**MODELO PARA ESTIMATIVA DO VOLUME MÁXIMO DE CALDA
VISANDO A APLICAÇÃO FOLIAR DE PRODUTOS QUÍMICOS NA
CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.)**

MARIA del VALLE BASANTA

Engenheira Agrônoma

Orientador: Prof. Dr. Durval Dourado-Neto

Dissertação apresentada à Escola Superior
de Agricultura "Luiz de Queiroz",
Universidade de São Paulo, para a obtenção
do título de Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Fitotecnia.

PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Julho - 1999

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - Campus "Luiz de Queiroz"/USP

Basanta, Maria del Valle

Modelo para estimativa do volume máximo de calda visando a aplicação foliar de produtos químicos na cultura de milho (*Zea mays* L.) / Maria del Valle Basanta. - - Piracicaba, 1999.
65 p.

Dissertação (mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1999.
Bibliografia.

1. Efeito da temperatura 2. Folha 3. Milho híbrido 4. Modelo matemático 5. População de planta 6. Quimigação I. Título

CDD 633.15

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - O Autor"

ERRATA

Onde se lê	Lê-se	Pág
... "radical"...	... "radicular"...	6
... ", tal como é detalhado na Figura 1."...	... ", tal como é detalhado na Figura 3."...	11
... "cumprimento"...	... "comprimento"...	11
$Y_{ijk} = \mu + t_i + l_j + e_{ij} + a_k + (ta)_{ik} + (la)_{jk} + (tla)_{ijk} + e_{ijk}$	$Y_{ijk} = \mu + t_i + l_j + (tl)_{ij} + e_{ij} + a_k + (ta)_{ik} + (la)_{jk} + (tla)_{ijk} + e_{ijk}$	14
... "I"...	... "i"...	15
$V_w = \left(\frac{m_i}{\rho_w} \right) - \left(\frac{m_s}{\rho_w} \right) \left[\frac{(2U-1)}{(1-U)} \right]$	$V_w = \frac{m_i}{\rho_w} - \frac{m_s}{\rho_w} \left[\frac{1}{(1-U)} \right]$	20
... "em que Vr se refere"...	... "em que Vr (ou Vw) se refere"...	20
... "3048,00 mm"...	... "304,8 mm"...	23
... "34,50 rpm"...	... "3450 rpm"...	23
... "uma maior lâmina"...	... "um maior volume"...	31
... "0,999"...	... "0,999**"...	37
... "equação para estimar a lâmina retida em função da população e do desenvolvimento relativo"...	... "equação para estimar a lâmina retida em função do desenvolvimento relativo"...	38
... "ii) a lâmina média retida pode ser estimada em função do desenvolvimento relativo da cultura;"...	... "ii) a lâmina média retida pode ser estimada em função do índice de área foliar para fins de manejo e do desenvolvimento relativo da cultura para fins de planejamento;"...	40
... "14,25*"...	... "14,25**"...	46

**Aos meus pais,
Inés Dolores Castro de Basanta e
Enrique Daniel Basanta,
e a meu esposo,
Jorge Omar Gieco,
OFEREÇO**

**Aos argentinos da minha geração
que morreram na absurda guerra
de Malvinas.**

DEDICO

AGRADECIMENTO

- A Deus pela sua permanente presença, especialmente nos momentos difíceis.
- A meus pais pela compreensão e apoio nesta e em todas as etapas da minha vida.
- Ao meu esposo Jorge Omar Gieco pela sua permanente companhia, amor, estímulo e colaboração.
- Ao Prof. Dr. Durval Dourado-Neto, pela orientação, pela amizade, pela permanente colaboração e apoio na realização deste trabalho e pela sua inestimável contribuição a minha formação profissional.
- Aos colegas e amigos, Engenheiros Agrônomos Graciela E. Cordone e Fernando Martínez pelo seu apoio e estímulo incondicional em todos os momentos.
- À Fundação de Amparo à pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pela bolsa de estudo fornecida e pelo apoio financeiro na realização deste trabalho.
- Aos Engenheiros Agrônomos e colegas Dálcio Ricardo Botelho Alves e Fátima Conceição Rezende pela valiosa colaboração prestada durante a fase experimental deste trabalho.
- Ao Engenheiro Florestal Cristian Andrés Carranza pela sua valiosa colaboração na definição do desenho experimental e na realização das análises estatísticas.
- Aos Engenheiros Agrônomos e colegas Ramiro López Ovejero pela colaboração prestada na fase experimental, e Axel García y García pela importante colaboração prestada na fase de redação deste trabalho.
- Aos funcionários do Departamento de Produção Vegetal pela sua colaboração na fase experimental, sem a qual este trabalho não poderia ter sido realizado.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	VI
LISTA DE TABELAS	VIII
RESUMO.....	XIV
SUMMARY	XV
RESUMEN.....	XVI
 1 INTRODUÇÃO.....	 1
 2 REVISÃO DE LITERATURA.....	 3
2.1 A cultura de milho.....	3
2.1.1 Importância do milho.....	3
2.1.2 Fenologia do milho.....	4
2.2 A quimigação e a irrigação por aspersão via pivô central.....	5
2.3 Fertirrigação, fungigação, herbigação e insetigação.....	6
2.4 Efeito da cultura na distribuição de água	7
 3 MATERIAL E MÉTODOS.....	 10
3.1 Local do experimento.....	10
3.2 Instalação do experimento.....	11
3.3 Análise estatística.....	13
3.4 Fenologia	15
3.5 Desenvolvimento relativo da cultura	15
3.6 Área foliar.....	16
3.7 Amostragens	17
3.8 Determinações	18
3.8.1 Determinação da lâmina de irrigação	18

3.8.2	Determinação da quantidade de água retida nas folhas.....	18
3.8.3	Modelos propostos	20
3.8.3.1	Modelo universal	20
3.8.3.2	Modelo estatístico	22
3.9	O sistema de irrigação	23
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	24
4.1	Fenologia da cultura.....	24
4.2	Desenvolvimento relativo da cultura	24
4.3	Índice de área foliar.....	29
4.3.1	Análise de variância para os dois experimentos	29
4.3.2	Modelo matemático para estimativa do índice de área foliar	30
4.4	Lâmina média retida.....	31
4.4.1	Análise de variância para os dois experimentos	31
4.4.2	Modelo matemático para estimativa da lâmina média retida.....	32
4.5	Volume de água retido por hectare na cultura de milho.....	34
4.5.1	Análise de variância para os dois experimentos	34
4.5.2	Modelo matemático para estimativa do volume retido nas folhas das plantas de milho.....	35
4.6	Considerações finais.....	37
5	CONCLUSÕES.....	40
6	ANEXO: ANÁLISE ESTATÍSTICA	41
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57
	APÊNDICE: VALORES OBSERVADOS E ESTIMADOS DE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF, M²/M²), LÂMINA DE ÁGUA RETIDA (H, MM) E VOLUME MÁXIMO RETIDO DE ÁGUA (VR, L/HA) PELOS DIFERENTES MODELOS	62

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Disposição do conjunto experimental sob o pivô central da área experimental do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP.....	10
Figura 2. Relação das parcelas com os aspersores e os coletores utilizados no teste de avaliação do pivô central.....	11
Figura 3. Representação esquemática da área experimental ilustrando a distribuição espacial das parcelas referentes aos três níveis (P1: 41.176, P2: 52.941 e P3: 64.706 plantas/ha) do tratamento (população) nos experimentos L1 (lâmina de irrigação: 3,6 mm) e L2 (lâmina de irrigação: 1,3 mm).	12
Figura 4. Desenho esquemático de uma parcela experimental.	13
Figura 5. Disposição radial dos coletores sob o pivô para realização do teste de uniformidade de lâmina.	18
Figura 6. Fluxograma referente ao procedimento de estimativa do volume máximo de calda (V_r , l/ha) retido na folhagem da cultura de milho. T_{min_i} , T_{max_i} e T_i se referem às temperaturas (°C) mínima, máxima e média do ar, respectivamente; T_b e T_m às temperaturas (°C) basais inferior e superior da cultura, respectivamente; P à população (pl/m^2), Par aos parâmetros empíricos dos diferentes modelos, Dr ao desenvolvimento relativo da cultura, h à lâmina (mm) de água retida e IAF ao índice de área foliar (m^2/m^2).	21
Figura 7. Índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) em função da população de plantas (P , pl/m^2) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Tabela 10).....	30
Figura 8. Lâmina retida (h , mm) em função do índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) (Tabela 11).....	32
Figura 9. Lâmina retida (h , mm) em função do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Tabela 11).....	33

Figura 10. Volume médio retido (V_r , l/ha) em função da população de plantas (P , pl/m^2) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Tabela 12) (referência: planejamento).....	35
Figura 11. Volume médio retido (V_r , l/ha) em função do índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) (Tabela 12) (referência: manejo).	36

