diretamente associado com a definição da ocorrência ou não de deficiência hídrica para a cultura.

Na Figura 7 são apresentados os valores da $>E_{tm_{ac}}$ para os diferentes anos. Estes valores foram estratificados em relação a intervalos pré-definidos: a) lâmina ótima, onde não existe ocorrência de deficiência hídrica, que é de zero até 18 mm para o estágio E-V6 e até 32 mm para os demais. b) lâmina deficiente, quando a $>E_{tm_{ac}}$ atingir valores entre 0 e 50 % superiores a lâmina ótima para a cultura isto é, até 27 mm e 48 mm, respectivamente. e, c) lâmina crítica, onde os valores de lâmina acumulada que ultrapassaram o intervalo de lâmina deficiente, cuja deficiência hídrica ocasionada corresponde ao máximo valor referente ao

intervalo crítico e, o valor final passa a servir como indicativo da amplitude da redução da disponibilidade hídrica e da lâmina de precipitação necessária para reposição.

Observa-se na Figura 7, que nos estádios fenológicos iniciais (VE a V10-VT) os valores da $>E_{tm_{ac}}$ apresentam-se crescentes dentro do intervalo de lâmina crítica variando entre aproximados 40 a 100 mm, respectivamente. Contudo, a partir do estágio VT e, no período reprodutivo, observa-se que existiram valores extremos de redução do armazenamento de água no solo, como se verifica para os anos de 1984, 1985, 1988, 1990, 2004 e 2005, onde se estimou a ocorrência do valor máximo de extração de 190 mm, sendo o estágio R3 o único afetado ao máximo em todos os anos citados. Para facilitar a interpretação, os dados da Figura 7 foram classificados pela frequência em cada um destes intervalos (Tabela 10). No **anexo III** é apresentada uma relação completa dos valores de $>E_{tm_{ac}}$ para o período de 1984 a 2008 nos meses de desenvolvimento da cultura do milho na região de Guarapuava.

Na avaliação dos dados apresentados na tabela 10, pode-se verificar que, independente da data de semeadura: a) ocorre aumento da incidência de lâminas de $>E_{tm_{ac}}$ no intervalo da lâmina crítica e, redução da incidência no intervalo da lâmina ótima, com o decorrer do avanço dos estádios fenológicos no ciclo; b) a probabilidade de ocorrência de $>E_{tm_{ac}}$ nos limites da lâmina ótima é sempre inferior a 50%, tendo valores máximos (48,21%) e mínimos (38,10%) para a semeadura em 10 de novembro e 21 de outubro, respectivamente.

Com estes resultados observa-se que independente da data de semeadura, a probabilidade de ocorrerem perdas de produção devido à deficiência hídrica é maior do que a da não ocorrência, entretanto, as proporções são variáveis para as diferentes datas de semeadura, tendendo aos melhores resultados para semeaduras realizadas no final do período recomendado. Esta informação é primordial frente aos objetivos propostos para este trabalho. Porém, é preciso se definir mais claramente os efeitos das variações hídricas sobre a cultura, pois, até o momento se tem a informação sobre os extremos, isto é, a probabilidade do desenvolvimento da cultura livre de déficit hídrico, ou, de ocorrerem perdas por deficiência. A primeira informação pode ser interpretada claramente, pois, representa perda zero, contudo, para interpretar corretamente a segunda, torna-se necessário quantificar esta informação na condição de estresse por deficiência hídrica e seus efeitos sobre a produção.

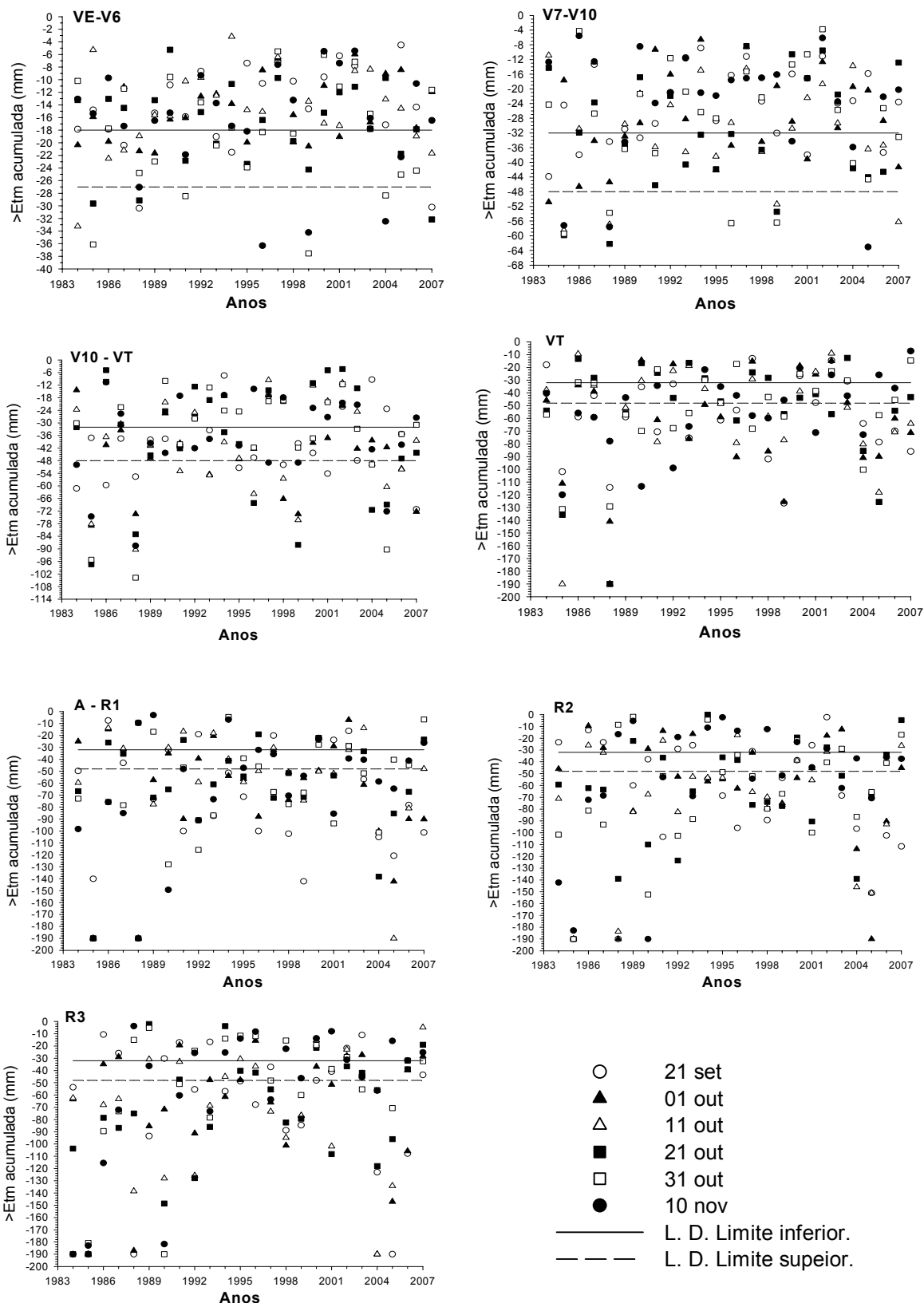


Figura 7. Máxima lâmina de evapotranspiração máxima acumulada da cultura (>Etm_{ac}) nos diferentes estádios fenológicos e épocas de semeadura do milho, com base em dados climáticos de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR. L. D = Lâmina deficiente (mm).

Tabela 10. Probabilidade de ocorrência das máximas lâminas de evapotranspiração máxima acumulada da cultura ($>E_{tm_{ac}}$) nos diferentes estádios fenológicos e épocas de semeadura do milho, com base em dados climáticos de 1984 a 2008 em Guarapuava-PR.

Intervalo	VE – V6	V7	V10	VT	A-F(R1)	R2	R3	Total ciclo
	% da Lâmina da $>E_{tm_{ac}}$							(%)
Data de semeadura 21 de setembro								
Lâmina ótima	79.17 26,76	75.00 25,35	25.00 8,45	25.00 8,45	29.17 9,86	33.33 11,27	29.17 9,86	42.26 100
Lâmina deficiente	16.67 12,91	29.17 22,58	45.83 35,48	12.50 9,68	4.17 3,23	8.33 6,45	12.50 9,68	18.45 100
Lâmina crítica	8.33 3,03	0.00 0,00	29.17 10,61	58.33 21,21	62.50 22,73	58.33 21,21	58.33 21,21	39.28 100
Total estádios	100	100	100	100	100	100	100	100
Data de semeadura 01 de outubro								
Lâmina ótima	70.83 25,37	62.50 22,39	25.00 8,96	25.00 8,96	33.33 11,94	33.33 11,94	29.17 10,45	39.88 100
Lâmina deficiente	29.17 17,95	33.33 20,51	29.17 17,95	16.67 10,26	16.67 10,26	16.67 10,26	20.83 12,82	23.21 100
Lâmina crítica	0.00 0,00	4.17 1,61	45.83 17,74	58.33 22,58	50.00 19,36	50.00 19,36	50.00 19,36	36.90 100
Total estádios	100	100	100	100	100	100	100	100
Data de semeadura 11 de outubro								
Lâmina ótima	75.00 25,71	58.33 20,00	37.50 12,86	29.17 10,00	33.33 11,43	29.17 10,00	29.17 10,00	41.67 100
Lâmina deficiente	20.83 16,67	25.00 20,00	25.00 20,00	25.00 20,00	12.50 10,00	4.17 3,33	12.50 10,00	17.86 100
Lâmina crítica	4.17 1,47	16.67 5,88	37.50 13,24	45.83 16,18	54.17 19,12	66.67 23,53	58.33 20,59	40.48 100
Total estádios	100	100	100	100	100	100	100	100
Data de semeadura 21 de outubro								
Lâmina ótima	66.67 25,00	54.17 20,31	41.67 15,62	41.67 15,62	25.00 9,37	20.83 7,81	16.67 6,25	38.10 100
Lâmina deficiente	20.83 14,29	25.00 17,14	25.00 17,14	16.67 11,43	12.50 8,57	20.83 14,29	25.00 17,14	20.83 100
Lâmina crítica	12.50 4,62	20.83 7,69	33.33 12,31	41.67 15,38	62.50 23,08	58.33 21,54	58.33 21,54	41.07 100
Total estádios	100	100	100	100	100	100	100	100
Data de semeadura 31 de outubro								
Lâmina ótima	58.33 18,67	62.50 20,00	58.33 18,67	37.50 12,00	29.17 9,33	25.00 8,00	41.67 13,33	44.64 100
Lâmina deficiente	29.17 20,59	20.83 14,71	25.00 17,65	16.67 11,76	16.67 11,76	20.83 14,71	12.50 8,82	20.24 100
Lâmina crítica	12.50 5,08	16.67 6,78	16.67 6,78	45.83 18,64	54.17 22,03	54.17 22,03	45.83 18,64	35.12 100
Total estádios	100	100	100	100	100	100	100	100
Data de semeadura 10 de novembro								
Lâmina ótima	75.00 22,22	75 22,22	45.83 13,58	20.83 6,17	29.17 8,64	41.67 12,35	50.00 14,81	48.21 100
Lâmina deficiente	12.50 8,33	12.5 8,33	41.67 27,78	33.33 22,22	25.00 16,67	12.50 8,33	12.50 8,33	21.43 100
Lâmina crítica	12.50 5,88	12.5 5,88	12.50 5,88	45.83 21,57	45.83 21,57	45.83 21,57	37.50 17,65	30.36 100
Total estádios	100	100	100	100	100	100	100	100

Para uma única data de semeadura: n° em **negrito** avaliado na linha, n° em *itálico* avaliado na coluna.

Lâmina ótima: 1) Estádio VE-V6 = até 18 mm; 2) Demais estádios = até 32 mm

Lâmina deficiente: 1) Estádio VE-V6 = entre 18 e 27 mm; 2) Demais estádios = entre 32 e 48 mm

Neste contexto, para a avaliação da ocorrência e intensidade da deficiência hídrica na cultura determinou-se o deficit hídrico relativo, que foi calculado para os respectivos estádios fenológicos da cultura do milho, como sendo um índice que pode resultar em valores entre 0 a 100%, dependendo de sua amplitude dentro da lâmina deficiente. O valor zero significa a não ocorrência de deficiência hídrica e o valor 100% indica a ocorrência do máximo efeito de redução de produção atribuído ao deficit hídrico no referido estágio fenológico. Foi também considerado que valores de $>E_{tm_{ac}}$ dentro do intervalo da lâmina crítica não ocasionam incremento dos efeitos do deficit hídrico além do valor máximo de 100% relativo à lâmina deficiente.

Para a determinação do deficit hídrico relativo à probabilidade de ocorrência de valores de $>E_{tm_{ac}}$ no intervalo da lâmina deficiente foi dividido em cinco classes entre 0 e 100, os resultados são apresentados na tabela 11.

A amplitude do efeito do deficit hídrico relativo em relação à redução da produção depende da influência (%) do estágio sobre este parâmetro (tabela 5). Com a avaliação deste parâmetro são verificados resultados primordiais, que evidenciam diferenças na probabilidade de ocorrência de diferentes níveis de deficiência nos estádios fenológicos da cultura em função da data de semeadura.

Observa-se que independente da data de semeadura, a maior concentração do deficit hídrico relativo ocorre na classe 76 a 100%, o que é compreensível, pois, nesta classe estão também inseridos os valores extremos da $>E_{tm_{ac}}$ (lâmina crítica). Conforme já verificado na tabela 10, na região de Guarapuava, as probabilidades de ocorrência de deficiência hídrica durante o ciclo da cultura do milho são maiores do que as da não ocorrência, e, considerando os resultados da tabela 11, em caso positivo, a maior probabilidade é de que seus efeitos sobre a redução de produção sejam os máximos prováveis em relação à influência do estágio fenológico.

Os resultados possibilitam definir que dentre do ciclo da cultura, o estágio fenológico A-F(R1) apresenta a maior probabilidade de incidência de danos por deficit hídrico, com 65,28 % de probabilidade de deficit com severidade entre 76 e 100% e, junto com o estágio VT, as mais baixas probabilidades de fugir completamente da deficiência hídrica. Este resultado é de extrema importância, pois, neste estágio a cultura apresenta a maior sensibilidade ao estresse hídrico em relação à redução do potencial de rendimento de grãos. Quanto a este aspecto, observa-se ainda, que as probabilidades de ocorrência de deficit hídrico mais severo aumentam com o desenvolvimento da cultura, especialmente a partir do estágio VT.

Tabela 11. Probabilidade de ocorrência e classificação da intensidade do deficit hídrico nos estádios fenológicos da cultura do milho em diferentes datas de semeadura, com base em dados climáticos do período 1984 – 2008, em Guarapuava-PR.

Estádio Fenológico	Deficit hídrico relativo em porcentagem de probabilidade											
	Zero	1 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100	Σ %	Zero	1 a 25	26 a 50	51 a 75	76 a 100	Σ %
	Data de semeadura 21 de setembro						Data de semeadura 21 de outubro					
E-V6	79,17	4,17	4,17	4,17	8,33	100	66,67	8,33	4,17	4,17	16,67	100
V7-V10	75,00	8,33	12,50	0,00	4,17	100	54,17	0,00	8,33	0,00	37,50	100
V10-VT	25,00	8,33	16,67	8,33	41,67	100	41,67	8,33	0,00	4,17	45,83	100
VT	25,00	4,17	4,17	0,00	66,67	100	41,67	0,00	0,00	4,17	54,17	100
A-F(R1)	29,17	0,00	0,00	0,00	70,83	100	25,00	8,33	0,00	0,00	66,67	100
R2	33,33	4,17	4,17	0,00	58,33	100	20,83	12,50	8,33	0,00	58,33	100
R3	29,17	0,00	4,17	0,00	66,67	100	16,67	0,00	20,83	4,17	58,33	100
%	42,26	4,17	6,55	1,79	45,24	100	38,10	5,36	5,95	2,38	48,21	100
	Data de semeadura 01 de outubro						Data de semeadura 31 de outubro					
E-V6	70,83	20,83	8,33	0,00	0,00	100	58,33	4,17	0,00	0,00	37,50	100
V7-V10	62,50	8,33	4,17	4,17	20,83	100	62,50	8,33	4,17	0,00	25,00	100
V10-VT	25,00	4,17	8,33	4,17	58,33	100	58,33	4,17	8,33	0,00	29,17	100
VT	25,00	4,17	0,00	4,17	66,67	100	37,50	0,00	0,00	8,33	54,17	100
A-F(R1)	33,33	0,00	4,17	0,00	62,50	100	29,17	0,00	0,00	4,17	66,67	100
R2	33,33	4,17	4,17	0,00	58,33	100	25,00	12,50	12,50	4,17	45,83	100
R3	29,17	8,33	8,33	0,00	54,17	100	41,67	4,17	4,17	4,17	45,83	100
%	39,88	7,14	5,36	1,79	45,83	100	44,64	4,76	4,17	2,98	43,45	100
	Data de semeadura 11 de outubro						Data de semeadura 10 de novembro					
E-V6	75,00	4,17	4,17	0,00	16,67	100	75,00	0,00	0,00	8,33	16,67	100
V7-V10	58,33	12,50	4,17	0,00	25,00	100	75,00	12,50	0,00	0,00	12,50	100
V10-VT	37,50	0,00	4,17	4,17	54,17	100	45,83	0,00	4,17	4,17	45,83	100
VT	29,17	8,33	8,33	0,00	54,17	100	20,83	8,33	4,17	4,17	62,50	100
A-F(R1)	33,33	0,00	0,00	0,00	66,67	100	29,17	4,17	4,17	4,17	58,33	100
R2	29,17	0,00	12,50	0,00	58,33	100	41,67	4,17	4,17	0,00	50,00	100
R3	29,17	4,17	4,17	4,17	58,33	100	50,00	8,33	0,00	0,00	41,67	100
%	41,67	4,17	5,36	1,19	47,62	100	48,21	5,36	2,38	2,98	41,07	100
	Média geral para fases fenológicas						Médias geral para datas de semeadura					
E-V6	70,83	6,94	3,47	2,78	15,97	100	42,46	5,16	4,96	2,18	45,24	100
V7-V10	64,58	8,33	5,56	0,69	20,83	100						
V10-VT	38,89	4,17	6,94	4,17	45,83	100						
VT	29,86	4,17	2,78	3,47	59,72	100						
A-F(R1)	29,86	2,08	1,39	1,39	65,28	100						
R2	30,56	6,25	7,64	0,69	54,86	100						
R3	32,64	4,17	6,94	2,08	54,17	100						

A partir das definições das probabilidades de ocorrência do deficit hídrico relativo foi possível realizar estimativas sobre os efeitos diretos no comportamento da produção de grãos. Na tabela 12 são apresentados os índices proporcionais de redução de produção de acordo com o estágio fenológico da cultura, em função da data de semeadura. Salienta-se que os valores são índices percentuais de redução de produção, estabelecidos pela associação da probabilidade de ocorrência de deficit hídrico com o percentual de decréscimo de produção de acordo com o estágio da cultura. No **anexo III** é apresentado o detalhamento anual desta informação, com as respectivas lâminas geradoras de estresse hídrico e sua ação sobre a produção.

Com relação à definição da melhor data de semeadura, visando reduzir a probabilidade de ocorrência de redução de produção devido à deficiência hídrica, verifica-se que as datas de semeadura mais tardias, 31 de outubro e 10 de novembro, ocasionam as maiores probabilidades de não ocorrência de deficit hídrico (44,64 e 48,21%) e as menores probabilidades de que a severidade da deficiência hídrica possa ser extrema (43,45 e 41,07%), respectivamente. Além disso, verifica-se que na semeadura de 10 de novembro há menor probabilidade de ocorrência de deficiência hídrica na fase A-F(R1), embora o índice de 58,3% seja ainda elevado.

Verifica-se que a produção média estimada para o período de estudo de 24 anos, não apresenta diferenças estatísticas, tendo um elevado coeficiente de variação o qual é derivado das grandes variações observadas também para distribuição da precipitação pluvial. A produtividade média estimada é de 7091 kg ha⁻¹. Há de se considerar que as avaliações foram realizadas partindo-se de um teto de produção de 14.000 kg ha⁻¹, representativo das médias para o Paraná e em geral da região Sul, para ciclos sem ocorrência de deficiência hídrica (adaptado de Argenta et al, 2003; Sangoi et al., 2003), sendo assim, o valor médio de 7091 kg ha⁻¹ pode ser considerado baixo. Contudo, a partir dos resultados apresentados na tabela 11, este montante pode ser considerado como esperado. Neste quadro fica explícita a influência da deficiência hídrica na fase A-F(R1) sobre o decréscimo da produção.

Assim como se procedeu para o deficit relativo, é necessário que as estimativas de produção sejam avaliadas pontualmente para o período de anos considerado neste estudo, visando definir as probabilidades de obtenção de diferentes níveis de produção considerando as diferentes datas de semeadura e, assim, chegar a uma conclusão sobre a possibilidade de existir uma data mais indicada para a semeadura do milho na região. Pois,

foi observado que na média de 24 anos, os produtores de milho não irrigado na região de Guarapuava produziram em média 7091 kg ha⁻¹, dados que estão de acordo com Seab/Deral (2009) que apresentam média de produção próxima a 7500 kg ha⁻¹ para o local. Entretanto, é preciso avaliar qual a probabilidade esperada de oscilação de produtividade em torno da média, considerando as datas de semeadura, já que isto representa, também, a oscilação provável da rentabilidade média do produtor, o que de acordo com Letey (1985), quanto menos variável, maior será a sustentabilidade da atividade agrícola.

Tabela 12. Produção de grãos estimada em função do índice proporcional de redução por efeito do deficit hídrico nos estádios fenológicos da cultura do milho em diferentes datas de semeadura com base em dados climáticos do período 1984 – 2008 em Guarapuava-PR.

Estádio Fenológico	Data de semeadura					
	21/set	01/out	11/out	21/out	31/out	10/Nov
	Redução da produção (%)					
E-V6	0,63	0,37	0,93	1,13	1,92	1,07
V7-V10	0,51	1,29	1,41	1,99	1,38	0,70
V10-VT	5,44	6,41	5,73	4,69	3,28	4,90
VT	10,23	10,39	8,75	8,56	9,02	10,18
A-F(R1)	24,79	22,42	21,78	23,33	23,88	21,93
R2	5,64	6,07	6,33	6,35	5,55	9,19
R3	3,41	3,15	3,19	3,42	2,53	2,07
% redução	50,7	50,1	48,2	49,48	47,558	50,03
* Produção kg ha ⁻¹	6902 a	6986 a	7252 a	7072 a	7341 a	6995 a

*Resultados do Teste de Tukey probabilidade 95%; DMS 2348 kg ha⁻¹; CV% 39,24; média 7091 kg ha⁻¹

Na Figura 8 são apresentadas as estimativas das produtividades considerando as diferentes datas de semeadura no período de estudo. O intervalo de confiança em torno da média foi definido em função dos resultados da análise estatística considerando a diferença mínima significativa para a média (DMS) de 2348 kg ha⁻¹. Este DMS é extremamente amplo, de acordo com o coeficiente de variação de aproximadamente 40%. Neste caso, produzir no intervalo da média não representa solidez, pois, pode significar variação de aproximadamente 4700 kg, podendo-se obter produção entre 4743 kg ha⁻¹ e 9439 kg ha⁻¹.

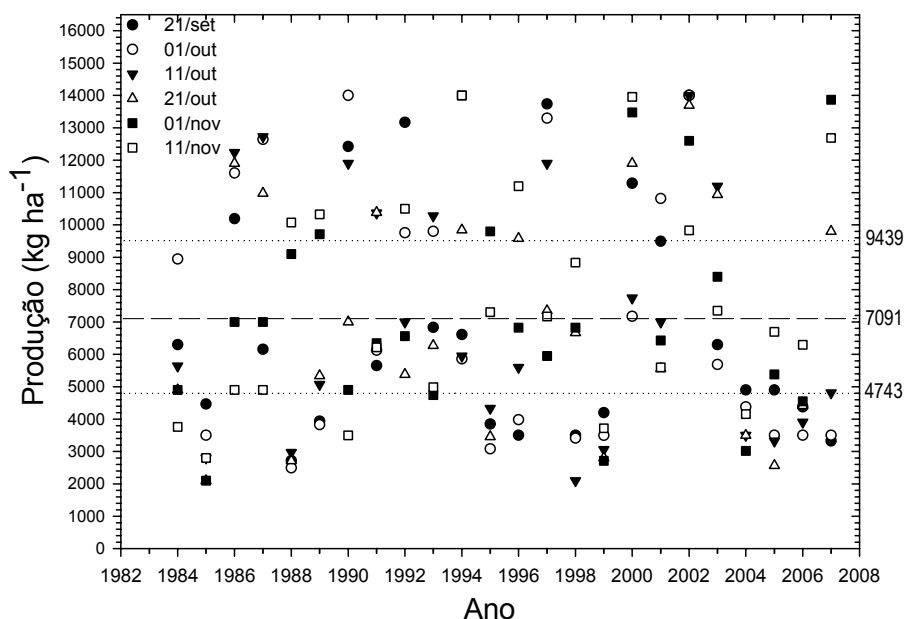


Figura 8. Produtividade estimada (kg ha⁻¹) em função da variação da disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura do milho, em diferentes datas de semeadura para o período 1984 – 2008 em Guarapuava-PR.

Se forem associados os dados da Figura 8, com as inferências anteriores, em relação à evapotranspiração, observa-se que os anos onde existiram valores extremos de redução do armazenamento de água no solo como em 1984, 1985, 1988, 1990, 2004 e 2005 (Figura 8), são os que se destacam com estimativa de produção abaixo da média.

Na figura 9 é apresentada a análise do comportamento da produção em relação ao intervalo de confiança em torno da média. Observa-se que quanto mais tardia for a semeadura dentro do período recomendado (especificamente até 31 de outubro), maior será a tendência de redução da probabilidade de obtenção de produtividades abaixo do intervalo de confiança da média. Este resultado é fundamental, pois, devido a grande amplitude do referido intervalo, produzir abaixo da média significa redução de no mínimo de 66% em relação ao teto de produção.

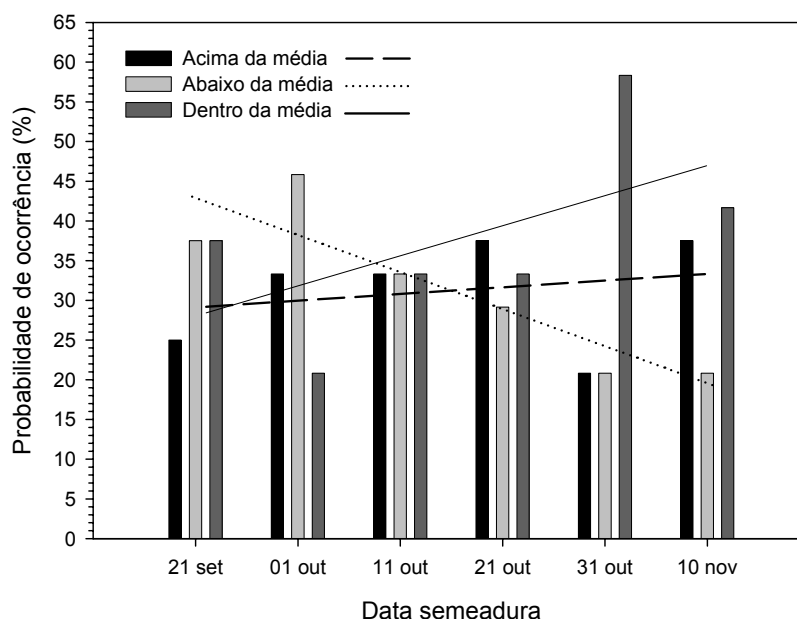


Figura 9. Classificação da produtividade estimada em função da disponibilidade hídrica durante o ciclo da cultura do milho, em diferentes datas de semeadura para o período 1984 – 2008 em Guarapuava-PR.

Como a distribuição da produção estimada em torno da média é aleatória, em função da precipitação pluvial e da deficiência, efetuou-se um novo agrupamento das médias de acordo com sua posição (acima, dentro ou inferior) em relação ao intervalo de confiança da média, para cada data de semeadura. Os resultados são apresentados na Figura 9.