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Esquema da análise da variância individual para cada experimento (12 parcelas).....	14
Tabela 2. Esquema da análise da variância conjunta para os dois experimentos.....	15
Tabela 3. Datas de amostragens, estágio fenológico correspondente e lâminas aplicadas.	17
Tabela 4. Especificações técnicas do equipamento de irrigação.....	23
Tabela 5. Resultados das observações fenológicas.	24
Tabela 6. Temperaturas máxima (T_1 , °C) e mínima (T_2 , °C) do ar, número de graus-dia no (GDi, °C.dia) e até (GDAi, °C.dia) o i -ésimo dia após a emergência, estágio fenológico, número de dias após a emergência (DAE) e desenvolvimento relativo da cultura (Dr) de milho desde a emergência (7 de setembro) até 5 folhas (7 de outubro). Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo. Data da semeadura: 27 de agosto de 1998. Data de colheita: 21 de janeiro de 1999.....	25
Tabela 7. Temperaturas máxima (T_1 , °C) e mínima (T_2 , °C) do ar, número de graus-dia no (GDi, °C.dia) e até (GDAi, °C.dia) o i -ésimo dia após a emergência, estágio fenológico, número de dias após a emergência (DAE) e desenvolvimento relativo da cultura (Dr) de milho desde 5 folhas (8 de outubro) até 13 folhas (5 de novembro). Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo. Data da semeadura: 27 de agosto de 1998. Data de colheita: 21 de janeiro de 1999.....	26

Tabela 8. Temperaturas máxima (T_1 , °C) e mínima (T_2 , °C) do ar, número de graus-dia no (GDi , °C.dia) e até ($GDAi$, °C.dia) o i -ésimo dia após a emergência, estágio fenológico, número de dias após a emergência (DAE) e desenvolvimento relativo da cultura (Dr) de milho desde 13 folhas (6 de novembro) até grão pastoso (6 de dezembro). Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo. Data da semeadura: 27 de agosto de 1998. Data de colheita: 21 de janeiro de 1999.....	27
Tabela 9. Temperaturas máxima (T_1 , °C) e mínima (T_2 , °C) do ar, número de graus-dia no (GDi , °C.dia) e até ($GDAi$, °C.dia) o i -ésimo dia após a emergência, estágio fenológico, número de dias após a emergência (DAE) e desenvolvimento relativo da cultura (Dr) de milho desde grão pastoso (7 de dezembro) até o ponto de maturidade (6 de janeiro). Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo. Data da semeadura: 27 de agosto de 1998. Data de colheita: 21 de janeiro de 1999.....	28
Tabela 10. Modelo referente à estimativa do índice de área foliar (IAF , m^2/m^2) em função da população de plantas (P , pl/m^2) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr), com os respectivos valores do coeficiente de correlação (r), número de observações (n), desvio padrão do erro (s , m^2/m^2), e valor F (Figura 7).....	31
Tabela 11. Modelos referentes à estimativa da lâmina média retida (h , mm) em função do índice de área foliar (IAF , m^2/m^2) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr), com os respectivos valores do coeficiente de correlação (r), número de observações (n), desvio padrão do erro (s , mm), e valor F	33

Tabela 12. Modelos referentes à estimativa do volume de água médio retido (V_r , l/ha) pela cultura de milho em função do índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) (Figura 11) e da população de plantas (pl/m^2) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Figura 10), com os respectivos valores do coeficiente de correlação (r), número de observações (n), desvio padrão do erro (s , mm), e valor F.....	37
Tabela 13. Análise de variância relativa ao índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) correspondente ao experimento L1.....	41
Tabela 14. Valores médios de índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) para cada população (P , pl/m^2) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de IAF entre populações e entre épocas no experimento L1.....	42
Tabela 15. Valores médios de índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) para cada combinação população (P , pl/m^2) x época de avaliação (E) no experimento L1 e teste de comparação dos valores médios de IAF entre os tratamentos $P \times E$	43
Tabela 16. Análise de variância relativa ao índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) correspondente ao experimento L2.....	44
Tabela 17. Valores médios de índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) para cada população (P , pl/m^2) e cada época de avaliação (E), e teste de comparação dos valores médios de IAF entre populações e entre épocas no experimento L2.....	44
Tabela 18. Valores médios de índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) para cada combinação população (P , pl/m^2) x época de avaliação (E) no experimento L2 e teste de comparação dos valores médios de IAF entre os tratamentos $P \times E$	45
Tabela 19. Análise de variância relativa à lâmina de água retida (h , mm) correspondente ao experimento L1.....	46

Tabela 20. Valores médios de lâmina de água retida para cada população (P, pl/m^2) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de lâmina de água retida entre populações e entre épocas no experimento L1.	46
Tabela 21. Valores médios de lâmina de água retida para cada combinação população (P, pl/m^2) x época de avaliação (E) no experimento L1 e teste de comparação dos valores médios de lâmina de água retida entre os tratamentos P x E.	47
Tabela 22. Análise de variância relativa à lâmina de água retida (h , mm) correspondente ao experimento L2.	48
Tabela 23. Valores médios de lâmina de água retida para cada população (P, pl/m^2) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de lâmina de água retida entre populações e entre épocas no experimento L2.	48
Tabela 24. Valores médios de lâmina de água retida para cada combinação população (P, pl/m^2) época de avaliação (E) no experimento L2 e teste de comparação dos valores médios de lâmina de água retida entre os tratamentos P x E.	49
Tabela 25. Análise de variância relativa ao volume de água retido (V_r , l/ha) correspondente ao experimento L1.	50
Tabela 26. Valores médios de volume de água retido para cada população (P, pl/m^2) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido entre populações e entre épocas no experimento L1.	50
Tabela 27. Valores médios de volume de água retido para cada combinação população (P, pl/m^2) x época de avaliação (E) no experimento L1 e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido entre os tratamentos P x E.	51
Tabela 28. Análise de variância relativa ao volume de água retido (V_r , l/ha) correspondente ao experimento L2 (Lâmina: 1,3 mm).	52

Tabela 29. Valores médios de volume de água retido para cada população (P, pl/m^2) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido entre populações e entre épocas no experimento L2.	52
Tabela 30. Valores médios de volume de água retido para cada combinação população (P, pl/m^2) x época de avaliação (E) no experimento L2 e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido entre os tratamentos P x E.	53
Tabela 31. Análise de variância conjunta para os experimentos L1 (Lâmina: 3,6 mm) e L2 (Lâmina: 1,3 mm) relativa ao volume de água retido (V_r , l/ha).....	54
Tabela 32. Valores médios de volume de água retido para população (P, pl/m^2), lâmina aplicada (L), lâmina x população e época de avaliação, segundo a análise conjunta dos experimentos L1 e L2; e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido.	55
Tabela 33. Valores médios de volume de água retido para população (P, pl/m^2) x época de avaliação (E) e lâmina aplicada (L, mm) x época de avaliação, segundo a análise conjunta dos experimentos L1 (3,6 mm) e L2 (1,3 mm) e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido.	56
Tabela 34. Valores observados (IAFo , m^2/m^2) e estimados (IAFe , m^2/m^2) do índice de área foliar em função do desenvolvimento relativo (Dr) e da população de plantas (P, pl/m^2), desvio (d) entre os valores observados e estimados, erro relativo (Er , %), e limites inferior (LIic) e superior (LSic) do intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade.	62
Tabela 35. Valores observados (ho , mm) e estimados (he , mm) da lâmina de água retida em função do índice de área foliar (IAF , m^2/m^2), desvio (d) entre os valores observados e estimados, erro relativo (Er , %), e limites inferior (LIic) e superior (LSic) do intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade.....	63

- Tabela 36. Valores observados (V_{ro} , mm) e estimados (V_{re} , l/ha) de volume de água retida em função do índice de área foliar (IAF , m^2/m^2), desvio (d) entre os valores observados e estimados, erro relativo (Er , %), e limites inferior (L_{lic}) e superior (L_{sic}) do intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade. 64
- Tabela 37. Valores observados (V_{ro} , m^2/m^2) e estimados (V_{re} , m^2/m^2) de volume de água retida em função do desenvolvimento relativo (Dr) e da população de plantas (P , pl/m^2), desvio (d) entre os valores observados e estimados, erro relativo (Er , %), e limites inferior (L_{lic}) e superior (L_{sic}) do intervalo de confiança a o nível de 95% de probabilidade. 65

**MODELO PARA ESTIMATIVA DO VOLUME MÁXIMO DE CALDA
VISANDO A APLICAÇÃO FOLIAR DE PRODUTOS QUÍMICOS NA
CULTURA DE MILHO (*Zea mays* L.)**

Autora: María del Valle Basanta

Orientador: Prof. Dr. Durval Dourado-Neto

RESUMO

Com o objetivo de estimar o volume de água por hectare retido na folhagem da cultura de milho para fins de quimigação foliar, foram propostos dois modelos (estatístico e universal) e conduzido um experimento em que foi determinada a interceptação de água pela parte aérea das plantas de milho sob diferentes lâminas de irrigação aplicadas via pivô central. Foram avaliadas duas lâminas de irrigação e três populações de plantas do híbrido de milho C-909 em 3 estádios fenológicos: i) 4-5 folhas; ii) 8 folhas e iii) 14 folhas. A quantidade de água retida nas folhas das plantas foi estimada subtraindo da massa total da planta (medida após a passagem do pivô), a massa de matéria seca e a água constitutiva das plantas. A área foliar foi avaliada em cada amostragem. A fenologia e o desenvolvimento relativo da cultura foram avaliados periodicamente. Os resultados permitiram verificar que os modelos propostos são utilizáveis.