A semeadura em 21 de setembro não se indica atrativa, já que a maior probabilidade é de se obter produtividades dentro ou abaixo da média (37,5%) e apenas 25% de probabilidade de se produzir acima da média.

A época de semeadura em 01 de outubro apresenta-se como a de maior risco para o cultivo de milho na região, apresentando (45,8%) de probabilidade de se obter produções abaixo, com probabilidade de 20,8% de produzir dentro do intervalo, e 33,3% acima da média. Neste caso, os dados indicam que irá ocorrer maior oscilação da produção ao longo dos anos, em relação às demais datas de semeadura.

Para a semeadura em 11 de outubro, que apresenta probabilidades similares de ocorrência de eventos em torno do intervalo da média (33,3%) esta possibilidade de oscilação de produção diminui, contudo, a soma das probabilidades de se produzir dentro ou abaixo da média (66%) não é um resultado harmônico. Nesta perspectiva a semeadura

em 21 de outubro apresenta melhores resultados com aumento da probabilidade de obtenção de produção acima (37,5%) e redução da probabilidade de produção abaixo da média (29%)

Para inferências em relação à estabilidade de produção, a data de semeadura em 31 de outubro apresentou os maiores valores de probabilidade de produção dentro do intervalo da média (58,3%), este resultado seria o ideal caso a amplitude deste intervalo não apresentasse a mencionada variação, porém é interessante, devido ao menor risco de se produzir abaixo da média.

Para a data de semeadura em 10 de novembro as probabilidades são também relacionadas com estabilidade de produção, pois existem 41% de probabilidade de se produzir dentro do intervalo da média, contudo, o diferencial positivo está no fato de que existe também a maior probabilidade de se produzir acima da média (37%) associada com uma das menores (20,8%) de se produzir abaixo do intervalo da média.

Com os resultados observados pode-se inferir que para a região de Guarapuava-PR é mais apropriado a semeadura do milho em datas mais tardias dentro do calendário recomendado pelo zoneamento agrícola, especialmente considerando as datas de 31 de outubro e 10, de novembro visando reduzir os riscos de reduções extremas da produtividade.

Estes resultados estão de acordo com os apresentados na tabela 11, onde se evidenciou que as datas de semeadura mais tardias, em 31 de outubro e 10 de novembro, ocasionam as maiores probabilidades de não ocorrência de deficit hídrico e as menores de que a severidade da deficiência hídrica possa ser extrema, sendo que na última data as probabilidades de deficiência hídrica no estágio A-F(R1) embora ainda elevadas, são menores em relação às demais.

Em relação aos resultados observados, Farias et al. (2001) descrevem que o conhecimento da lâmina total de água consumida pela cultura, em cada um dos vários períodos de crescimento, permite ajustar as datas da semeadura de forma que as fases de crescimento mais críticas coincidam com períodos de menor probabilidade de deficiência hídrica. Em pesquisa na região central do Rio Grande do Sul, Nied et al. (2005), verificaram que semeaduras realizadas em outubro, em média, apresentam maior probabilidade de ocorrência de deficiências hídricas, uma vez que o subperíodo compreendido entre a antese e o início de enchimento do grão culmina com a menor ocorrência de chuva nessa região.

Após a determinação destes resultados, cabe ressaltar uma última inferência matemática, evidenciando, como não poderia deixar de ser, a questão das lavouras irrigadas. Pois, reportando os resultados apresentados na tabela 12, resumidamente em relação ao estágio A-F(R1), verifica-se que caso um produtor que dispõe de sistema de irrigação, acione o sistema manejando-o adequadamente para eliminar o déficit hídrico em torno desta fase, que dura aproximadamente 10 dias (tabela 1), sua produção média estimada saltará 7091 kg ha^{-1} para mais de $10.300 \text{ kg ha}^{-1}$.

6. CONCLUSÕES

Com o desenvolvimento do trabalho considerando dados climáticos do período de 1984 a 2008, conclui-se que:

A cultura do milho é afetada pela distribuição da disponibilidade de água ao longo do ciclo fenológico e estima-se que a probabilidade média de redução de produção por deficiência hídrica é de aproximadamente 50% ;

A probabilidade estimada de ocorrência de deficiência hídrica nos diferentes estádios fenológicos da cultura é afetada pela época de semeadura e o estágio fenológico com maior índice de probabilidade de submissão ao deficit hídrico é A-F-(R1) (antese fecundação);

Considerando-se dados de vários anos, a produtividade média da cultura do milho em Guarapuava não será afetada pela data de semeadura, contudo, as semeaduras mais tardias no período recomendado tendem a reduzir a probabilidade de produção de grãos abaixo do intervalo da média, diminuindo a oscilação de produção ao longo dos anos.

A data de 10 de novembro mostra ser a mais indicada para a semeadura do milho na região de Guarapuava por ocasionar os maiores índices de probabilidade de obtenção de produção de grãos dentro ou acima do intervalo da média associada com uma das menores probabilidades de se produzir abaixo do intervalo da média e com menores índices de ocorrência de deficiência hídrica no estágio A-F(R1) (antese fecundação);

A duração dos estádios fenológicos da cultura do milho é afetada pela data de semeadura em função de variações na soma térmica, ocorrendo redução do ciclo total da cultura para plantios mais tardios dentro período recomendado, devido ao encurtamento dos estádios do período vegetativo da cultura;

Os meses de junho, julho e agosto são os que apresentam os menores índices de precipitação pluvial ao longo do ano, outubro e dezembro os maiores, e o balanço hídrico não apresenta, na média, a ocorrência de períodos de deficiência hídrica definidos;

Comparada a componentes climáticos como temperatura e umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, a precipitação pluvial é a que apresenta os maiores índices de variabilidade na região de Guarapuava-PR.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFFOLDER, F.; RODRIGUES, G.C.; ASSAD, E.D. Modelo agroclimático para avaliação do comportamento do milho na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.10, p. 993- 1002. 1997.

ALBUQUERQUE, J.A.; SANGOI, L.; ENDER, M. Efeitos da integração lavoura-pecuária nas propriedades físicas do solo e características da cultura do milho. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p 717-723, 2001.

ALFONSI, R. R.; BRUNINI O.; CAMARGO, J.R.M. et al. Disponibilidade hídrica no solo para a cultura do milho no Estado de São Paulo, em função de épocas de semeadura e cultivares. **Bragantia**. v.57. p 127-133. 1998.

ALLEN R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D. et al. **Crop evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998.297 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).

ANDREATTA, J.A. **Determinação da razão entre a evapotranspiração máxima de dois cultivares de milho (Zea mays L.) e a evapotranspiração potencial**. Botucatu, Universidade Estadual de São Paulo, 1990. 94p. (Tese de Mestrado)

ARGENTA G.; SANGOI, L.; SILVA, P. R. F. da. et al. Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção. **Scientia Agrária**, Piracicaba, v. 4, n. 1-2, p. 27-34, 2003.

ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.; SILVA, F.A.M. et al. Zoneamento agroclimático para a cultura do café (*Coffea arabica* L.) no Estado de Goiás e sudoeste do Estado da Bahia. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, p.510-518, 2001. Número especial Zoneamento Agrícola.

ASSIS, F. N. **Modelagem da ocorrência e da quantidade de chuva e de dias secos em Piracicaba-SP e Pelotas-Rs**. Piracicaba: USP, 1991. 134p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 1991.

ASSIS, F. N.; ARRUDA, H. V.; PEREIRA, A. R. **Aplicações de estatísticas à climatologia: Teoria e Prática**. Pelotas. Ed. Universitária, Universidade Federal de Pelotas, 1996, 161p.

AYOADE, J. – **Introdução à climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1985. 332p.

BARBANO, M.T.; SAWAZAKI, E.; BRUNINI, O. et al. Temperatura-base e acúmulo térmico no subperíodo emergência-florescimento masculino em cultivares de milho no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.2, p. 261-268, 2001.

BARBANO, M.T.; SAWAZAKI, E.; BRUNINI, O. et al. Temperatura base e soma térmica para cultivares de milho pipoca (*Zea mays* L.) no subperíodo emergência florescimento masculino.

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 11, n. 1, p. 79-84, 2003

BARNI, N. A.; MATZENAUER, R. Ampliação do calendário de semeadura da soja no Rio Grande do Sul pelo uso de cultivares adaptados aos distintos ambientes. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, Porto Alegre: v.6, n.2, p.189-203, 2000.

BASSOI, L.H.; FANTE JÚNIOR, L.; JORGE, L.A.C. et al. Distribuição do sistema radicular do milho em terra roxa estruturada latossólica: II- Comparação entre cultura irrigada e fertirrigada.

Scientia Agrícola, Piracicaba, v. 51, n. 3, p. 541-548, 1994.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I. et al. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, p.831-839, 2004.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; COMIRAN, F. et al. Deficit hídrico e produtividade na cultura do milho. Brasília, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, n.2, p.243-249. 2006.

BERGAMASCHI, H. Fenologia. **In: Relações Clima-Planta**. Porto Alegre: UFRGS. Disponível em <[HTTP://www.ufrgs.br/agropfagrom/disciplinas/502/fenolog.doc](http://www.ufrgs.br/agropfagrom/disciplinas/502/fenolog.doc)>. Acesso 20 mar. 2009.

BERGONCI, J.I.; BERGAMASCHI, H.; SANTOS, A.O. et al. Eficiência da irrigação em rendimento de grãos e matéria seca de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.36, p.949-956, 2001.

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**. Editora da Universidade. Porto Alegre, p.11-24. 1992.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. Variabilidade interanual da precipitação pluvial e rendimento da soja no Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, p.119-125, 1999.

BERLATO, M.A.; MATZENAUER, R. Teste de um modelo de estimativa do espigamento do milho com base na temperatura do ar. **Agronomia Sulriogradense**, v. 22, p. 243-259. 1986.

BERLATO, M.A.; MOLION, L.C.B. **Evaporação e evapotranspiração**. Porto Alegre: IPAGRO/ Secretaria de Agricultura, 1981. 95 p. (Boletim Técnico, 7).

BRUNINI, O.; ABRAMIDES, P.L.G.; BRUNINI, A.P.C. et al. Características macroclimáticas, agrometeorológicas e restrições ambientais para o cultivo de milho em regiões tropicais baixas.

Infobios, Campinas, vol. 1, 2006. Artigo em hipertexto disponível em <http://www.infobios.com/Artigos/2006_3/ambientemilho/index.htm>. Acesso em: 20/1/2009.

BRUNINI, O.; ZULLO Jr. J.; PINTO, H.S. et al. Riscos climáticos para a cultura de milho no estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, p.519-526, 2001.

CAMARGO, A.P.; CAMARGO, M.B.P. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. **Bragantia**, v.59, n.2, p 125- 137. 2000.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria-RS. V.5, n.1, p. 89-97, 1997.

CAMP, C.R.; CAMPBELL, R.B. Scheduling irrigation for corn and soybean in the southeast coastal plain. **American Society of Agriculture Engineers**, St. Joseph, Michigan, v.31, n.2, p. 513-518.1998.

CARAMORI, P. H. **Zoneamento agrícola no Estado do Paraná**. Corporativo: Instituto Agrônômico do Paraná, Londrina: PR, 2003. 76p.

CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D.; FARIA, R. T. et al. **Frequência de ocorrência de períodos com deficiência hídrica (veranicos) no Estado do Paraná**. Londrina: IAPAR, 1991. 40 p. (IAPAR. Boletim técnico, n. 36).

CARLESSO, R.; PEITER, M.X.; CHRISTOFARI, C.P. et al. Manejo da irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura. **Revista Brasileira Engenharia Agrícola**, v.5, p15-23, 2000.

CARLESSO, R.; PETRY, C.M.; ROSA, G.M. et al. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul**. Santa Maria: UFSM, 2001. 165p.

CASTRO, R. **Distribuição probabilística da frequência de precipitação na região de Botucatu-SP, 1996**. 101p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Paulista, 1994.

CIRILO, A.G.; ANDRADE, F.H. Sowing date and maize productivity: I. Crop growth and dry matter partitioning. **Crop Science**, v.34, p.1039-1043, 1994.

CLAASSEN, M.M.; SHAW, R.H. Water deficit effects on corn. II. Grain components. **Agronomy Journal**, v.62, p. 652-655, 1970.

CORDEIRO, M. C. R.; SÁ, M. F. G. Interação planta-patógenos e uso da biotecnologia na obtenção de plantas resistentes. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, n.23, p.34-39. 2001.

COSTA, J. R. da; PINHO, J. L. N. de; PARRY, M. M. Produção de matéria seca de cultivares de milho sob diferentes níveis de estresse hídrico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande-PB, v.12, n.5, p.443-450, 2008

CUNHA, J. P. A. R. DA; TEIXEIRA M. M.; FERNANDES H. C. Avaliação do espectro de gotas de pontas de pulverização hidráulicas utilizando a técnica da difração do raio laser. **Engenharia Agrícola**, v.7, n.esp., p. 10-15. 2007.

DALLACORT, R.; FREITAS, P. S. L.; FARIA, R. T. et al. Utilização do modelo Cropgro-soybean na determinação de melhores épocas de semeadura da cultura da soja, na região de Palotina, Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 28, n. 4, p. 583-589, 2006.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G; FERREIRA E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Revista Ciência e Agrotecnologia**, v. 31. n. 6. p 1862-1866, 2007

DE FINA, A. L.; RAVELO, A.C. **Climatologia y Fenología Agrícola**, Buenos Aires, Universitária, 1973. 351 p.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by moisture content and meteorological condition. **Agronomy Journal**, Madison, v.54, p.385-390, 1962.

DIDONET, A.D.; RODRIGUES, O.; MARIO, J.L. et al. Crescimento e desenvolvimento de milho: acúmulo de massa seca do grão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 3. 2001.

DOORENBOS, J., KASSAM, A. H. **Yield response to water**. FAO: Irrigation and Drainage Paper, 33, Rome, FAO, 1979.172p.

DOORENBOS, J. ; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (estudos da FAO: Irrigação e Drenagem 33, Tradução por: H. R. Gheyi; A. A. Souza; F. A. Damasceno; e J. F. de Medeiros – Tradução de Yield response to water).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. Crop water requirements. **Irrigation and Drainage Paper N. 24 (revised)**. FAO, Roma, 1977.