**MODEL TO ESTIMATE THE MAXIMUM WATER VOLUME FOR
CHEMICAL PRODUCTS APPLICATION PURPOSES
IN THE CORN (*Zea mays* L.) CROP FOLIAGE**

Author: María del Valle Basanta

Adviser: Prof. Dr. Durval Dourado-Neto

SUMMARY

With the objective of estimating the water volume per area (ha) in the corn leaves for chemigation purposes, the statistic and universal models were proposed and a field experiment was carried out to obtain the water interception in the aerial corn plant parts under center pivot irrigation system. Two irrigation depths and three corn plant populations, using the hybrid C-909, were evaluated in three phenological stages: i) 4-5 leaves; ii) 8 leaves and iii) 14 leaves. The water mass retained in the corn leaves were obtaining considering the total plant mass measured after irrigation, the dry matter plant mass and the constitutive water mass. The total leaf area per corn plant was evaluated for each sampling period. The phenology and the relative crop development were evaluated periodically. The results allowed verify that the proposed models can be used for their purpose.

**MODELO PARA ESTIMAR EL VOLUMEN MÁXIMO DE AGUA PARA LA
APLICACIÓN FOLIAR DE PRODUCTOS QUÍMICOS EN EL CULTIVO DE
MAÍZ (*Zea mays* L.)**

Autora: María del Valle Basanta

Director: Prof. Dr. Durval Dourado-Neto

RESUMEN

Con el objetivo de estimar el volumen de agua por hectarea retenido en la parte foliar del cultivo de maíz para propósitos de quimigación foliar, fueron propuestos dos modelos (estadístico y universal) y conducido un experimento en que fue determinada la intercepción de agua por la parte aerea de las plantas de maíz bajo riego por aspersión con pivote central. Fueron evaluadas dos láminas de riego y tres densidades de plantas del híbrido de maíz C-909 en tres estadios fenológicos del cultivo: i) 4-5 hojas; ii) 8 hojas y iii) 14 hojas. La cantidad de agua retenida en las hojas de las plantas fue estimada sustrayendo de la masa total de la planta (medida inmediatamente después de la aplicación del agua en la parcela), la masa de materia seca y el agua constituyente de las plantas. Se evaluó en cada muestreo el área foliar y la fenología y periódicamente el desarrollo relativo del cultivo. Los resultados permitieron verificar que el modelo propuesto es utilizable.

1 INTRODUÇÃO

Em todos os sistemas de produção é necessário otimizar o uso dos recursos produtivos. Isso se obtém através da obtenção de alta produtividade e da redução dos custos de produção. Para as culturas em geral, o uso da técnica de irrigação e a aplicação de agroquímicos são fundamentais se o objetivo é a obtenção de altos rendimentos.

Com a quimigação é possível uma aplicação segura e efetiva da quantidade apropriada de produto pelo qual reduz-se os custos de produção enquanto se protege o operário e o meio ambiente (Leon New, 1990).

O sucesso da quimigação, tendo como alvo tanto o solo quanto a folhagem, depende em grande parte da uniformidade de aplicação do produto, a qual é geralmente proporcional à uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação.

A medição da uniformidade de distribuição da água mediante o coeficiente de uniformidade permite a comparação dos diferentes sistemas de irrigação em relação a esse parâmetro. Porém, esse coeficiente reflete apenas a forma com que é distribuída a água no solo pelo sistema de irrigação na ausência da cultura.

Na presença da cultura, a água aplicada pelo sistema de irrigação será redistribuída entre a parte aérea das plantas e o solo. Essa distribuição dependerá de fatores do sistema de irrigação (caracterizados pelo coeficiente de uniformidade e a lâmina aplicada, principalmente), do clima (velocidade do vento e evaporação) e da cultura (espécie, densidade de semeadura e arquitetura de planta, disposição das folhas na planta e ângulo de inserção, e estágio fenológico).

Sendo assim, fica evidente a importância da cultura na distribuição da água de irrigação e da necessidade de se verificar a potencialidade da aplicação de agroquímicos na folhagem das culturas através dos sistemas de irrigação.

O presente trabalho foi realizado com o intuito de servir de subsídio para definir

a viabilidade técnica da quimigação cujo o alvo é folha. Para tal foram consideradas as seguintes hipóteses de trabalho: i) a eficiência de aplicação do produto químico é diretamente proporcional à quantidade do produto que atinge o alvo folha; ii) a quantidade do produto que atinge as folhas é dependente da área foliar total, a qual depende da idade, população, espaçamento, distribuição e arquitetura das plantas na área, principalmente; iii) a quantidade do princípio ativo que atinge as folhas depende da calda (l/ha) utilizada; iv) a distribuição do produto químico é a mesma da água de irrigação devido ao regime de escoamento hidráulico.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito de diferentes distribuições espaciais (populações) e índices de área foliar da cultura de milho, e de diferentes lâminas de aplicação de água de irrigação em relação à interceptação da mesma pela parte aérea das plantas sob irrigação (pivô central), no intuito de estimar o volume máximo de calda visando a aplicação foliar de produtos químicos na cultura de milho.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura de milho

2.1.1 Importância do milho

O milho é um dos mais importantes cereais cultivado no mundo devido a sua composição e valor nutritivo, superado apenas pelo trigo e o arroz (Purseglove, 1972; Fancelli, 1994).

O Brasil ocupa o terceiro lugar entre os produtores mundiais de milho com aproximadamente 8% da produção total, embora se posiciona em décimo segundo lugar em relação à produtividade (Fancelli & Lima, s/d).

Dentre os fatos que fazem do milho uma das culturas mais importantes no Brasil, pode-se mencionar: i) é a cultura que ocupa maior área cultivada, ii) é responsável pelo maior emprego de mão-de-obra no setor agrícola, iii) é o principal fornecedor de insumos alimentícios para a produção animal, e iv) é plantada em todo o território nacional (Embrapa, 1981).

O rendimento médio no Brasil, ao redor de 2300 kg.ha^{-1} é muito baixo (Bull, 1993). Uma das formas de se aumentar o rendimento da cultura é, sem dúvida, a adoção da prática da irrigação.

Além da cultura de arroz, a cultura de milho encontra-se entre as principais culturas anuais irrigadas junto com a cultura de feijão, principalmente com a utilização da irrigação por aspersão convencional e pivô central (Folegatti, 1994).

Sendo a irrigação uma prática que exige altas produtividades devido a seu alto custo de implantação, manutenção e operação, a cultura de milho tem sido utilizada como uma das alternativas para agricultura irrigada. (Resende et al., 1990, 1993).

A adoção da técnica de quimigação permite reduzir os custos de produção,

conseqüentemente a cultura de milho irrigado torna-se mais rentável.

2.1.2 Fenologia do milho

O conhecimento das fases de desenvolvimento de uma cultura é fundamental em estudos de distribuição de água aplicada devido à variabilidade espacial do índice de área foliar que modifica essa distribuição (Goodmann & Smith, 1978).

Em culturas anuais a interceptação aumenta com a idade da cultura devido ao acréscimo da cobertura do solo pelas folhas, com posterior queda no período de maturação. O contrário acontece com a precipitação interna, que é inversamente proporcional à idade da cultura (Leopoldo et al., 1981).

O ciclo da cultura de milho compreende diferentes etapas de desenvolvimento (Fancelli, 1994): i) emergência (cerca de 7 a 10 dias): período da semeadura até o aparecimento da plântula; ii) crescimento vegetativo (extensão variável, dependendo da precocidade do material), da emissão da segunda folha até o início do florescimento; iii) florescimento (cerca de 8 a 10 dias): período desde o início da polinização até o início da frutificação; iv) frutificação (cerca de 50 a 60 dias): etapa compreendida entre o início do enchimento dos grãos até o início da maturação; v) maturação (cerca de 25 a 35 dias): etapa desde o final da maturação até o ponto de maturidade fisiológica.

Essas etapas podem ser divididas em onze estádios distintos de desenvolvimento: i) estágio 0 (emergência); ii) estágio 1 (planta com 4 folhas totalmente desdobradas); iii) estágio 2 (planta apresentando 8 folhas); iv) estágio 3 (plantas com 12 folhas); v) estágio 4 (emissão do pendão); vi) estágio 5 (florescimento); vii) estágio 6 (grãos leitosos); viii) estágio 7 (grãos pastosos); ix) estágio 8 (início da formação de “dentes”); x) estágio 9 (grãos “duros”); xi) estágio 10 (grãos maduros fisiologicamente).