DURÃES, F. O. M.; SANTOS, M.X.; GAMA, E. E. G. et al. A phenotyping platform supporting breeding and genomics programs of cereals and legumes at Embrapa – Brazil. In: **DROUGHT PHENOTYPING PROTOCOLS WORKSHOP**, 2004, Montpellier.

ECK, H.V. Effects of water deficits on yield, yield components and water use efficiency of irrigated corn. **Agronomy Journal**, Madison, v.78, n. 6, p.1035-40, 1986.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA BRASILEIRA. Centro de Pesquisa Agropecuária do Oeste (Dourados, MS). **Milho: informações técnicas**. Dourados, 1997. 222 p. (Embrapa-CPAO. Circular técnica, 5).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2 ed. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2006. 306p.

ESPINOZA, W. Extração de água pelo milho em latossolo da região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 1, p.69-78, 1980.

FANCELLI, A.L. **Plantas Alimentícias**: guia para aula, estudos e discussão. Piracicaba: CALQ, 1986. 131p.

FANCELLI, A L. **O sistema de plantio direto**. Curso de Especialização à Distância: Tecnologia da produção de milho. Piracicaba/SP, 2002.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Ecofisiologia e rendimento**. Informações Agrônômicas, Piracicaba, n. 78, p. 1-16, 1997.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Produção de Milho**. Guaíba; Porto Alegre: Agropecuária, 2000. 360p.

FARIAS, S.E. M. DE; MEIRELLES, M. L.; FRANCO, A. C. et al. Balanço de energia em cultivo de milho no cerrado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 227-233, 2004

FERREIRA, A.; PEREIRA, A. F. **Comparação de métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (Eto) em Cruz das Almas, BA**. Cruz das Almas: UFBA, 1998. 74p.

FONTANA; D. C.; BERLATO, M.; LAUSCHNER, M.H. et al. Estimation model for soybean yield in the State of Rio Grande do Sul, Brazil. **Pesquisa agropecuária Brasileira**. Brasília- DF. v. 36, n. 3, 2001.

FONTANA, D. S.; BERLATO, A. M. Influência do El Niño Oscilação Sul sobre a precipitação do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 127-132, 1997.

FORNASIERI FILHO, D. **A cultura do milho**, Jaboticabal: FUNEP, 1992. 273p.

FORSTHOFER, E. L.; SILVA, P.R.F. da; ARGENTA, G. et al. Desenvolvimento fenológico e agrônomico de três híbridos de milho em três épocas de semeadura. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1341-1348, 2004

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; SOUZA, J. L. M. et al. Funções de produção água-cultura. In: _____. **Planejamento de irrigação: análise e decisão de investimento**. Brasília: Embrapa, 2005, p. 283-314

GADIOLI, J.L.; DOURADO-NETO, D.; GARCÍA, A.G. et al. Temperatura do ar, rendimento de grãos de milho e caracterização fenológica associada à soma calórica. **Scientia Agrícola**, v.57, n.3, p.377-383, 2000.

GLENN, D. M.; SCORZA, R.; BASSETT, C. Physiological and morphological traits associated with water use efficiency in the willow-leaf peach. **Hortscience**, v.35, n.7, p. 1241-43, 2000.

GREGO, C. R.; VIEIRA, S. R. Variabilidade espacial de propriedades físicas do solo em uma parcela experimental. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.29, p. 169-177. 2005.

HARGRAVES, G. H.; SAMANI, Z. A. Reference crop evapotranspiration from temperature. **Applied engineering Agriculture**. v.1, n 2, p. 96-99. 1985.

IAPAR. **Cartas climáticas do Paraná**. v. 18. Londrina: IAPAR, 1994.

IAPAR. **Histórico climático 1976-2008** (resumo) da estação meteorológica da cidade de Guarapuava - PR. 2008.

JADOSKI, S.O.; SALVADOR, E.D.; KLAR, A.E. et al. Peroxidase Enzyme (EC.1.11.1.7) Activity as an Indicator of Water Stress In Sweet Pepper Plants. **Acta Horticulturae** (ISHS) v. 697, p.517-522, 2005.

KELLER, T. Redução do risco climático na agricultura: uma abordagem probabilística: 1- Metodologia, principais aspectos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SEGURIDADE E ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO MERCOSUL, 1998, Brasília. **Anais**. Brasília: Ministério da Agricultura e Abastecimento, 1998.

KELLING, C.R.S. **Efeito da disponibilidade de água no solo sobre os componentes do balanço hídrico e o rendimento do feijoeiro**. Santa Maria: UFSM, 1995. 91p. Dissertação Mestrado.

KÖPPEN, W. **Climatologia: com um estudio de los climas de La tierra**. México: Fondo de Cultura Econômica, 1948. 478p.

KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic, 1995. 495p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RIMA Artes e Textos, 2006. 532p.

LETEY, J. Irrigation uniformity as related to optimum crop production - additional research is needed. **Irrigation Science**. v. 6. p. 253-263. 1985

LEVIT, J. **Responses of plants to environmental stresses**. New York: Academic Press, 1972. 697p.

MAGGIOTTO, S. R. **Estimativa da evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho**. 1996. 71 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba: 1996.

MALUF, J.R.T.; CUNHA, G.R. da; EVANGELISTA, B.A. Zoneamento: períodos de semeadura. Safra 2000/2001. In: **Indicações técnicas para a cultura de milho no estado do Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, Embrapa Trigo, Emater/RS, Fecoagro/RS, 2001. 135 p.(Boletim Técnico, 7).

MATZENAUER, R. Caracterização fenológica de cultivares de milho em avaliação no Estado do Rio Grande do Sul. In: Reunião Técnica Anual do Milho, 42 e Reunião Técnica do Sorgo, 25, 1997, Erechim. **Anais**, 1997, p. 334-341.

MATZENAUER, R; SUTILI, R. A água na cultura do milho. **IPAGRO**, v.11, n.26, p. 17-32. 1983.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. A. et al. **Consumo de água e disponibilidade hídrica para milho e soja, no Rio Grande do Sul**. Porto Alegre: Fepagro, 2002. 105p. (BOLETIM Fepagro, 10).

MEDEIROS, S. L. P.; WESTPHALEN, S. L.; MATZENAUER, R. et al. Relação entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 6, p. 1-10, 1991.

MENDONÇA, F. A. A contribuição do zoneamento climático na elaboração de diagnóstico ambiental de bacias hidrográficas: o exemplo da Bacia do Rio Tibagi/PR. **Boletim Climatológico** (Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP), Presidente Prudente, São Paulo, 1997

MONTEIRO, C. A. F. **O clima da região Sul**. Região Sul. Tomo I. Biblioteca Brasileira. Rio de Janeiro: IBGE, 1963.

MONTEITH, J. L. Evaporation and environment. **Symposia of the Society for Experimental Biology**, n. 19, p. 205 - 234, 1965.

MONTEITH, J.L., ELSTON, J. Climatic constraints on crop production, **In:** Fowden, L., Mansfield, T., Stoddart, J. (Eds.). *Plant adaptation to environmental stress*. London: Chapman e Hall, 1996. p. 3-18.

MOREIRA, H.J.C. **Manual prático para o manejo de irrigação**. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação – SENIR, Projeto BRA 87/008-PNUD/OMN.Brasília, 86 p., 1992.

MORICOCHI, L.; RONCATO P. C. R.; VICENTE, J. R. et al. Potencial de produção e produtividade da Agricultura Paulista: o caso do milho. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo: v. 36, n. 1, p. 127-148, 1989.

MOTA, F. S. **Metereologia Agrícola**. São Paulo: 1983.

MOTA, F.S. **Condições climáticas e produção de soja no sul do Brasil**. In: VERNETTI, F. de J. (Coord.) *Soja*. Campinas: Fundação Cargill, 1983. 463p.

MUZILLI, O.; VIEIRA M.J.; ALMEIDA, F.L.S. et.al. Comportamento e possibilidades da cultura do milho em plantio direto no Estado do Paraná . **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.18, p. 41-47. 1983.

NESMITH, D.S.; RITCHIE, J.T. Short – and long – term responses of corn to a pre anthesis soil water deficit. **Agronomy Journal**, Madison, v.84, p.107-113, 1992.

NEY, B.; DUTHION, C.; TURC, O. Phenological response of pea to water stress during reproductive development. **Crop Science**, Madison, v.34, p.141-146, 1994.

NIED, A.H. **Balanco hídrico diário do solo simulado para diferentes épocas de semeadura do milho em Santa Maria, RS**. 2003. 91f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Curso de Pós graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria.

NIED A.H.; HELDWEIN, A.B.; ESTEFANEL, V. et al. Épocas de semeadura de milho com menor risco de ocorrência de deficiência hídrica no município de Santa Maria, RS, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.35, n.5, p.995-1002, 2005.

OLIVEIRA, L. B. Determinação da macro e microporosidade pela mesa de tensão em amostras de solo com estrutura indeformadas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.3, p 197-200, 1996.

OMETTO, J. T. C. *Bioclimatologia Vegetal*. Ed. Agronômica Ceres. São Paulo, 1981, 440 p.

ORTOLANI, A.A.; CAMARGO, M.B.P. **Influência dos fatores climáticos na produção.** Ecofisiologia da Produção Agrícola. Piracicaba: Potafos, 1987. 249 p.

PENMAN, H. L. **Evaporation: and introductory survey.** Netherland Journal of Agricultural Science, v. 4, p. 9-29, 1956.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas.** Guaíba: Ed. Agropecuária, 2002. 480p.

PERES, J. G.; PEREIRA, A. R., FRIZZONE, J. A. Avaliação do modelo de Penman-Monteith para estimativa da evapotranspiração de referência padronizada pela FAO. **Engenharia Rural**, Piracicaba: FEALQ, v.6, n.1, p. 53-64, 1995.

PETRY, C. **Adaptação de cultivares de soja a deficiência hídrica no solo.** Santa Maria: UFSM, 1991. 106p. Dissertação Mestrado.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental.** 12. ed. São Paulo: Nobel, 1990. 467p

PRELA, A.; RIBEIRO, A.M.A. Determinação de graus-dia acumulados e sua aplicação no planejamento do cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) para Londrina - PR. **Revista Brasileira de Agrometeorologia.** Santa Maria- RS, v. 10, n.1, p. 83-88, 2002.

QUIRRENBACH, I. **Espaçamento entre fileiras e população de plantas em milho.** Ponta Grossa - PR, 2007, 118p. Dissertação (mestrado em agronomia) - Curso de Pós-graduação em agronomia, Universidade estadual de Ponta grossa, 2007.

RADIN, B. **Necessidades de água do milho quantificada em lisímetro e pelo modelo de Penman-Monteith modificado.** 97p. 1998. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Rio Grande do Sul.

RADIN, B.; SANTOS, A. O.; BERGAMASCHI, H. et al. Estimativa da evapotranspiração da cultura do milho pelo método Penman-Monteith modificado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 2, p. 185-191, 2000

RITCHIE, S.W.; HANWAY, J.J.; BENSON, G.O. How a Corn Plant Develops, Special Report no 48, **Iowa State University of Science and Technology**, Ames, Iowa, 1993.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil.** 2002. 145 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas espaciais, São José dos Campos, 2002.

SANGOI, L.; ALMEIDA, M.L.; LECH, V.A. et al. Desempenho de híbridos de milho com ciclos contrastantes em função da desfolha e da população de plantas. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.58, n.2, p.271-276, 2001.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F. da; MINETTO, T.F et al. Níveis de manejo na cultura do milho em dois ambientes contrastantes: análise técnico- econômica. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 6, p 1021- 1029. 2003.

SANTOS, A.R. dos. **Zoneamento agroclimático para a cultura do café conilon (Coffea canephora L.) e arábica (Coffea arabica L.), na bacia do Rio Itapemirim, ES**. Viçosa: UFV, 1999. 59p. Dissertação Mestrado.

SANTOS, R.F. **Comportamento morfofisiológico de plantas de milho submetidas a deficit hídrico em solos de diferentes texturas**. Santa Maria – RS, 1997. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1997.

SANTOS, R.F.; CARLESSO, R. Deficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.3, p.287-294, 1999.

SANS, L. M. A.; MORAIS, A. V. C.; GUIMARÃES, D. P. **Embrapa milho e sorgo sistema de produção, zoneamento agrícola**. 2006. Disponível em:<<http://sistemasdeprodução.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Milho/CultivadoMilho/zoneam en.htm>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

SANSIGOLO, C.A. Distribuições de probabilidade de velocidade e potência do vento. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.20, n.2, p 207-214, 2005.

SCHUBNEL, P. R. Redução do risco climático na agricultura: uma abordagem probabilística. 2 – Resultados obtidos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE SEGURIDADE E ZONEAMENTO AGRÍCOLA DO MERCOSUL, 1., 1998, Brasília. **Anais**. Brasília: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1998. p. 48-57.

SEAB-DERLAL. **Área e Produção Agrícola no Estado do Paraná e comparativo com o Brasil**.2007. Disponível em: <<http://www.seab.pr.gov.br/modules/conteudo/conteudo.php?>>>. Acesso em: 20 fev. 2009.

SEDIYAMA, G. C. Estimativa da evapotranspiração: Histórico, evolução e análise crítica. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria: v. 4. n. 1. p. i-xii. 1996.

SENTELHAS, P. C. **Estimativa diária da evapotranspiração de referência com dados de estação de meteorologia convencional e automática**. 1998. 97 f. Tese (Doutorado em

Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba: 1998.

SHUSSLER, J. R.; WESTGATE, M. E. Maize kernel set at low water potential. II. Sensitivity to reduced assimilates at pollination. **Crop Science**, Madison, v. 31, n. 5, p. 1196-1203, 1991.

SILVA, B.B. da; SOUZA, C.B.; RAO, T.V.R. et al. Efeitos do deficit hídrico sobre a fenometria e a tecnologia de fibra do algodoeiro herbáceo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.2, n.1, p.42-46, 1998.

SILVA, M. E. S.; GUETTER, A. K. Mudanças climáticas regionais observadas no estado do Paraná. **Terra Livre**, São Paulo, ano 19, v.1, n. 20, p. 111-126. 2003.