Essa divisão das etapas de desenvolvimento em estádios facilita o manejo (referência exata) e o estudo da cultura, bem como objetiva a possibilidade do estabelecimento de correlações entre elementos fisiológicos, bioquímicos, climatológicos, fitogenéticos, entomológicos, fitopatológicos e fitotécnicos com o desempenho da planta referente ao atributo de interesse (Fancelli, 1986a, 1986b; Fancelli & Dourado-Neto, 1992).

2.2 A quimigação e a irrigação por aspersão via pivô central

Sendo possível a utilização da quimigação com todos os métodos de irrigação, eles apresentam alguns usos mais apropriados e, em muitos casos impõem restrições ao tipo de produto químico a ser aplicado.

Particularmente, na irrigação por aspersão pode-se aplicar os produtos químicos tanto no solo quanto nas folhas das plantas, enquanto que os sistemas de irrigação por superfície e por gotejamento, só permitem aplicar o agroquímico ao solo.

A maioria dos inseticidas, fungicidas, agentes de controle biológico e herbicidas pós-emergentes precisa ser aplicado na parte aérea das plantas (Vieira, 1994).

No manejo da irrigação é fundamental obter uma aplicação uniforme de água. Essa necessidade é ainda maior quando se trata da quimigação. A uniformidade de distribuição do produto químico é geralmente proporcional à uniformidade de distribuição da água pelo sistema de irrigação.

Christiansen (1942) foi o primeiro a estudar a uniformidade de distribuição em aspersão, quantificando-a através de um índice denominado coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), onde é utilizado o desvio médio como medida de dispersão.

Os equipamentos de irrigação por aspersão pivô central e lineares apresentam elevados coeficientes de uniformidade, sendo opções muito adequadas para a quimigação. Em particular o pivô central, supera em uniformidade as pulverizações terrestres e aéreas (Threadgill, 1985).

Em relação às aplicações de agroquímicos tendo como alvo as folhas das plantas, a principal desvantagem do pivô central é o grande volume de água aplicado resultando numa concentração do produto muito baixa. No Brasil, os pivôs centrais comerciais aplicam lâminas mínimas de 4 a 9 mm por volta (40 a 90 mil litros/ha) e a maior parte da água é depositada no solo (Vieira, 1994).

O alto volume de água aplicada parece causar uma distribuição mais uniforme do produto através de toda a planta, atingindo a parte inferior da folhagem. Essa melhor redistribuição contribui a uma boa efetividade, mesmo sendo pequena a concentração do produto na água de irrigação (McMaster & Douglas, 1976).

2.3 Fertirrigação, fungigação, herbigação e insetigação

Quimigação é a técnica de aplicação de produtos químicos, a qual é denominada fertirrigação quando o produto químico específico é fertilizante, fungigação no caso de fungicidas, herbigação no caso de herbicidas e insetigação no caso de inseticidas (Dourado-Neto & Fancelli, 1997).

Fertirrigação é a técnica referente à aplicação simultânea de água e fertilizantes cujo alvo é o solo, por meio de um sistema de irrigação. Os nutrientes diluídos na água são aplicados de forma a infiltrar no solo, predominando a absorção radical a não foliar (Coelho, 1994). Portanto, por definição a fertirrigação tem como alvo o solo e não a folhagem da cultura.

Por outro lado, chama-se de adubação foliar à aplicação de nutrientes minerais na folha vegetal, os quais serão absorvidos passivamente e ativamente e utilizados por toda a planta a fim de suprir deficiências (Camargo & Silva, 1990). No processo evolutivo as folhas não perderam sua capacidade de absorver água e sais minerais. Essa propriedade possibilita a aplicação de adubos foliares (Boaretto & Rosolém, 1987).

É importante salientar que o objetivo da adubação foliar não é substituir o fornecimento de nutrientes via solo. Só em alguns setores da agricultura, como a floricultura, essa substituição é economicamente viável (Camargo & Silva, 1990).

Nos trabalhos que combinam as técnicas de irrigação e adubação foliar, a aplicação do fertilizante não é feita através da água de irrigação, sendo o mesmo aplicado às folhas com pulverizadores aéreos ou terrestres.

Em relação à fungigação, essa técnica tem sido adotada sem um adequado embasamento científico no Brasil, principalmente por agricultores que possuem pivôs centrais, nas regiões de agricultura irrigada mais importantes do país (Almeida Pinto, 1994 citado por Fancelli, 1994).

Sendo uma prática recente no Brasil, as pesquisas locais são iniciais e escassas. Junqueira Netto (1990) menciona que nos Estados Unidos há mais de uma década se pratica a fungigação com resultados satisfatórios no controle das doenças foliares como a pinta preta (*Alternaria solani*) em batata, a cercosporiose (*Cercospora beticola*) em beterraba açucareira, a septoriose ou mancha de septória (*Septoria lycopersici*) em

tomateiro, e mofo branco (*Sclerotinia sclerotiorum*) em feijoeiro.

Nessa mesma linha, há autores que afirmam que é possível uso da técnica de quimigação para aplicação de herbicidas (pré-plantio incorporado, pré-emergente e pós-emergente). Citam ainda que no caso do herbicida aplicado em pós-emergência, há danos à cultura com as aplicações mecânicas tradicionais (Fancelli & Dourado-Neto, 1992).

Os herbicidas aplicados em pós-emergência são absorvidos principalmente via foliar. O herbicida deve atingir as folhas das plantas daninhas de forma uniforme. Todavia isso não acontece em muitas situações de aplicação no campo, provocando falhas nos resultados (Victória Filho, 1990). Esse fato faz interessante a pesquisa relacionada à aplicação dos herbicidas via água de irrigação, já que uma boa calibração do equipamento de irrigação pode possibilitar obter uma aplicação uniforme.

No caso da instigação, o controle químico de pragas via injeção de inseticidas nas tubulações de irrigação começou na década de 60 nos Estados Unidos. No Brasil os primeiros relatos datam da década de 80. Com o incremento da área agrícola irrigada, a insetigação tem sido aplicada através dos equipamentos de aspersão sem as pesquisas prévias necessárias para a sua eficiente utilização (Viana, 1994).

Embora a concentração do inseticida aplicada via água de irrigação seja muito baixa em comparação com uma aplicação convencional, o inseticida atinge a praga de forma mais eficiente, especificamente no caso da lagarta-do-cartucho. Isso também acontece em outras espécies com arquitetura semelhante à do milho, a qual favorece o escoamento da calda para o cartucho e às bainhas das folhas (Viana, 1994).

Pragas da cultura de milho como *Helicoverpa zea* (Young et al., 1984 citados por Viana, 1994), *Spodoptera frugiperda* (Young et al., 1984 e Viana & Costa, 1989 citados por Viana, 1994) e *Elasmopalpus lignosellus* (Viana & Costa, 1992 citados por Viana, 1994) têm sido bem controladas através da insetigação.

2.4 Efeito da cultura na distribuição de água

A cobertura vegetal da cultura provoca uma partição da água (seja chuva ou água de irrigação) entre as plantas e o solo, modificando distintos processos do ciclo

hidrológico (recarga do solo em água, escoamento e evaporação). Quando se trata da irrigação por aspersão, o desenvolvimento da cultura, irá interferir no coeficiente de uniformidade e na eficiência de irrigação (Leopoldo et al., 1981).

A maior parte dos trabalhos sobre interceptação foliar foram feitos em ecossistemas florestais ou em culturas perenes de grande porte (Rao, 1987; Miranda & Butler, 1986; Lima, 1976; Leopoldo, 1981), porém em culturas anuais não é muito freqüente encontrar trabalhos sobre o tema.

Leopoldo et al. (1981) encontraram que as perdas por interceptação foliar na cultura de cana-de-açúcar representaram só 4,1% do total da chuva. Isso demonstra que a fração interceptada em uma cultura de cana é relativamente pequena quando comparada às perdas que ocorrem em ecossistemas florestais, as quais atingem valores médios de 25% da precipitação total anual dependendo do tipo de cobertura florestal (Linsley et al., 1949).

Conte & Leopoldo (1986) encontraram valores de interceptação foliar de 8,1%, e de escoamento pelo colmo de 22% do total da chuva na cultura de milho.

Mundim (1996) estudou o efeito da cultura de milho na distribuição da água aplicada por aspersão convencional. Encontrou valores de escoamento pelo colmo de 45 a 50% da água que atingiu o solo irrigado com lâminas de 3 e 4 mm, e que a precipitação interna (água que atinge o solo através da folhagem) é intensificada com o aumento da lâmina aplicada.

Da Silva et al. (1994) avaliaram um modelo de simulação da precipitação efetiva na cultura de milho sob irrigação por aspersão convencional. O modelo simulou uma interceptação foliar de 26% do total da água aplicada, enquanto a interceptação foliar medida de chuvas foi de 32% dessas chuvas. Os autores concluíram que os valores de interceptação foliar da água na cultura de milho, tanto em relação à irrigação quanto em relação a chuva natural, foram elevados. Por isso sugerem que a interceptação foliar seja considerada no manejo e no planejamento dos projetos de irrigação.