SOUZA, F.R.S. de. **Estabilidade de cultivares de milho (Zea mays L.) em diferentes épocas e locais de plantio de Minas Gerais**. 1989. 80p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura de Lavras.

STEWART, D.W.; DWYER, L.M.; CARRIGAN, L.L. Phenological Temperature Response of Maize. **Agronomy Journal**, v.90, p. 73-79, 1998.

SUBBARAO, G.V.; JOHANSEN, A.C.; SLINKARD, R.C. et al. Strategies for improving drought resistance in grain legumes. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v.14, p.469-523, 1995.

TACKER, P. ; VORIES, E. ; HUITINK, G. Drainage and irrigation – chapter 3. IN: **Corn Production Handbook**. University Arkansas, Division Agriculture. p. 13-22. 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. Porto Alegre; Arned, 2004. 710p.

THOMISON, P. Drought and heat stress effects on corn yield potential. 2005. Disponível em: <<http://corn.osu.edu/story.php?setissueID=89&storyID=532>>. Acesso em 3 mai. 2008.

THORNTHWAITE, C. W., MATHER, J. R. **The water balance**. Centerton, N. J.: Publ. in *Climatology*, v. 8, n. 1, 1955. 104p.

THORNTHWAITE, C.W. An approach toward a rational classification of climate. **Geographical Review**, New York, v.38, n.1, p.55-94, 1948.

TOMMASELLI, J. T. G.; VILLA NOVA, N. A. Épocas de plantio de milho em função das deficiências hídricas no solo em Cambará, PR. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília: v. 30, n. 4, p. 505-514, abr. 1995.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F.C.L. **Meteorologia Descritiva: Fundamentos e Aplicações Brasileiras**. 2ed. Editora Nobel. São Paulo, 1992. 327p.

TUCCI, C. E. M.; BELTRAME, L. F. S. Evaporação e evapotranspiração. IN: TUCCI, C. E. M. (ORG) **Hidrologia: Ciência e aplicação**. 2 ed. Porto Alegre: Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. p. 253-287.

VAUX, H. J.; PRUITT, W. O. Crop-water productions functions. In: HILLEL, D. (Ed.) **Advances in irrigation**. New York: Academic Press, v.2, p. 61-97. 1983.

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

VILLA NOVA, N.A.; PEREIRA, A. B. Ajuste do método de Priestley-Taylor às condições climáticas locais. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal-SP, v.26, n.2, p 395-405. 2006.

WARINGTON, I.J.; KANEMASU, E.T. Corn growth response to temperature and photoperiod, 1, seedling emergence, tassel initiation and anthesis. **Agronomy Journal**. Madison, n. 75, p. 154-180, 1983.

WATTS, C.W.; DEXTER, A.R. Soil friability: Theory, measurement and the effects of management and organic carbon content. **European Journal of Soil Science**. v.49. p 73-84. 1998.

WOLSCHICK, D.; CARLESSO, R.; PETRY, M.T. et al. Adubação nitrogenada na cultura do milho em sistema plantio direto em ano com precipitação pluvial normal e com “El Niño”. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**. Guarapuava-PR, v.1, n.1, p 7-22. 2008.

WONS, I. **Geografia do Paraná**. Curitiba: Ensino Renovado, 1994.

ZINSELMEIER, C.; LAUER, M. J.; BOYER, J. S. Reversing drought-induced losses in grain yield: sucrose maintains embryo growth in maize. **Crop Science**, Madison, v. 35, n. 6, p. 1390-1400, 1995.

8. ANEXOS

Anexo I – Comportamento anual da Precipitação (mm) e total acumulado por fases fenológicas e épocas de semeaduras.

Fases fenológicas									
ANO	VE-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-F(R1)	R2	R3	R4-MF	TOTAL
Precipitação (mm)									
Data de semeadura 21 de setembro									
1984	139,6	21,6	209,2	160,0	73,2	55,1	112,2	74,5	845,4
1985	40,3	81,2	48,4	197,3	17,3	2,1	20,6	60,7	467,9
1986	79,1	49,2	65,1	87,1	94,1	55,0	96,7	64,8	591,1
1987	101,0	105,0	81,0	83,6	51,8	186,3	65,8	65,8	740,3
1988	39,2	96,2	16,4	7,5	14,2	2,8	44,5	238,2	459,0
1989	165,3	85,2	44,8	70,2	6,3	45,8	43,4	286,5	747,5
1990	212,2	40,2	61,2	76,0	26,7	41,0	36,2	35,9	529,4
1991	202,5	64,3	58,0	50,3	30,7	162,4	72,9	159,9	801,0
1992	123,2	79,4	80,1	78,9	63,8	63,8	38,0	134,8	662,0
1993	244,7	70,1	37,9	24,6	120,7	104,7	66,4	93,1	762,2
1994	109,9	101,3	104,0	113,8	46,7	33,9	55,4	400,3	965,3
1995	245,4	71,2	79,8	40,3	43,1	96,0	44,4	179,5	799,7
1996	223,4	127,0	11,3	102,7	37,2	58,9	151,6	159,2	871,3
1997	333,5	110,6	62,4	83,6	55,2	25,9	55,5	127,6	854,3
1998	339,7	45,8	29,4	18,0	66,2	34,6	50,6	171,0	755,3
1999	55,3	43,9	41,2	12,6	111,3	54,9	58,6	90,9	468,7
2000	161,8	61,0	10,0	156,2	46,5	14,8	70,4	215,8	736,5
2001	220,2	18,0	57,8	48,6	107,0	20,6	63,4	127,8	663,4
2002	97,6	105,4	109,2	127,7	62,8	62,6	15,8	111,8	692,9
2003	137,8	80,6	19,2	188,0	16,2	96,0	109,0	129,4	776,2
2004	216,6	155,8	117,2	17,6	36,0	25,1	27,8	109,2	705,3
2005	263,5	132,6	92,5	14,0	25,2	10,2	71,2	111,3	720,5
2006	74,5	9,6	120,1	32,2	33,6	46,6	11,9	80,2	408,7
2007	46,6	21,0	7,4	66,4	7,4	115,2	186,2	269,8	720,0
Data de semeadura 01 de outubro									
1984	68,5	192,9	147,9	74,1	94,4	69,4	71,5	34,1	752,8
1985	76,8	92,8	3,2	34,9	2,1	20,6	16,0	96,2	342,6
1986	127,2	9,0	63,2	172,8	71,4	69,8	21,2	73,1	607,7
1987	139,6	75,7	21,2	73,3	103,4	33,6	56,8	77,0	580,6
1988	82,4	25,8	15,1	16,0	3,8	9,0	100,5	287,1	539,7
1989	199,9	58,1	3,7	68,5	52,1	2,4	112,5	269,4	766,6
1990	169,7	55,0	41,0	70,7	41,0	36,2	0,1	35,8	449,5
1991	163,0	85,1	44,4	36,6	161,1	73,4	42,2	118,5	724,3
1992	115,7	121,7	52,2	96,5	37,5	26,9	11,9	165,9	628,3
1993	73,8	16,9	35,4	98,5	143,5	62,6	19,3	106,9	556,9
1994	120,7	51,3	167,9	46,7	33,9	44,8	78,2	324,7	868,2
1995	136,3	49,8	80,0	83,2	96,0	2,4	115,0	183,7	746,4
1996	298,8	9,7	109,5	18,2	77,9	64,0	132,5	219,8	930,4
1997	282,4	124,9	57,8	82,4	26,7	55,4	12,3	142,6	784,5
1998	222,2	5,2	41,1	57,5	44,4	50,6	9,4	192,4	622,8
1999	65,3	66,1	16,6	82,7	83,5	13,7	61,1	115,3	504,3
2000	122,9	30,6	129,5	77,9	15,2	57,8	123,8	132,0	689,7
2001	113,2	19,4	68,8	124,6	34,0	27,4	46,4	217,6	651,4
2002	58,4	184,6	115,9	74,6	62,8	14,6	85,4	72,0	668,3
2003	148,4	19,2	169,4	30,4	137,6	62,2	41,2	158,8	767,2
2004	331,8	104,4	53,6	36,0	25,1	27,8	47,0	116,4	742,1
2005	158,6	112,2	67,9	25,2	10,2	48,4	92,2	133,5	648,2
2006	40,6	81,3	39,4	65,2	48,5	3,6	119,4	81,9	479,9
2007	66,4	7,4	58,6	15,2	118,0	15,8	158,6	192,7	632,7

ANO	VE-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-F(R1)	R2	R3	R4-MF	TOTAL
Data de semeadura 11 de outubro									
1984	137,5	168,7	93,9	119,0	81,2	66,7	22,9	44,0	733,9
1985	129,6	3,2	33,5	3,5	20,6	12,6	41,4	204,4	448,8
1986	82,1	56,4	123,5	112,7	85,8	20,0	28,1	45,3	553,9
1987	105,1	93,0	71,7	84,3	87,9	22,1	4,5	99,0	567,6
1988	103,2	9,4	8,7	15,8	15,6	76,3	132,9	267,3	629,2
1989	91,0	44,8	70,2	52,1	2,4	60,5	186,6	162,0	669,6
1990	99,2	9,4	94,7	48,6	36,2	0,1	4,8	107,4	400,4
1991	130,5	48,2	19,2	64,0	187,9	31,6	29,1	24,4	534,9
1992	179,5	52,1	60,2	73,9	26,9	11,7	16,6	210,2	631,1
1993	84,9	27,6	95,0	154,8	66,6	0,3	36,0	154,3	619,5
1994	136,4	108,9	124,1	33,9	44,8	13,4	181,7	351,3	994,5
1995	96,0	80,0	40,1	101,8	39,7	110,4	35,7	222,1	725,8
1996	130,5	108,7	1,8	64,9	95,2	105,5	71,8	265,7	844,1
1997	181,1	59,8	61,0	57,3	56,0	2,3	59,8	119,8	597,1
1998	134,2	26,7	45,5	70,8	50,6	7,8	16,6	216,9	569,1
1999	97,6	17,8	26,0	140,4	13,7	59,3	20,0	181,2	556,0
2000	74,6	99,2	81,6	46,7	58,2	81,8	63,4	158,0	663,5
2001	41,0	59,8	97,4	70,0	27,6	36,2	11,2	282,9	626,1
2002	214,6	100,9	70,4	82,0	15,6	84,4	27,4	94,2	689,5
2003	95,0	144,0	60,6	100,4	99,4	30,6	85,6	112,0	727,6
2004	277,0	53,6	7,6	53,5	27,8	0,0	79,0	84,6	583,1
2005	187,6	81,1	33,0	10,2	71,2	69,4	27,9	183,2	663,6
2006	106,7	39,6	53,8	58,0	11,9	48,7	69,6	113,6	501,9
2007	39,4	45,4	21,0	125,4	60,0	92,0	140,4	129,5	653,1
Data de semeadura 21 de outubro									
1984	284,6	93,5	104,3	96,3	71,5	18,1	15,9	144,8	829,0
1985	96,0	33,5	1,4	22,7	14,6	39,4	28,9	248,3	484,8
1986	71,2	65,5	116,5	125,7	34,3	6,2	49,5	108,6	577,5
1987	93,3	79,6	51,8	86,9	56,3	3,9	59,6	74,8	506,2
1988	58,5	7,7	14,0	47,3	56,4	90,2	142,5	226,4	643,0
1989	130,0	57,2	19,3	48,2	60,5	58,0	181,4	113,5	668,1
1990	64,4	75,6	45,2	58,7	0,1	3,0	32,8	113,4	393,2
1991	110,9	19,4	58,2	212,1	42,2	18,5	100,0	75,8	637,1
1992	165,2	67,8	63,8	38,0	11,7	3,2	143,4	150,5	643,6
1993	44,5	24,6	126,5	165,3	15,3	21,0	75,6	152,2	625,0
1994	141,8	77,4	80,6	44,8	78,2	116,1	245,9	172,4	957,2
1995	129,6	23,2	60,2	96,0	112,8	26,8	84,3	174,5	707,4
1996	20,2	102,7	44,0	114,9	132,3	1,4	114,3	271,0	800,8
1997	134,3	83,6	61,4	75,1	2,3	54,0	71,4	164,0	646,1
1998	71,8	18,0	67,0	56,1	36,1	15,0	169,8	90,3	524,1
1999	81,9	12,6	158,3	21,6	59,3	4,4	72,1	127,3	537,5
2000	77,9	81,6	46,7	58,2	123,8	12,0	105,0	198,5	703,7
2001	71,2	48,0	124,0	31,0	46,4	0,8	116,6	172,7	610,7
2002	261,4	72,7	101,2	14,8	85,4	27,4	39,6	88,2	690,7
2003	151,6	121,4	62,0	143,2	40,8	53,2	47,8	104,2	724,2
2004	153,4	12,6	31,9	49,4	3,2	73,0	57,8	30,4	411,7
2005	166,1	39,2	10,2	71,2	69,4	27,4	17,9	205,2	606,6
2006	120,7	31,6	34,0	51,7	73,7	46,0	81,6	131,8	571,1
2007	28,6	45,2	110,4	51,2	123,6	127,8	50,4	95,3	632,5
Data de semeadura 31 de outubro									
1984	208,8	101,7	98,9	71,5	18,1	15,9	2,5	214,6	732,0
1985	20,8	17,3	21,9	15,4	39,4	6,7	99,9	244,4	465,8
1986	127,0	115,7	82,5	78,3	6,2	49,5	17,7	124,2	601,1
1987	139,6	51,8	86,9	56,5	6,3	16,0	86,4	127,9	571,43
1988	16,9	14,2	11,8	52,7	136,8	62,9	145,0	292,0	732,3
1989	72,4	42,6	54,5	50,0	169,9	48,0	114,0	41,1	592,5