Mundim (1996) e Folegatti et al. (1998), avaliando a interceptação foliar de lâminas de irrigação por aspersão convencional na cultura do milho, encontraram que 44,5% e 50% da precipitação efetiva alcançou a superfície do solo via escoamento pelo

colmo nas parcelas que receberam água com intensidade de 3 e 4 mm/h, enquanto na parcela com intensidade de 9 mm/h, o escoamento pelo colmo reduziu-se para 38,8%. O aumento da intensidade de precipitação ocasionou aumento simultâneo do escoamento pelo colmo e da precipitação interna devido à diminuição das perdas por interceptação. Verificou-se que os valores de água interceptados pela cultura de milho são variados e devem ser determinados para cada situação específica no referente a índice de área foliar, espaçamento, cultivar e arquitetura da planta.

Steiner et al. (1983), avaliando a partição da água na cultura de milho sob irrigação por aspersão do tipo pivô central, estimaram a interceptação média de água nas folhas das plantas em 2,7 mm quando a cultura apresentou um índice de área foliar superior a 3. Consideraram que a capacidade de interceptação das plantas de milho depende do índice de área foliar, do espaçamento entre plantas e das características do material em relação ao ângulo de inserção das folhas e a sua senescência. Os autores citam Stoltemberg & Wilson (1950), os quais encontraram que a interceptação da água pelas folhas das plantas de milho foi de 0,64 mm usando uma técnica de remoção das plantas do campo e a posterior medição da massa de água por pesagem.

Stone et al. (1994), estudando a distribuição de um inseticida aplicado na cultura de milho em irrigação por aspersão do tipo pivô central, observaram que o volume de água coletado aumentou a medida em que diminuiu a altura dos coletores em relação ao nível do solo, o que demonstra o "efeito funil" da folhagem do milho.

Considerando que na maior parte dos estudos foi encontrado que uma fração importante da água aplicada é interceptada ou contribui à precipitação interna, é possível pensar na viabilidade da aplicação de agroquímicos com sistemas de aspersão tendo como alvo as folhas das plantas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido em Piracicaba-SP (22° 43' latitude Sul, 47° 38' longitude Oeste, 580 m de altitude) na área experimental do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ-USP (Figura 1). O solo da área é classificado como Terra Roxa Estruturada eutrófica, horizonte A moderado, textura argilosa/muito argilosa.

Figura 1. Disposição do conjunto experimental sob o pivô central da área experimental do Departamento de Produção Vegetal da ESALQ, Universidade de São Paulo. Piracicaba, SP.

Figura 2. Relação das parcelas com os aspersores e os coletores utilizados no teste de avaliação do pivô central.

3.2 Instalação do experimento

Foram instaladas 24 parcelas dispostas em 2 grupos de 12, correspondendo cada um deles a uma determinada lâmina de irrigação, tal como é detalhado na Figura 1.

A área total de cada parcela foi de $35,7 \text{ m}^2$ (6 m de comprimento e 7 fileiras de plantas com espaçamento de 0,85 m) e a área útil de 17 m^2 (Figura 4).

As populações (tratamentos) foram aleatoriamente distribuídas dentro de cada grupo de 12 parcelas e as lâminas de irrigação foram determinadas aleatoriamente entre os dois grupos de parcelas.

Foi semeado o híbrido de milho CARGILL 909 (classificação comercial quanto ao florescimento: super-precoce) em 27 de agosto de 98 com três densidades: i) 3,5 sementes/m linear e um espaçamento entre fileiras de 0,85 m (41.176 plantas/ha na colheita), ii) 4,5 sementes/m linear e um espaçamento entre fileiras de 0,85 m (52.941 plantas/ha na colheita), iii) 5,5 sementes/m linear e um espaçamento entre fileiras de 0,85 m (64.706 plantas/ha na colheita). As sementes foram tratadas com o fungicida thiabendazole na dose de 300g/100kg. Para o controle de pragas, utilizou-se lambda cyalotrin para a lagarta rosca e lufenuron e clorpyrifos para a lagarta do cartucho. Para o controle da plantas daninhas foi usado nicosulfuron + bentazon.

Foi feita adubação na semeadura com 30 kg/ha de N (fonte: Sulfato de Amônio), 80 kg/ha de P_2O_5 (Fonte: Superfosfato Simples) e 50 kg/ha de K_2O (Fonte: Cloreto de Potássio). Posteriormente foram feitas duas adubações em cobertura: 39 kg/ha de N (Fonte: Uréia) em 1 de outubro de 1998, e 60 kg/ha de N (Fonte: Uréia) em 27 de outubro de 1998.

Figura 3. Representação esquemática da área experimental ilustrando a distribuição espacial das parcelas referentes aos três níveis (P1: 41.176, P2: 52.941 e P3: 64.706 plantas/ha) do tratamento (população) nos experimentos L1 (lâmina de irrigação: 3,6 mm) e L2 (lâmina de irrigação: 1,3 mm).

Figura 4. Desenho esquemático de uma parcela experimental.

3.3 Análise estatística

Para a análise estatística dos resultados dos experimentos L1 e L2 foi utilizado um delineamento em parcelas subdivididas. Para a análise da variância individual foi adotado o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + e_{ij} + a_k + (ta)_{ik} + e_{ijk} \quad (1)$$

em que o índice i se refere ao número de ordem dos tratamentos ($i=1$ a 3), j ao número de ordem das repetições ($j=1$ a 4), k ao número de ordem das épocas das avaliações (1 a 3), Y_{ijk} à observação da variável de interesse referente à j -ésima repetição do i -ésimo tratamento na k -ésima época de avaliação; μ à média geral; t_i ao efeito do i -ésimo tratamento; e_{ij} ao erro devido às parcelas experimentais, a_k ao efeito da k -ésima época de avaliação; $(ta)_{ik}$ ao efeito da interação do i -ésimo tratamento com a k -ésima época de avaliação; e e_{ijk} ao erro devido às subparcelas.

O esquema da análise da variância para esse modelo está descrito na Tabela 1.

Para a análise conjunta dos dois experimentos foi adotado o seguinte modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + t_i + l_j + e_{ij} + a_k + (ta)_{ik} + (la)_{jk} + (tla)_{ijk} + e_{ijkl} \quad (2)$$

em que o índice i se refere ao número de ordem dos tratamentos ($i=1$ a 3), j ao número de ordem das repetições ($j=1$ a 4), k ao número de ordem das épocas das avaliações ($k=1$ a 3), l ao número de ordem das diferentes lâminas aplicadas ($l=1$ a 2), Y_{ijk} à observação da variável de interesse referente à j -ésima repetição do i -ésimo tratamento na k -ésima época de avaliação; μ à média geral; t_i ao efeito do i -ésimo tratamento; e_{ij} ao erro devido às parcelas experimentais, a_k ao efeito da k -ésima época de avaliação; $(ta)_{ik}$ ao efeito da interação do i -ésimo tratamento com a k -ésima época de avaliação; $(la)_{jk}$ ao efeito da interação da j -ésima lâmina aplicada com a k -ésima época de avaliação, $(tla)_{ijk}$ ao efeito da interação do i -ésimo tratamento com a j -ésima lâmina aplicada na k -ésima época de avaliação e e_{ijkl} ao erro devido às subparcelas.

O esquema da análise da variância para esse modelo está descrito na Tabela 2.

Tabela 1. Esquema da análise da variância individual para cada experimento (12 parcelas).

Causa da variação	Graus de Liberdade*	Quadrado Médio	F
Tratamentos (T)	$i-1 = 3-1 = 2$	V_1	V_1/V_2
Resíduo (a)	$i(j-1) = 3(4-1) = 9$	V_2	
(Parcelas)	$(ij-1) = (3.4-1) = 11$		
Épocas (E)	$k-1 = 3-1 = 2$	V_3	V_3/V_5
T x E	$(i-1)(k-1) = (3-1).(3-1) = 4$	V_4	V_4/V_5
Resíduo (b)	$i(j-1)(k-1) = 3(4-1)(3-1) = 18$	V_5	
Total	$ijk-1 = 3.4.3 - 1 = 35$		

* As letras representam o número máximo de ordem para cada caso

Tabela 2. Esquema da análise da variância conjunta para os dois experimentos.

Causa da variação	Graus de Liberdade*	Quadrado Médio	F
Lâmina (L)	$(I-1) = (2-1) = 1$	V_1	V_1/V_4
Tratamentos (T)	$(i-1) = (3-1) = 2$	V_2	V_2/V_4
L x T	$(I-1).(i-1) = (2-1).(3-1) = 2$	V_3	V_3/V_4
Resíduo (a)	$i(j-1)(i-1) = 3(4-1)(3-1) = 18$	V_4	
(Parcelas)	$(Iij - 1) = (2.3.4 - 1) = 23$		
Épocas (E)	$(k-1) = (3-1) = 2$	V_5	V_5/V_9
T x E	$(i-1)(k-1) = (3-1).(3-1) = 4$	V_6	V_6/V_9
L x E	$(I-1)(k-1) = (2-1).(3-1) = 2$	V_7	V_7/V_9
E x L x T	$(k-1)(I-1)(i-1) = (3-1)(2-1)(3-1) = 4$	V_8	V_8/V_9
Resíduo (b)	$i(k-1)(I-1)(i-1)(j-1) = 3(3-1)(2-1)(3-1)(4-1) = 36$	V_9	
Total	$(Iijk-1) = (2.3.4.3-1) = 71$		

* As letras representam o número máximo de ordem para cada caso

3.4 Fenologia

A fenologia da cultura de milho foi avaliada utilizando a escala proposta por Fancelli (1986a, 1986b), a qual subdivide o ciclo da cultura em 11 diferentes estádios (0 a 10).

3.5 Desenvolvimento relativo da cultura

Foram calculados os valores de graus-dia acumulados para cada estágio, utilizando as temperaturas basais mínima e máxima de 10 °C (T_b) e 30 °C (T_m), respectivamente. O desenvolvimento relativo (Dr) foi calculado no final do ciclo dividindo a soma calórica acumulada até a data correspondente a cada estágio fenológico pela soma calórica total (índice térmico, IT) no ponto de maturidade fisiológica.

O desenvolvimento relativo da cultura foi calculado através da seguinte equação:

$$Dr_n = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - T_b)}{IT}, (T_b \leq T_i \leq T_m) \quad (3)$$

em que Dr_n se refere ao estágio de desenvolvimento relativo da cultura até o n-ésimo dia após emergência ($0 \leq Dr_n \leq 1$); T_i à temperatura média ($^{\circ}\text{C}$) do ar no i-ésimo dia após a emergência; T_b à temperatura basal mínima da cultura (10°C); IT ao índice térmico da cultura desde a emergência até o ponto de maturidade fisiológica; T_m à temperatura basal máxima da cultura (30°C).

3.6 Área foliar

A determinação da área foliar foi realizada da seguinte maneira: i) foram escolhidas aleatoriamente 6 plantas na área adjacente a cada experimento (12 parcelas); ii) das folhas dessas plantas, foram retirados 30 círculos por planta (n_c) de 0,9 cm de diâmetro ($2r$, cm) (exceto na primeira amostragem da lâmina 2 em que foram retirados 20 círculos com diâmetro de 1,5 cm), os quais foram secados e pesados, obtendo-se assim a correspondente massa de matéria seca; iii) com a área (cm^2) e a massa de matéria seca (m_c , g) dos n_c círculos, foi obtida a área foliar específica (AFe , cm^2/g):

$$AFe = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} \pi \cdot r^2}{\sum_{i=1}^{n_c} m_c} \quad (4)$$

Conhecendo-se a massa de matéria seca total das folhas das plantas amostradas em cada uma das 12 parcelas de cada experimento, calcula-se a área foliar total (AFT , cm^2/pl) de cada planta a partir da área foliar específica:

$$AFT = Msf \cdot AFe \quad (5)$$

em que Msf se refere à massa de matéria seca das folhas por planta (g/pl).

Para o cálculo do índice de área foliar, utilizou-se a seguinte equação:

$$IAF = \frac{AFT \cdot P}{10.000} \quad (6)$$

em que P se refere à população de plantas (pl/m^2).

3.7 Amostragens

As amostragens foram feitas nos seguintes estádios fenológicos: i) 4 a 5 folhas, ii) 8 folhas e iii) 14 folhas. Na Tabela 3 são apresentadas as datas em que foram feitas as amostragens, o estágio fenológico correspondente e as lâminas aplicadas.

Em cada amostragem foram coletadas 2 plantas por parcela (exceto na primeira amostragem em que foram coletadas 3 plantas/parcela), totalizando 24 plantas por experimento (12 parcelas), mais as 6 plantas que foram coletadas antes da passagem do pivô para a estimativa do conteúdo de água constitutiva e determinação da área foliar (nessas 6 plantas foram coletados os círculos de folhas).

No período entre amostragens procedeu-se a pré-secagem das plantas, a separação das folhas do resto da plantas e a secagem em estufa, obtendo-se assim a massa de matéria seca de folhas (Msf, g) e a massa de matéria seca das outras partes das plantas (Msop, g).

Tabela 3. Datas de amostragens, estágio fenológico correspondente e lâminas aplicadas.

Primeira amostragem		
Data	Estádio fenológico	Lâmina de irrigação
2 de outubro	4-5 folhas	L2 ¹
6 de outubro	4-5 folhas	L1 ²
Segunda amostragem		
Data	Estádio fenológico	Lâmina de irrigação
20 de outubro	8 folhas	L1
21 de outubro	8 folhas	L2
Terceira amostragem		
Data	Estádio fenológico	Lâmina de irrigação
7 de novembro	14 folhas	L1
8 de novembro	14 folhas	L2

1 Regulagem do temporizador: 100%. Lâmina de irrigação (L2): 1,3mm

2 Regulagem do temporizador: 40%. Lâmina de irrigação (L1): 3,6mm

3.8 Determinações

3.8.1 Determinação da lâmina de irrigação

Para caracterização inicial da lâmina de irrigação, foram instalados coletores espaçados de 3 metros entre si, formando um ângulo entre as linhas de coletores de 3° , de acordo com as normas da ABNT (1985) (Figura 5).

Figura 5. Disposição radial dos coletores sob o pivô para realização do teste de uniformidade de lâmina.

3.8.2 Determinação da quantidade de água retida nas folhas

Concebeu-se uma metodologia para avaliar diretamente a quantidade de água que fica retida nas folhas depois da irrigação (logo após de passar o pivô). Para isso, foi necessário tirar as plantas inteiras depois da irrigação de maneira que evitasse a queda da água das folhas.

As plantas foram coletadas em sacos plásticos e imediatamente pesadas para evitar qualquer perda de água.

Por outro lado, foi necessário tirar plantas “controle” logo antes da irrigação para determinação do teor de água, assumindo-se que todas as plantas da lavoura, em um determinado momento do dia, têm o mesmo teor de água. Assim, conhecendo-se o teor de água e a massa de matéria seca da planta, pôde-se determinar a quantidade de água constitutiva.

As plantas depois de pesadas foram acondicionadas em casa-de-vegetação (pré-secagem) e depois secas em estufa a 70 °C durante pelo menos 96 h (até peso constante).

Logo, o volume de água retido pelo folhagem é calculado pela diferença entre a massa da planta irrigada antes da secagem e a massa após a secagem, subtraindo-se o volume de água correspondente à massa de água constitutiva, assumindo massa específica da água de 1g/cm³.

O procedimento matemático desta metodologia é o seguinte:

i) determinação da massa de água armazenada sobre as folhas das plantas:

$$m_t = m_{wc} + m_s + m_{we} \quad (7)$$

$$m_{we} = m_t - (m_{wc} + m_s) \quad (8)$$

$$U = \frac{m_{wc}}{(m_s + m_{wc})} \quad (9)$$

Sendo assim:

$$m_{wc} = \frac{U \cdot m_s}{(1 - U)} \quad (10)$$

$$m_{we} = m_t - \frac{m_s}{(1 - U)} \quad (11)$$

em que m_t se refere à massa (g) total (planta irrigada antes da secagem), m_{wc} à massa (g) água constitutiva, m_s à massa (g) de matéria seca (massa da planta irrigada após da secagem), m_{we} à massa (g) de água externa retida na folhagem, U à umidade (g/g) da planta vizinha a base de massa (controle) base úmida;

ii) volume de água armazenado na folhagem das plantas:

$$\rho_w = \frac{m_w}{V_w} \quad (12)$$

$$V_w = \frac{m_w}{\rho_w} \quad (13)$$

Sendo assim:

$$V_w = \left(\frac{m_t}{\rho_w} \right) - \left(\frac{m_s}{\rho_w} \right) \left[\frac{(2U - 1)}{(1 - U)} \right] \quad (14)$$

em que V_w se refere ao volume (cm^3/pl) de água armazenado na folhagem da planta e ρ_w à massa específica da água (g/cm^3);

iii) determinação da área foliar específica e área foliar total (vide item 3.6);

iv) determinação da lâmina de água (h , mm) que fica retida nas folhas da planta:

$$h = \frac{10.V_w}{AFT} \quad (15)$$

3.8.3 Modelos propostos

Com a finalidade de utilização prática, foram propostos os seguintes modelos: i) modelo universal e ii) modelo estatístico.

3.8.3.1 Modelo universal

No modelo universal, conhecendo-se a lâmina de água que fica nas folhas e o índice de área foliar, pode-se estimar o volume máximo de calda visando a aplicação foliar de produtos químicos na cultura de milho através da seguinte equação:

$$V_r = h.IAF.10^4 \quad (16)$$

em que V_r se refere ao volume (l/ha) máximo retido de água (ou calda) na parte aérea das plantas; h à lâmina (mm) de água retida; e IAF ao índice de área foliar (m^2/m^2).