ANO	VE-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-F(R1)	R2	R3	R4-MF	TOTAL
1990	85,0	45,0	58,9	0,1	4,8	31,0	21,8	151,0	397,6
1991	45,2	35,8	178,1	98,6	18,5	100,0	8,0	74,2	558,4
1992	110,5	64,6	38,0	11,7	16,6	111,5	55,8	130,5	539,2
1993	52,2	120,7	167,1	37,7	2,6	75,6	39,8	201,4	697,1
1994	180,1	80,6	30,2	92,8	176,3	181,5	64,9	266,1	1072,5
1995	83,6	79,6	96,0	112,8	27,0	56,1	105,6	199,4	760,1
1996	110,5	37,2	95,9	159,5	44,8	16,9	200,9	204,3	870,0
1997	97,6	55,2	81,3	2,5	59,6	65,6	27,2	181,7	570,7
1998	41,2	67,2	56,9	36,1	15,2	130,0	64,9	115,3	526,8
1999	18,0	99,1	67,1	73,0	17,2	58,7	41,2	172,5	546,8
2000	167,3	54,9	58,2	123,8	23,4	93,4	65,6	258,6	845,2
2001	99,8	124,0	31,0	46,4	1,0	116,4	110,4	107,9	636,9
2002	127,7	113,8	26,4	85,4	27,4	39,6	33,4	135,0	588,7
2003	175,4	34,8	151,2	80,4	80,0	22,8	61,0	62,4	668,0
2004	61,0	36,2	29,3	26,6	75,8	30,2	54,4	67,8	381,3
2005	88,9	25,2	17,2	133,6	27,8	14,1	151,8	110,6	569,2
2006	53,4	34,0	58,1	113,3	7,8	73,8	36,4	108,9	485,7
2007	66,4	110,4	30,8	158,6	118,0	45,6	83,9	67,8	681,5
Data de sementeira 10 de novembro									
1984	157,8	133,0	35,7	57,2	15,9	0,1	54,7	177,0	631,4
1985	34,9	7,7	27,6	41,4	28,9	29,3	184,2	162,5	516,5
1986	151,2	85,0	96,7	15,3	49,5	17,4	9,1	148,5	572,7
1987	93,3	91,4	67,5	26,3	39,2	34,4	47,4	121,2	520,7
1988	21,7	3,8	43,5	146,6	91,6	76,9	160,2	252,1	796,4
1989	70,2	47,0	10,1	111,3	154,0	84,2	29,8	71,2	577,8
1990	102,3	55,8	21,4	4,9	31,0	21,8	89,4	63,7	390,3
1991	55,2	162,4	103,7	29,1	100,0	0,4	56,6	50,1	557,5
1992	131,6	11,1	33,6	8,2	126,5	36,4	92,1	117,0	556,5
1993	145,3	133,5	37,9	36,0	75,6	10,3	134,9	180,6	754,1
1994	124,1	47,3	44,8	181,7	245,1	53,7	82,9	219,8	999,4
1995	40,3	139,1	44,4	95,4	66,7	94,6	71,9	164,0	716,4
1996	60,9	77,9	157,2	84,1	69,5	103,5	166,5	150,9	870,5
1997	92,2	82,1	2,3	59,8	65,6	27,2	90,0	111,9	531,1
1998	48,0	70,8	50,6	22,8	135,8	42,2	40,5	167,5	578,2
1999	62,7	116,1	58,6	18,6	71,7	0,6	124,7	128,6	581,6
2000	128,3	38,8	101,2	63,4	95,6	23,4	126,4	264,2	841,3
2001	135,2	51,0	46,4	11,4	116,4	100,2	66,3	74,9	601,8
2002	111,3	77,4	48,4	62,2	35,6	12,6	48,2	183,4	579,1
2003	129,6	137,6	71,8	31,6	97,8	56,4	32,8	50,0	607,6
2004	25,2	53,5	27,8	56,8	34,8	71,0	1,0	96,2	366,3
2005	39,2	10,2	110,5	57,5	14,5	96,2	73,0	167,2	568,3
2006	65,2	50,1	57,1	69,6	76,6	3,4	76,4	105,7	504,1
2007	48,8	133,8	62,8	213,8	45,6	75,5	19,8	76,2	676,3

Anexo II- Comportamento anual da Evapotranspiração máxima (Etm) e total acumulado por fases fenológicas e épocas de sementeiras.

Fases fenológicas									
ANO	VE-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-F(R1)	R2	R3	R4-MF	TOTAL
Somatório de Etm									
Data de sementeira 21 de setembro									
1984	40,87	46,15	40,69	53,76	60,05	41,89	62,59	78,35	424,35
1985	34,56	34,95	48,50	75,29	65,84	45,44	49,51	83,20	437,29
1986	40,33	48,61	47,32	63,31	39,79	28,19	42,87	67,47	377,89
1987	34,72	34,91	48,01	62,85	61,15	41,13	57,05	64,10	403,91
1988	48,68	38,21	64,45	71,51	70,20	44,91	51,09	53,43	442,48
1989	43,89	51,87	61,07	53,50	60,73	34,84	43,92	44,21	394,03
1990	33,20	42,43	36,42	46,15	58,68	28,19	47,28	85,44	377,79
1991	33,24	38,86	51,59	75,58	64,08	30,24	43,78	73,79	411,17
1992	36,85	37,62	48,07	62,93	54,37	33,32	47,94	65,40	386,49
1993	36,16	29,11	59,90	66,44	59,17	31,50	42,94	78,37	403,60
1994	37,15	26,90	39,04	63,50	63,57	42,06	39,96	50,59	362,77
1995	28,81	52,68	48,50	81,32	58,22	37,29	51,78	64,73	423,32
1996	31,53	36,03	43,79	69,26	61,88	35,78	46,15	67,38	391,80
1997	27,17	36,90	40,89	44,97	54,71	31,06	46,11	64,39	346,19
1998	33,60	38,83	56,73	65,87	54,38	35,27	56,00	62,15	402,83
1999	38,55	50,79	55,78	99,37	48,20	45,10	55,98	62,38	456,15
2000	32,42	31,97	54,32	51,94	50,30	47,19	47,30	52,73	368,18
2001	31,75	44,01	51,67	56,28	50,81	35,68	57,69	74,52	402,40
2002	35,18	26,76	48,62	53,54	36,14	12,85	37,63	46,46	297,16
2003	41,18	35,87	56,69	70,59	55,89	36,17	51,81	74,25	422,45
2004	38,22	45,94	42,42	71,48	53,52	40,13	54,19	65,65	411,57
2005	26,92	35,10	57,44	72,91	67,32	40,45	54,55	71,85	426,54
2006	30,33	45,23	43,78	81,94	54,36	34,65	53,40	46,56	390,24
2007	36,48	36,28	54,97	55,89	48,09	30,50	61,01	64,46	387,69
Data de sementeira 01 de outubro									
1984	38,80	37,70	41,57	61,46	62,86	51,41	47,80	87,94	429,53
1985	32,51	36,09	64,50	67,04	68,07	29,26	54,57	82,09	434,13
1986	43,91	38,39	53,38	45,65	46,53	22,72	51,84	66,27	368,69
1987	31,09	42,08	51,10	60,08	55,32	41,00	53,98	66,86	401,52
1988	43,94	58,68	43,08	83,62	60,78	41,68	39,31	61,34	432,44
1989	43,89	53,36	49,05	72,91	43,78	40,19	31,86	45,71	380,75
1990	37,19	34,28	37,44	48,79	50,44	37,99	51,61	84,81	382,55
1991	34,97	30,32	64,18	68,77	51,67	34,85	50,36	72,34	407,45
1992	33,95	37,85	56,39	50,89	58,02	39,93	50,67	63,29	390,98
1993	31,98	41,44	55,00	76,85	41,73	30,22	55,24	76,07	408,53
1994	30,76	31,67	39,05	80,31	54,05	27,93	46,70	50,92	361,39
1995	39,96	47,94	53,95	72,27	56,19	42,10	48,35	58,54	419,30
1996	31,99	40,10	43,71	79,84	45,21	32,19	47,00	66,91	386,96
1997	33,12	24,27	43,22	51,51	48,50	37,31	47,58	64,86	350,36
1998	36,41	37,26	62,81	62,06	51,49	36,75	56,66	59,27	402,71
1999	41,62	45,40	70,81	77,49	62,39	41,72	42,02	64,89	446,34
2000	31,16	40,88	44,05	57,14	64,11	30,00	43,83	56,19	367,35
2001	39,53	39,49	47,30	55,60	50,90	43,63	52,71	72,88	402,03
2002	27,65	31,01	51,48	44,10	23,21	25,47	31,36	46,55	280,84
2003	35,77	49,87	57,56	60,75	51,75	33,24	48,42	83,47	420,84
2004	40,09	34,18	60,70	64,69	58,34	30,50	58,99	57,64	405,13
2005	29,07	36,10	59,46	76,41	62,56	46,16	51,00	64,31	425,08
2006	37,54	33,28	63,07	61,64	58,77	35,48	37,31	63,67	390,75
2007	33,24	42,16	51,17	52,64	48,63	45,23	48,88	67,49	389,43

ANO	VE-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-F(R1)	R2	R3	R4-MF	TOTAL
Data de semeadura 11 de outubro									
1984	39,36	32,81	45,93	71,89	66,76	32,64	59,78	80,96	430,13
1985	28,01	59,42	46,91	79,00	55,21	33,91	57,82	67,96	428,25
1986	39,07	44,29	39,93	48,79	38,30	41,50	52,79	63,76	368,45
1987	37,54	29,73	56,67	64,77	54,19	38,98	50,89	61,99	394,77
1988	44,20	47,37	55,56	74,26	58,29	33,94	35,46	58,73	407,82
1989	49,94	46,97	50,22	53,80	57,74	24,85	29,37	54,14	367,03
1990	36,50	30,70	33,28	58,91	54,61	37,60	65,11	74,68	391,38
1991	28,74	44,67	59,95	65,55	55,39	29,32	56,20	71,98	411,80
1992	29,83	43,41	49,61	60,42	63,71	35,02	50,69	58,50	391,19
1993	35,23	46,84	48,61	62,02	42,95	47,11	52,16	65,71	400,65
1994	24,75	38,05	55,61	69,13	45,74	29,07	34,65	56,86	353,87
1995	39,64	43,32	62,75	60,61	65,40	27,70	51,32	57,89	408,62
1996	36,32	29,67	65,59	56,57	45,15	31,91	55,46	58,57	379,24
1997	30,27	31,65	34,67	64,23	47,54	37,50	42,00	67,95	355,81
1998	40,15	43,90	54,15	56,14	52,39	44,67	41,75	59,62	392,76
1999	40,06	58,21	65,34	66,67	61,66	33,02	45,18	67,44	437,60
2000	33,82	36,47	47,90	66,96	53,51	29,92	37,60	58,04	364,21
2001	42,50	34,41	47,21	60,22	56,32	39,85	57,53	62,44	400,49
2002	27,81	41,89	34,95	28,66	38,71	19,61	38,27	45,08	274,97
2003	37,92	45,21	55,86	61,99	45,05	40,65	51,11	79,89	417,68
2004	36,41	41,60	57,65	60,91	55,40	47,21	38,73	61,54	399,45
2005	35,39	45,75	61,56	67,81	63,18	34,53	51,50	60,80	420,52
2006	37,15	46,95	52,46	58,78	58,11	19,80	47,41	63,75	384,40
2007	37,86	41,66	41,47	60,21	64,67	34,81	45,47	62,21	388,37
Data de semeadura 21 de outubro									
1984	32,08	38,49	53,26	78,88	46,78	38,51	70,04	66,19	424,23
1985	41,08	48,93	59,53	55,16	55,59	46,34	59,81	56,26	422,70
1986	38,45	39,97	36,38	48,56	49,73	42,51	45,47	60,74	361,81
1987	35,64	39,16	55,80	62,13	54,51	42,52	44,41	58,93	393,10
1988	48,62	48,59	55,80	84,35	27,36	26,92	36,45	64,09	392,17
1989	44,73	41,67	50,62	62,24	37,58	21,09	31,79	66,36	356,08
1990	33,61	23,98	49,45	58,71	48,75	47,80	59,04	70,54	391,88
1991	35,76	50,31	51,72	53,85	57,27	33,16	49,13	70,68	401,88
1992	36,38	40,87	46,10	66,08	58,79	35,70	39,11	58,45	381,48
1993	43,50	45,03	45,00	52,64	60,89	35,58	58,61	54,67	395,92
1994	32,04	42,08	50,43	61,55	44,01	24,76	31,49	62,83	349,19
1995	36,72	47,39	56,88	65,75	47,37	37,45	46,45	64,71	402,71
1996	32,94	41,81	56,52	56,82	42,78	39,88	47,60	57,69	376,04
1997	29,73	30,11	47,33	55,57	52,47	30,08	42,37	62,15	349,82
1998	40,69	41,43	47,49	59,07	59,45	37,42	40,01	55,16	380,73
1999	44,13	57,66	48,68	75,17	48,78	35,63	42,18	73,28	425,50
2000	35,23	37,48	48,86	65,70	37,37	31,40	36,99	55,25	348,29
2001	36,73	36,19	47,16	66,55	56,16	40,63	45,34	71,40	400,15
2002	37,00	27,68	23,95	41,78	34,66	25,68	30,44	47,30	268,49
2003	41,10	44,03	54,64	50,98	56,72	42,22	58,77	71,04	419,50
2004	34,40	55,09	40,97	65,59	72,15	26,99	42,28	76,15	413,63
2005	42,54	44,24	56,81	71,16	59,19	30,45	47,78	60,23	412,41
2006	38,71	47,89	46,82	58,71	35,94	38,09	36,95	66,46	369,58
2007	41,13	30,40	42,39	71,80	54,10	31,49	56,95	59,73	388,00
Data de semeadura 31 de outubro									
1984	33,91	43,46	56,71	63,36	69,10	44,60	58,79	51,25	421,18
1985	45,83	51,71	46,12	62,97	64,49	45,72	42,13	58,43	417,41
1986	38,01	29,67	38,04	58,77	50,18	34,30	46,73	59,54	355,23
1987	34,71	44,05	56,56	63,26	57,63	30,11	43,64	61,82	391,78
1988	41,68	54,59	50,38	61,44	38,46	30,15	43,34	60,04	380,08

ANO	VE-V6	V7-V10	V10-VT	VT	A-F(R1)	R2	R3	R4-MF	TOTAL
1989	40,32	46,01	38,43	53,65	31,51	22,61	39,52	68,21	340,27
1990	25,56	41,08	45,52	60,73	62,82	42,10	57,24	67,54	402,57
1991	46,50	44,88	38,01	57,24	59,56	30,79	58,97	67,70	403,66
1992	38,03	40,40	49,25	60,08	56,98	22,19	45,77	56,16	368,85
1993	43,00	41,60	36,08	66,62	60,62	39,87	42,40	49,69	379,89
1994	34,73	46,18	39,89	59,10	35,89	23,36	48,02	56,58	343,75
1995	42,01	43,61	52,14	55,71	53,98	37,53	34,88	77,89	397,75
1996	34,20	50,52	43,92	50,08	62,02	30,27	37,97	58,41	367,38
1997	29,07	38,91	43,58	56,63	39,96	33,58	51,22	49,99	342,96
1998	39,79	40,53	42,65	69,73	49,53	23,95	42,88	57,50	366,57
1999	55,54	42,93	53,38	61,25	48,51	31,82	52,66	64,96	411,03
2000	34,47	40,99	49,90	44,70	51,02	22,00	54,33	52,77	350,18
2001	35,11	36,59	47,90	64,41	59,85	33,14	47,84	68,70	393,54
2002	34,13	19,93	28,44	41,37	38,57	21,85	30,08	52,79	267,16
2003	42,29	38,35	49,20	60,83	53,47	43,15	52,38	76,67	416,34
2004	42,18	37,45	49,48	77,11	36,80	33,31	38,74	83,07	398,15
2005	42,29	44,79	60,13	68,19	46,01	39,20	36,69	61,69	398,99
2006	44,20	40,97	51,73	37,21	46,29	28,81	49,85	63,97	363,03
2007	32,90	37,09	54,23	57,42	48,82	35,71	54,55	63,72	384,44
Data de sementeira 10 de novembro									
1984	40,39	38,09	56,26	65,27	73,96	43,90	38,42	52,58	408,88
1985	43,21	49,53	43,76	72,34	56,30	33,82	36,93	60,14	396,02
1986	33,45	28,01	40,53	60,52	51,55	31,65	45,77	61,11	352,59
1987	39,26	40,98	53,97	59,84	44,26	33,91	39,53	60,18	371,93
1988	45,37	44,32	48,67	47,09	40,86	35,96	35,94	62,49	360,70
1989	39,34	33,16	49,49	40,81	32,12	23,48	51,82	66,76	336,98
1990	34,51	30,43	48,44	74,05	66,89	43,64	42,11	72,62	412,69
1991	45,19	34,30	45,60	60,37	49,53	45,64	43,38	70,67	394,68
1992	37,50	35,19	51,54	65,14	34,08	39,91	37,61	56,63	357,61
1993	39,12	35,14	47,43	64,70	56,13	32,40	34,01	55,31	364,25
1994	40,78	37,91	42,80	45,49	35,32	33,24	40,51	59,59	335,64
1995	40,46	46,29	48,01	58,86	50,76	23,58	49,14	83,19	400,30
1996	44,73	38,62	37,39	61,28	48,59	24,73	38,56	62,94	356,84
1997	28,89	42,40	46,66	49,15	41,96	45,86	38,81	53,63	347,36
1998	37,91	37,34	52,63	59,41	41,65	29,25	45,03	53,38	356,60
1999	54,82	36,22	52,26	54,46	42,79	35,43	50,76	64,24	390,96
2000	33,93	40,53	47,51	50,92	36,31	28,16	44,28	45,94	327,59
2001	35,29	34,13	55,59	62,85	58,20	31,79	31,99	78,61	388,45
2002	25,72	21,22	27,27	43,74	34,91	27,70	23,19	60,27	264,02
2003	40,06	35,02	52,98	52,54	65,01	41,58	47,18	79,18	413,55
2004	42,71	40,00	50,57	54,57	47,44	27,56	47,92	75,68	386,44
2005	43,82	51,01	44,52	59,64	55,64	28,55	39,67	59,46	382,32
2006	41,39	34,86	40,05	52,22	39,69	39,64	42,91	61,71	352,47
2007	33,78	34,64	54,10	57,27	59,84	30,24	55,60	57,22	382,70

Anexo III - Relação dos maiores valores de evapotranspiração máxima acumulada e percentual de redução de produção (%RP) de acordo com fases fenológicas para o período de 1984 a 2007

A n o	Fases fenológicas													
	VE-V6		V7-V10		V10-VT		VT		A-F(R1)		R2		R3	
	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP
Data de semeadura 21 de setembro														
1984	-17,85	0,00	-43,87	5,00	-61,20	10,00	-17,96	0,00	-49,77	35,00	-23,50	0,00	-53,69	5,00
1985	-14,78	0,00	-24,43	0,00	-37,13	3,13	-101,90	15,00	-140,15	35,00	-190,00	10,00	-190,00	5,00
1986	-17,85	0,00	-37,98	2,19	-59,63	10,00	-58,93	15,00	-7,53	0,00	-13,32	0,00	-10,65	0,00
1987	-20,40	1,67	-13,39	0,00	-37,50	4,38	-42,12	15,00	-42,96	35,00	-23,51	0,00	-25,89	0,00
1988	-30,38	5,00	-34,39	0,63	-55,63	10,00	-114,27	15,00	-190,00	35,00	-190,00	10,00	-190,00	5,00
1989	-15,28	0,00	-30,96	0,00	-38,00	6,88	-58,83	15,00	-73,16	35,00	-59,95	10,00	-93,56	5,00
1990	-10,84	0,00	-33,32	0,31	-37,59	3,13	-35,32	4,69	-31,98	0,00	-37,92	3,13	-30,25	0,00
1991	-15,86	0,00	-29,45	0,00	-41,49	5,63	-70,67	15,00	-100,16	35,00	-103,48	4,00	-17,06	0,00
1992	-8,65	0,00	-20,97	0,00	-27,87	0,00	-33,02	0,94	-18,98	0,00	-29,11	0,00	-55,53	5,00
1993	-19,03	0,56	-11,48	0,00	-33,48	0,63	-75,32	15,00	-87,43	35,00	-25,98	0,00	-16,69	0,00
1994	-21,51	2,78	-8,89	0,00	-7,43	0,00	-29,60	0,00	-51,32	35,00	-54,63	10,00	-57,08	5,00
1995	-7,39	0,00	-28,67	0,00	-51,40	10,00	-61,45	15,00	-71,35	35,00	-68,64	7,50	-48,73	5,00
1996	-10,59	0,00	-16,29	0,00	-46,58	10,00	-53,58	15,00	-100,16	35,00	-95,95	10,00	-67,86	5,00
1997	-7,20	0,00	-11,18	0,00	-17,13	0,00	-12,96	0,00	-20,13	0,00	-31,06	0,00	-37,15	1,88
1998	-10,24	0,00	-23,36	0,00	-50,00	10,00	-91,96	15,00	-102,36	35,00	-89,35	10,00	-88,87	5,00
1999	-14,63	0,00	-32,07	0,00	-39,81	5,00	-126,58	15,00	-142,20	35,00	-53,68	10,00	-84,73	5,00
2000	-9,58	0,00	-15,94	0,00	-44,32	10,00	-26,62	0,00	-22,14	0,00	-38,72	4,38	-48,04	5,00
2001	-6,22	0,00	-37,97	2,19	-54,17	10,00	-47,68	15,00	-23,74	0,00	-26,00	0,00	-40,91	5,00
2002	-7,81	0,00	-11,11	0,00	-22,25	0,00	-14,55	0,00	-16,21	0,00	-2,30	0,00	-21,83	0,00
2003	-17,79	0,00	-23,95	0,00	-47,89	10,00	-30,78	0,00	-56,77	35,00	-68,60	10,00	-11,12	0,00
2004	-17,15	0,00	-23,23	0,00	-9,37	0,00	-64,06	15,00	-105,14	35,00	-96,62	10,00	-123,01	5,00
2005	-4,50	0,00	-15,83	0,00	-23,30	0,00	-78,65	15,00	-120,78	35,00	-151,03	10,00	-190,00	5,00
2006	-14,35	0,00	-37,32	1,88	-35,32	1,88	-69,85	15,00	-78,25	35,00	-102,30	10,00	-107,79	5,00
2007	-30,22	5,00	-23,59	0,00	-71,16	10,00	-86,00	15,00	-101,34	35,00	-111,60	6,25	-43,62	5,00
Data de semeadura 01 de outubro														
1984	-20,35	1,11	-50,81	5,00	-14,33	0,00	-45,90	15,00	-24,99	0,00	-45,96	10,00	-63,49	5,00
1985	-15,89	0,00	-17,65	0,00	-78,95	10,00	-111,09	15,00	-190,00	35,00	-190,00	10,00	-190,00	5,00
1986	-19,81	0,56	-46,63	5,00	-40,52	10,00	-33,89	0,94	-14,78	0,00	-9,65	0,00	-34,82	0,63
1987	-11,14	0,00	-34,13	0,63	-33,45	0,63	-38,90	8,44	-31,31	0,00	-28,12	0,00	-28,87	0,00
1988	-21,32	2,20	-45,38	5,00	-73,37	10,00	-140,99	15,00	-190,00	35,00	-190,00	10,00	-187,10	5,00
1989	-21,65	1,11	-32,93	0,00	-46,69	10,00	-52,12	15,00	-57,35	35,00	-81,60	10,00	-85,46	1,56
1990	-16,28	0,00	-29,27	0,00	-25,40	0,00	-14,47	0,00	-34,95	0,00	-29,04	0,00	-71,72	5,00
1991	-16,05	0,00	-9,28	0,00	-39,63	6,25	-61,23	15,00	-89,94	35,00	-13,78	0,00	-19,29	0,00
1992	-12,65	0,00	-16,05	0,00	-25,58	0,00	-17,38	0,00	-39,43	15,31	-52,47	10,00	-91,23	5,00
1993	-12,26	0,00	-28,23	0,00	-54,48	10,00	-75,97	15,00	-20,34	0,00	-16,41	0,00	-47,66	5,00
1994	-13,81	0,00	-6,55	0,00	-17,08	0,00	-49,22	15,00	-53,76	35,00	-56,48	3,13	-61,44	5,00

1995	-19,93	1,11	-42,12	4,69	-47,27	10,00	-58,95	15,00	-56,36	35,00	-54,75	10,00	-47,74	2,19
	VE-V6		V7-V10		V10-VT		VT		A-F(R1)		R2		R3	
A n o	E t m	% R P	E t m	% R P	E t m	% R P	E t m	A n o	E t m	% R P	E t m	% R P	E t m	% R P
1996	-8,47	0,00	-35,43	1,56	-42,31	10,00	-90,34	15,00	-88,01	35,00	-62,57	10,00	-15,56	0,00
1997	-6,61	0,00	-8,54	0,00	-16,89	0,00	-15,25	0,00	-32,17	0,00	-32,21	0,00	-66,04	5,00
1998	-15,58	0,00	-34,41	0,63	-66,20	10,00	-85,92	15,00	-73,98	35,00	-79,21	10,00	-101,18	5,00
1999	-20,56	2,22	-19,20	0,00	-73,41	10,00	-125,55	15,00	-55,65	32,81	-75,11	10,00	-77,05	5,00
2000	-10,95	0,00	-28,90	0,00	-39,44	10,00	-18,80	0,00	-49,41	35,00	-53,65	2,50	-36,84	1,25
2001	-19,05	0,56	-39,14	3,44	-37,19	3,75	-25,40	0,00	-28,96	0,00	-45,19	10,00	-51,50	5,00
2002	-5,96	0,00	-12,66	0,00	-21,86	0,00	-14,85	0,00	-6,89	0,00	-17,76	0,00	-27,89	0,00
2003	-16,74	0,00	-30,67	0,00	-42,25	9,38	-47,68	15,00	-61,26	35,00	-12,50	0,00	-27,23	0,00
2004	-9,04	0,00	-19,45	0,00	-38,30	3,75	-90,99	15,00	-100,24	35,00	-113,79	10,00	-190,00	5,00
2005	-8,43	0,00	-20,38	0,00	-41,59	10,00	-89,98	15,00	-142,34	35,00	-190,00	10,00	-147,00	5,00
2006	-17,65	0,00	-28,69	0,00	-51,85	10,00	-60,02	15,00	-90,01	35,00	-90,44	10,00	-105,84	5,00
2007	-11,94	0,00	-41,34	5,00	-72,27	10,00	-71,35	15,00	-90,15	35,00	-45,05	10,00	-28,26	0,00
Data de sementeira 11 de outubro														
1984	-33,23	5,00	-10,85	0,00	-23,62	0,00	-37,67	4,69	-59,60	35,00	-71,17	10,00	-62,42	5,00
1985	-5,27	0,00	-58,45	5,00	-78,24	10,00	-190,00	15,00	-190,00	35,00	-190,00	10,00	-190,00	5,00
1986	-22,49	4,44	-30,89	0,00	-36,65	3,13	-9,45	0,00	-13,70	0,00	-26,04	0,00	-68,01	5,00
1987	-21,20	2,22	-12,67	0,00	-30,49	0,00	-34,06	1,88	-30,93	0,00	-32,12	0,00	-63,27	5,00
1988	-18,93	0,00	-56,90	5,00	-90,37	10,00	-190,00	15,00	-190,00	35,00	-183,52	10,00	-138,49	3,75
1989	-15,58	0,00	-29,60	0,00	-40,83	10,00	-51,63	15,00	-77,62	35,00	-82,38	3,75	-30,86	0,00
1990	-15,79	0,00	-21,30	0,00	-20,16	0,00	-30,52	0,00	-30,18	0,00	-67,67	10,00	-127,98	5,00
1991	-10,25	0,00	-35,83	0,94	-52,94	10,00	-78,37	15,00	-16,66	0,00	-22,04	0,00	-32,83	0,00
1992	-9,65	0,00	-24,39	0,00	-25,02	0,00	-22,58	0,00	-59,03	35,00	-82,36	10,00	-125,81	5,00
1993	-12,50	0,00	-37,19	1,56	-54,94	10,00	-18,68	0,00	-18,05	0,00	-52,52	10,00	-68,68	5,00
1994	-3,14	0,00	-14,94	0,00	-39,09	8,75	-36,79	3,75	-39,78	35,00	-53,40	10,00	-44,94	0,00
1995	-14,78	0,00	-38,37	4,06	-46,88	10,00	-48,36	15,00	-58,96	35,00	-53,46	5,00	-30,66	0,00
1996	-15,07	0,00	-29,20	0,00	-63,79	10,00	-79,23	15,00	-49,77	32,81	-17,28	0,00	-36,63	2,19
1997	-6,39	0,00	-14,50	0,00	-9,56	0,00	-29,15	0,00	-30,25	0,00	-65,45	10,00	-73,48	5,00
1998	-19,89	5,00	-37,09	5,00	-56,51	10,00	-58,43	15,00	-50,86	35,00	-69,74	10,00	-94,89	5,00
1999	-13,44	0,00	-51,39	5,00	-76,25	10,00	-76,99	13,13	-74,36	35,00	-76,53	10,00	-76,73	5,00
2000	-16,92	0,00	-30,77	0,00	-12,10	0,00	-38,72	6,56	-50,20	35,00	-38,87	3,13	-15,23	0,00
2001	-17,29	0,00	-22,42	0,00	-19,54	0,00	-23,39	0,00	-51,89	35,00	-55,54	10,00	-101,87	5,00
2002	-8,58	0,00	-18,68	0,00	-10,88	0,00	-8,89	0,00	-32,00	0,00	-31,43	0,00	-22,70	0,00
2003	-8,36	0,00	-29,34	0,00	-24,63	0,00	-51,57	15,00	-13,85	0,00	-30,25	0,00	-42,41	5,00
2004	-13,10	0,00	-13,74	0,00	-49,54	10,00	-80,16	15,00	-100,82	35,00	-146,00	10,00	-190,00	5,00
2005	-14,56	0,00	-36,39	1,25	-60,50	10,00	-118,11	15,00	-190,00	35,00	-150,81	10,00	-134,17	5,00
2006	-18,95	0,56	-35,34	0,94	-52,09	10,00	-70,78	15,00	-80,98	35,00	-92,85	10,00	-39,72	0,63
2007	-21,66	5,00	-56,24	5,00	-38,38	5,63	-64,07	15,00	-47,87	35,00	-26,28	0,00	-4,79	0,00
Data de sementeira 21 de outubro														
1984	-13,22	0,00	-14,27	0,00	-32,03	0,00	-53,87	15,00	-66,60	35,00	-59,26	10,00	-103,70	5,00
1985	-29,63	5,00	-59,84	5,00	-97,39	10,00	-135,65	15,00	-190,00	35,00	-190,00	10,00	-190,00	5,00
1986	-13,05	0,00	-31,88	0,00	-4,83	0,00	-13,32	0,00	-25,95	0,00	-62,26	10,00	-78,61	5,00
1987	-14,47	0,00	-23,70	0,00	-30,78	0,00	-28,12	0,00	-35,36	6,56	-63,48	10,00	-86,87	5,00
1988	-29,13	5,00	-62,21	5,00	-83,05	10,00	-190,00	15,00	-190,00	35,00	-138,98	8,13	-75,08	2,50
1989	-13,25	0,00	-35,34	1,88	-45,42	10,00	-56,11	15,00	-72,01	35,00	-22,32	0,00	-2,05	0,00
1990	-5,25	0,00	-16,83	0,00	-24,42	0,00	-16,50	0,00	-65,14	35,00	-109,95	10,00	-148,56	5,00