Figura 6. Fluxograma referente ao procedimento de estimativa do volume máximo de calda (V_r , l/ha) retido na folhagem da cultura de milho. T_{min_i} , T_{max_i} e T_i se referem às temperaturas (°C) mínima, máxima e média do ar, respectivamente; T_b e T_m às temperaturas (°C) basais inferior e superior da cultura, respectivamente; P à população (pl/m²), Par aos parâmetros empíricos dos diferentes modelos, Dr ao desenvolvimento relativo da cultura, h à lâmina (mm) de água retida e IAF ao índice de área foliar (m²/m²).

Nesse caso, para estimativa da lâmina de água retida (h , mm), foram concebidos dois modelos:

i) modelo utilizável como referência de planejamento:

$$h = r' (1 - e^{-s' \cdot Dr}) \quad (17)$$

em que r' (mm) e s' se referem aos parâmetros empíricos do modelo, determinados através da análise de regressão não linear, minimizando a soma dos quadrados dos desvios.

ii) modelo utilizável como referência de manejo:

$$h = u(1 - e^{-v \cdot IAF}) \quad (18)$$

em que u (mm) e v se referem aos parâmetros empíricos do modelo, determinados através da análise de regressão não linear, minimizando a soma dos quadrados dos desvios.

Para o caso da estimativa do índice de área foliar para fins de planejamento, concebeu-se um modelo que apresenta como variáveis independentes a população de plantas (P , pl/m²) e o desenvolvimento relativo da cultura (Dr):

$$IAF = a' \cdot e^{-e^{\frac{-Dr+b'}{c'}}} + d' \cdot e^{\frac{-P+k'}{f'}} + g' \cdot e^{-e^{\frac{-Dr+b'}{c'}}} \cdot e^{-e^{\frac{-P+k'}{f'}}} \quad (19)$$

em que a' , b' , c' , d' , f' , g' e k' se referem aos parâmetros empíricos do modelo, determinados através da análise de regressão não linear, minimizando a soma dos quadrados dos desvios.

Por outro lado, para fins de manejo não foi concebido nenhum modelo para a estimativa do índice de área foliar (IAF , m²/m²) já que o mesmo pode ser observado *in situ*.

3.8.3.2 Modelo estatístico

O modelo estatístico pressupõe a estimativa do volume máximo de calda (Vr , l/ha) com a finalidade i) de planejamento e ii) de manejo, fazendo a análise de regressão diretamente com os atributos tidos como variáveis independentes (desenvolvimento relativo, população e índice de área foliar).

O modelo estatístico, para fins de planejamento, propõe a utilização do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) e da população de plantas (P , pl/m²) como variáveis independentes, através da seguinte equação:

$$Vr = a \cdot e^{-e^{\frac{-Dr+b}{c}}} + d \cdot e^{\frac{-P+k}{f}} + g \cdot e^{-e^{\frac{-Dr+b}{c}}} \cdot e^{-e^{\frac{-P+k}{f}}} \quad (20)$$

em que a (l/ha), b , c , d (l/ha), f , g (l/ha) e k se referem aos parâmetros empíricos do modelo, determinados através da análise de regressão não linear, minimizando a soma dos quadrados dos desvios.

O modelo estatístico para fins de manejo propõe a utilização do índice de área

foliar (IAF, m²/m²), através da seguinte equação:

$$Vr = \frac{p IAF}{(q + IAF)} \quad (21)$$

em que p (l/ha) e q se referem aos parâmetros empíricos do modelo, determinados através da análise de regressão não linear, minimizando a soma dos quadrados dos desvios.

3.9 O sistema de irrigação

A irrigação foi feita utilizando o pivô central cujas especificações técnicas estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Especificações técnicas do equipamento de irrigação.

Pivô central Carborundum MPC 630/01-639/LA G2S baixa pressão, com 1 torre								
Composição do pivô				Alturas Manométricas				
Comprimento do vão inicial		61,30 m		pressão extremo da tubulação do pivô		30,00 mca		
Lance em balanço		27,97 m		desnível (ponto do pivô ao ponto mais alto)		0,00 m		
Comprimento total equipamento		89,27 m		perda friccional no tubo pivô		0,10 mca		
Área Irrigada				altura dos aspersores		4,60 m		
alcance efetivo do canhão final		15,00 m		Pressão no Ponto Pivô (Manômetro)		34,70 mca		
raio efetivo da área irrigada		104,27 m		desnível moto-bomba ao ponto pivô		0,50 m		
Área circular irrigada		3,42 ha		perda friccional na adutora		0,41 mca		
Características Técnicas				altura de sucção/ perdas diversas		1,00 m/0,03 m		
Lâmina bruta a aplicar		15 mm/dia		Altura Manométrica Total		36.63 mca		
Tempo de operação diário		24 h		Unidade de Bombeamento				
Vazão necessária		21,35 m³/h		vazão exigida		21,35 m³/h		
Velocidade última torre a 100%		180,00 m/h		pressão exigida		36,63 mca		
tempo mínimo por volta a 100%		2,14 h		Informações Complementares				
lâmina bruta mínima		1,34 mm		desnível (ponto do pivô ao ponto mais baixo)		3,00 m		
Tubulação Adutora								
Adutora	Comprimento	Diâmetro	Material	Coefficiente	Vazão	hf (m/m)	hf total	Vel.
A	180m	125mm	A.Z.	137	21,35 (m³/h)	0,00225	0,41m	0,48m/s
Bomba centrífuga				Motor elétrico				
Marca		ALBRIZZI		marca		BUFALO		
Modelo		3048		modelo		IP-54		
Número de estágios		1		potência nominal		7.5 CV		
Diâmetro do rotor		3048,00 mm		número de fases e de pólos		3 e 4		
Vazão		21,31 m³/h		rotação		3450 r.p.m.		
Pressão		42,00 m.c.a.		tensão		220 V		
Rendimento		62%		frequência		60 Hz		
Rotação		34,50 r.p.m.		eficiência		90%		
Potência absorvida no eixo		5,35 CV		consumo		4,37 kwh		
Transformador da unidade de bombeamento (fonte de Alimentação Trifásica)								
Potência: 7.5 kVa					Tensão: 220 V			

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Fenologia da cultura

Os resultados das observações fenológicas são apresentados na Tabela 5. Cada estágio foi determinado quando 50% das plantas apresentaram a característica pré-estabelecida.

Tabela 5. Resultados das observações fenológicas.

Id	Estádio	DAE ¹	Data
	Semeadura	-1	27/8/98
0	Emergência	0	7/09
1	4 folhas totalmente desdobradas	20	27/9
2	8 folhas totalmente desdobradas	42	19/10
3	12 folhas totalmente desdobradas	55	1/11
4	Emissão do pendão	64	10/11
5	Florescimento	68	14/11
6	Grãos leitosos	77	23/11
7	Grãos pastosos	90	6/12
8 ² /9	Grãos duros	109	25/12
9	Ponto de maturidade fisiológica	121	6/01/99

1 dias após emergência

2 estágio não determinado

Foi utilizada a fenologia para caracterizar as épocas de amostragem no intuito de fornecer uma informação mais exata e precisa, o que está de acordo com o que afirmaram Goodman & Smith (1978).

4.2 Desenvolvimento relativo da cultura

Os resultados do desenvolvimento relativo são apresentados na Tabela 6, Tabela 7, Tabela 8 e Tabela 9.

Tabela 6. Temperaturas máxima (T_1 , °C) e mínima (T_2 , °C) do ar, número de graus-dia no (GDi, °C.dia) e até (GDAi, °C.dia) o i -ésimo dia após a emergência, estágio fenológico, número de dias após a emergência (DAE) e desenvolvimento relativo da cultura (Dr) de milho desde a emergência (7 de setembro) até 5 folhas (7 de outubro). Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo. Data da semeadura: 27 de agosto de 1998. Data de colheita: 21 de janeiro de 1999.