1991	-22,84	3,33	-46,22	5,00	-42,08	10,00	-24,21	0,00	-23,75	0,00	-36,43	2,50	-47,42	5,00
	VE-V6		V7-V10		V10-VT		VT		A-F(R1)		R2		R3	
A n o	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	A n o	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP	<i>E t m</i>	% RP
1992	-15,13	0,00	-21,88	0,00	-12,70	0,00	-43,91	15,00	-91,00	35,00	-123,50	10,00	-127,84	1,56
1993	-20,15	1,11	-40,58	4,06	-19,09	0,00	-16,41	0,00	-60,91	35,00	-65,00	10,00	-86,08	5,00
1994	-10,67	0,00	-32,51	0,00	-34,45	1,25	-28,61	0,00	-41,25	28,44	0,00	0,00	-3,75	0,00
1995	-23,35	5,00	-41,87	5,00	-40,04	8,75	-46,69	15,00	-54,29	35,00	-36,16	2,50	-40,28	4,06
1996	-16,38	0,00	-32,28	0,00	-68,17	10,00	-61,59	15,00	-19,01	0,00	-38,48	3,75	-41,70	2,81
1997	-9,73	0,00	-8,34	0,00	-14,42	0,00	-23,85	0,00	-72,33	35,00	-76,39	10,00	-55,38	2,50
1998	-19,74	1,11	-36,57	1,88	-19,54	1,88	-28,22	0,00	-51,57	35,00	-73,99	10,00	-82,44	2,50
1999	-24,23	3,33	-53,46	5,00	-88,12	10,00	-56,66	15,00	-71,51	35,00	-77,36	10,00	-79,33	5,00
2000	-15,23	0,00	-10,59	0,00	-11,01	0,00	-43,82	15,00	-21,91	0,00	-19,40	0,00	-21,48	0,00
2001	-11,98	0,00	-17,08	0,00	-4,87	0,00	-40,89	10,31	-53,52	35,00	-90,48	10,00	-108,17	5,00
2002	-11,13	0,00	-9,52	0,00	-4,30	0,00	-56,66	0,00	-28,73	0,00	-27,66	0,00	-36,56	2,19
2003	-17,79	0,00	-21,55	0,00	-13,48	0,00	-12,50	0,00	-33,28	2,19	-51,76	10,00	-41,90	4,06
2004	-9,73	0,00	-41,60	5,00	-71,46	10,00	-85,55	15,00	-138,33	35,00	-139,01	5,00	-117,98	5,00
2005	-21,73	1,67	-44,02	5,00	-68,88	10,00	-125,61	15,00	-85,37	35,00	-68,52	10,00	-96,06	5,00
2006	-17,86	0,00	-42,57	5,00	-46,97	10,00	-53,98	15,00	-67,22	32,81	-33,78	0,63	-39,00	5,00
2007	-32,15	5,00	-12,85	0,00	-44,20	10,00	-43,35	15,00	-23,47	0,00	-4,68	0,00	-19,02	0,00
Data de semeadura 31 de outubro														
1984	-10,19	0,00	-24,27	0,00	-30,10	0,00	-57,07	15,00	-72,96	35,00	-101,66	10,00	-190,00	5,00
1985	-36,12	5,00	-59,45	5,00	-95,20	10,00	-131,24	15,00	-190,00	35,00	-190,00	10,00	-180,81	5,00
1986	-17,74	0,00	-4,23	0,00	-10,39	0,00	-31,72	0,00	-75,69	35,00	-81,30	10,00	-89,51	5,00
1987	-11,42	0,00	-26,72	0,00	-22,50	0,00	-32,12	0,00	-78,42	35,00	-93,06	10,00	-73,24	5,00
1988	-24,78	5,00	-53,74	5,00	-103,75	10,00	-129,12	15,00	-9,45	0,00	-8,59	0,00	-15,00	0,00
1989	-22,96	5,00	-36,36	1,25	-40,17	9,38	-57,01	15,00	-16,91	0,00	-1,80	0,00	-5,16	0,00
1990	-9,57	0,00	-21,37	0,00	-9,96	0,00	-69,88	15,00	-127,89	35,00	-152,29	10,00	-190,00	5,00
1991	-28,44	5,00	-37,51	1,56	-40,17	5,00	-21,52	0,00	-46,89	35,00	-52,10	3,13	-50,97	5,00
1992	-13,59	0,00	-11,62	0,00	-27,97	0,00	-67,64	15,00	-115,87	35,00	-102,53	3,13	-23,84	0,00
1993	-20,42	1,11	-20,77	0,00	-13,13	0,00	-55,78	15,00	-86,94	35,00	-88,46	10,00	-78,44	5,00
1994	-17,57	0,00	-26,32	0,00	-24,07	0,00	-29,85	0,00	-4,41	0,00	-4,32	0,00	-13,90	0,00
1995	-23,90	5,00	-28,02	0,00	-24,52	0,00	-47,83	15,00	-39,07	15,31	-48,61	10,00	-11,61	0,00
1996	-18,30	0,00	-56,55	5,00	-41,75	10,00	-17,28	0,00	-45,91	35,00	-34,08	1,25	-12,01	0,00
1997	-5,52	0,00	-15,25	0,00	-19,63	0,00	-68,09	15,00	-67,24	35,00	-52,12	2,50	-48,17	5,00
1998	-18,54	0,00	-22,30	0,00	-19,26	0,00	-43,23	15,00	-77,56	35,00	-79,72	1,25	-15,54	0,00
1999	-37,54	5,00	-56,41	5,00	-41,80	8,13	-58,50	15,00	-67,78	35,00	-67,10	7,50	-60,07	5,00
2000	-6,05	0,00	-13,37	0,00	-37,31	3,75	-25,00	0,00	-27,62	0,00	-21,83	0,00	-19,24	0,00
2001	-11,08	0,00	-10,56	0,00	-20,08	0,00	-38,44	11,25	-93,76	35,00	-99,85	4,38	-38,69	3,44
2002	-7,16	0,00	-3,76	0,00	-11,56	0,00	-22,92	0,00	-28,84	0,00	-40,40	10,00	-28,92	0,00
2003	-15,39	0,00	-25,74	0,00	-32,79	0,00	-30,25	0,00	-51,68	35,00	-28,87	0,00	-55,41	5,00
2004	-28,35	5,00	-40,26	5,00	-49,78	10,00	-100,30	15,00	-101,15	28,44	-86,45	10,00	-56,01	5,00
2005	-25,03	5,00	-44,63	5,00	-90,32	10,00	-57,52	10,31	-40,35	19,69	-65,45	10,00	-70,63	1,56
2006	-24,42	5,00	-25,26	0,00	-35,31	2,50	-45,53	15,00	-44,66	35,00	-40,94	10,00	-31,89	0,00
2007	-11,60	0,00	-33,08	0,31	-30,92	0,00	-14,54	0,00	-6,59	0,00	-17,05	0,00	-32,35	0,63
Data de semeadura 10 de novembro														
1984	-13,08	0,00	-12,72	0,00	-49,98	10,00	-40,35	13,13	-98,41	35,00	-142,21	10,00	-190,00	5,00
1985	-15,38	0,00	-57,21	5,00	-74,59	10,00	-120,04	15,00	-190,00	35,00	-182,82	10,00	-183,02	5,00
1986	-9,73	0,00	-5,57	0,00	-10,65	0,00	-55,88	15,00	-75,87	35,00	-72,18	10,00	-115,53	5,00

1987	-17,36	0,00	-12,58	0,00	-25,63	0,00	-59,17	15,00	-85,10	35,00	-68,60	10,00	-72,08	5,00
	VE-V6		V7-V10		V10-VT		VT		A-F(R1)		R2		R3	
A n o	<i>E t m</i>	<i>% R P</i>	<i>E t m</i>	<i>% R P</i>	<i>E t m</i>	<i>% R P</i>	<i>E t m</i>	A n o	<i>E t m</i>	<i>% R P</i>	<i>E t m</i>	<i>% R P</i>	<i>E t m</i>	<i>% R P</i>
1988	-27,04	5,00	-57,61	5,00	-88,53	10,00	-77,92	8,03	-9,45	0,00	-16,67	0,00	-3,77	0,00
1989	-16,49	0,00	-34,45	0,63	-39,60	9,38	-43,76	15,00	-3,04	0,00	-5,42	0,00	-36,33	1,25
1990	-15,26	0,00	-8,45	0,00	-44,28	10,00	-113,43	15,00	-149,31	35,00	-190,00	10,00	-181,74	5,00
1991	-21,89	2,78	-23,87	0,00	-17,06	0,00	-34,32	2,81	-48,10	35,00	-53,04	10,00	-60,41	5,00
1992	-9,32	0,00	-21,06	0,00	-42,03	10,00	-98,97	15,00	-91,12	0,00	-19,12	0,00	-25,69	0,00
1993	-13,71	0,00	-11,68	0,00	-37,71	3,13	-66,41	15,00	-73,46	35,00	-69,05	10,00	-73,33	1,25
1994	-17,33	0,00	-21,06	0,00	-16,73	0,00	-21,80	0,00	-6,73	0,00	-11,07	0,00	-25,33	0,00
1995	-18,19	0,00	-21,87	0,00	-40,86	10,00	-35,11	2,81	-47,16	35,00	-2,36	0,00	-13,98	0,00
1996	-36,31	5,00	-17,62	0,00	-13,83	0,00	-42,05	15,00	-32,15	0,00	-13,77	0,00	-8,19	0,00
1997	-7,62	0,00	-17,11	0,00	-48,96	10,00	-57,90	15,00	-35,70	8,75	-54,36	10,00	-63,71	5,00
1998	-13,24	0,00	-17,00	0,00	-17,92	0,00	-59,84	15,00	-70,53	21,88	-12,37	0,00	-22,32	0,00
1999	-34,22	5,00	-16,11	0,00	-48,97	10,00	-45,62	15,00	-53,96	28,44	-51,54	10,00	-46,33	5,00
2000	-5,50	0,00	-34,27	0,31	-22,86	0,00	-20,62	0,00	-23,42	0,00	-23,34	0,00	-13,81	0,00
2001	-7,39	0,00	-17,12	0,00	-27,28	0,00	-71,23	15,00	-85,62	35,00	-44,70	10,00	-8,04	0,00
2002	-5,44	0,00	-6,16	0,00	-20,45	0,00	-25,89	0,00	-39,35	29,75	-28,88	0,00	-31,31	0,00
2003	-16,11	0,00	-23,50	0,00	-21,37	0,00	-42,31	15,00	-40,41	17,50	-62,23	10,00	-45,48	5,00
2004	-32,46	5,00	-35,87	0,94	-42,59	9,38	-72,80	15,00	-58,61	35,00	-37,20	0,00	-56,47	5,00
2005	-22,26	2,78	-63,07	5,00	-72,16	5,63	-25,89	0,00	-64,67	35,00	-70,80	3,75	-15,87	0,00
2006	-10,62	0,00	-22,16	0,00	-40,41	10,00	-36,30	7,50	-41,18	35,00	-36,24	2,50	-31,88	0,00
2007	-16,45	0,00	-20,23	0,00	-27,54	0,00	-7,16	0,00	-26,24	0,00	-37,52	9,38	-25,24	0,00