Data	T_1	T_2	GDi	GDAi	Estádio	DAE	Dr
7/9/98	26,5	15,4	11,0	11,0	Emergência	0	0,00
8/9	24,6	17,7	11,2	22,2	0 folha	1	0,01
9/9	25,6	16,1	10,9	33,1	0 folha	2	0,02
10/9	25,7	13,8	9,8	42,9	0 folha	3	0,03
11/9	32,1	13,6	12,9	55,8	0 folha	4	0,04
12/9	32,9	17,2	15,1	70,9	1 folha	5	0,04
13/9	33,1	17,2	15,2	86,1	1 folha	6	0,05
14/9	28,9	17,3	13,1	99,2	1 folha	7	0,06
15/9	28,6	15,1	11,9	111,1	1 folha	8	0,07
16/9	29,0	15,0	12,0	123,1	1 folha	9	0,08
17/9	35,6	14,3	15,0	138,1	2 folhas	10	0,09
18/9	31,9	17,9	14,9	153,0	2 folhas	11	0,10
19/9	25,9	17,0	11,5	164,5	2 folhas	12	0,10
20/9	23,3	15,5	9,4	173,9	2 folhas	13	0,11
21/9	24,8	14,8	9,8	183,7	2 folhas	14	0,12
22/9	23,8	12,1	8,0	191,7	3 folhas	15	0,12
23/9	26,0	13,1	9,6	201,3	3 folhas	16	0,13
24/9	30,8	11,9	11,4	212,7	3 folhas	17	0,13
25/9	30,1	14,8	12,5	225,2	3 folhas	18	0,14
26/9	30,2	15,0	12,6	237,8	3 folhas	19	0,15
27/9	31,2	18,0	14,6	252,4	4 folhas	20	0,16
28/9	22,4	18,2	10,3	262,7	4 folhas	21	0,17
29/9	22,5	18,8	10,7	273,4	4 folhas	22	0,17
30/9	23,7	17,0	10,4	283,8	4 folhas	23	0,18
1/10	26,0	17,1	11,6	295,4	4 folhas	24	0,19
2/10 ¹	27,1	14,8	11,0	306,4	4 folhas	25	0,19
3/10	29,9	14,7	12,3	318,7	4 folhas	26	0,20
4/10	32,2	16,1	14,2	332,9	5 folhas	27	0,21
5/10	23,0	18,8	10,9	343,8	5 folhas	28	0,22
6/10 ¹	28,6	15,3	12,0	355,8	5 folhas	29	0,22
7/10	22,9	17,1	10,0	365,8	5 folhas	30	0,23

¹ Primeira amostragem

Tabela 7. Temperaturas máxima (T_1 , °C) e mínima (T_2 , °C) do ar, número de graus-dia no (GDi, °C.dia) e até (GDAi, °C.dia) o i -ésimo dia após a emergência, estágio fenológico, número de dias após a emergência (DAE) e desenvolvimento relativo da cultura (Dr) de milho desde 5 folhas (8 de outubro) até 13 folhas (5 de novembro). Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo. Data da semeadura: 27 de agosto de 1998. Data de colheita: 21 de janeiro de 1999.

Data	T_1	T_2	GDi	GDAi	Estádio	DAE	Dr
8/10	27,3	17,2	12,3	378,1	5 folhas	31	0,24
9/10	24,4	17,8	11,1	389,2	5 folhas	32	0,25
10/10	26,9	13,4	10,2	399,4	6 folhas	33	0,25
11/10	20,3	13,5	6,9	406,3	6 folhas	34	0,26
12/10	26,0	16,2	11,1	417,4	6 folhas	35	0,26
13/10	28,9	17,5	13,2	430,6	6 folhas	36	0,27
14/10	30,8	15,9	13,4	444,0	6 folhas	37	0,28
15/10	33,1	14,8	14,0	458,0	7 folhas	38	0,29
16/10	24,2	17,6	10,9	468,9	7 folhas	39	0,30
17/10	26,0	17,3	11,7	480,6	7 folhas	40	0,30
18/10	22,5	15,8	9,2	489,8	7 folhas	41	0,31
19/10	27,7	13,7	10,7	500,5	8 folhas	42	0,32
20/10 ¹	29,9	15,7	12,8	513,3	8 folhas	43	0,32
21/10 ¹	31,5	15,6	13,6	526,9	8 folhas	44	0,33
22/10	31,2	15,0	13,1	540,0	8 folhas	45	0,34
23/10	32,4	17,5	15,0	555,0	9 folhas	46	0,35
24/10	26,2	18,2	12,2	567,2	9 folhas	47	0,36
25/10	28,9	17,4	13,2	580,4	9 folhas	48	0,37
26/10	24,4	17,7	11,1	591,5	10 folhas	49	0,37
27/10	23,6	17,0	10,3	601,8	10 folhas	50	0,38
28/10	28,9	18,4	13,7	615,5	10 folhas	51	0,39
29/10	31,4	16,6	14,0	629,5	11 folhas	52	0,40
30/10	20,5	17,4	9,0	638,5	11 folhas	53	0,40
31/10	22,1	15,2	8,7	647,2	11 folhas	54	0,41
1/11	26,8	14,2	10,5	657,7	12 folhas	55	0,42
2/11	26,8	14,1	10,5	668,2	12 folhas	56	0,42
3/11	25,2	14,8	10,0	678,2	12 folhas	57	0,43
4/11	29,5	12,2	10,9	689,1	13 folhas	58	0,44
5/11	32,3	16,0	14,2	703,3	13 folhas	59	0,44

¹ Segunda amostragem

Tabela 8. Temperaturas máxima (T_1 , °C) e mínima (T_2 , °C) do ar, número de graus-dia no (GDi, °C.dia) e até (GDAi, °C.dia) o *i*-ésimo dia após a emergência, estágio fenológico, número de dias após a emergência (DAE) e desenvolvimento relativo da cultura (Dr) de milho desde 13 folhas (6 de novembro) até grão pastoso (6 de dezembro). Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo. Data da semeadura: 27 de agosto de 1998. Data de colheita: 21 de janeiro de 1999.

Data	T_1	T_2	GDi	GDAi	Estádio	DAE	Dr
6/11	32,9	17,0	15,0	718,3	13 folhas	60	0,45
7/11 ¹	32,9	16,4	14,7	733,0	14 folhas	61	0,46
8/11 ¹	31,9	18,5	15,2	748,2	14 folhas	62	0,47
9/11	31,9	17,6	14,8	763,0	14 folhas	63	0,48
10/11	23,6	17,6	10,6	773,6	Pendão	64	0,49
11/11	24,2	18,0	11,1	784,7	Pendão	65	0,50
12/11	29,4	14,7	12,1	796,8	Pendão	66	0,50
13/11	25,5	15,4	10,5	807,3	Pendão	67	0,51
14/11	28,4	15,9	12,2	819,5	Florescimento	68	0,52
15/11	29,6	15,7	12,7	832,2	Florescimento	69	0,53
16/11	33,2	15,9	14,6	846,8	Florescimento	70	0,53
17/11	34,0	19,2	16,6	863,4	Florescimento	71	0,55
18/11	32,8	19,7	16,3	879,7	Florescimento	72	0,56
19/11	26,3	17,6	12,0	891,7	Florescimento	73	0,56
20/11	28,8	13,8	11,3	903,0	Florescimento	74	0,57
21/11	29,6	13,6	11,6	914,6	Florescimento	75	0,58
22/11	28,9	16,1	12,5	927,1	Florescimento	76	0,59
23/11	30,8	14,4	12,6	939,7	Grão leitoso	77	0,59
24/11	34,0	14,2	14,1	953,8	Grão leitoso	78	0,60
25/11	35,0	17,6	16,3	970,1	Grão leitoso	79	0,61
26/11	32,8	20,2	16,5	986,6	Grão leitoso	80	0,62
27/11	26,2	20,4	13,3	999,9	Grão leitoso	81	0,63
28/11	31,6	17,4	14,5	1014,4	Grão leitoso	82	0,64
29/11	33,1	17,5	15,3	1029,7	Grão leitoso	83	0,65
30/11	33,2	17,7	15,5	1045,2	Grão leitoso	84	0,66
01/12	34,2	16,8	15,5	1060,7	Grão leitoso	85	0,67
02/12	35,0	18,0	16,5	1077,2	Grão leitoso	86	0,68
03/12	36,2	19,4	17,8	1095,0	Grão leitoso	87	0,69
04/12	29,6	20,1	14,9	1109,9	Grão leitoso	88	0,70
05/12	24,3	19,9	12,1	1122,0	Grão leitoso	89	0,71
06/12	29,8	19,9	14,9	1136,8	Grão pastoso	90	0,72

¹ Terceira amostragem

Tabela 9. Temperaturas máxima (T_1 , °C) e mínima (T_2 , °C) do ar, número de graus-dia no (GDi , °C.dia) e até ($GDAi$, °C.dia) o i -ésimo dia após a emergência, estágio fenológico, número de dias após a emergência (DAE) e desenvolvimento relativo da cultura (Dr) de milho desde grão pastoso (7 de dezembro) até o ponto de maturidade (6 de janeiro). Departamento de Produção Vegetal, ESALQ, Universidade de São Paulo. Data da semeadura: 27 de agosto de 1998. Data de colheita: 21 de janeiro de 1999.

DATA	T_1	T_2	GDi	$GDAi$	Estádio	DAE	Dr
07/12	31,0	18,5	14,8	1151,6	Grão pastoso	91	0,73
08/12	33,9	18,4	16,2	1167,7	Grão pastoso	92	0,74
09/12	33,7	22,4	18,1	1185,8	Grão pastoso	93	0,75
10/12	31,1	20,3	15,7	1201,5	Grão pastoso	94	0,76
11/12	27,0	20,4	13,7	1215,2	Grão pastoso	95	0,77
12/12	30,4	21,6	16,0	1231,2	Grão pastoso	96	0,78
13/12	33,3	19,3	16,3	1247,5	Grão pastoso	97	0,79
14/12	33,1	20,9	17,0	1264,5	Grão pastoso	98	0,80
15/12	28,5	20,0	14,3	1278,7	Grão pastoso	99	0,81
16/12	31,1	20,4	15,8	1294,5	Grão pastoso	100	0,82
17/12	25,8	21,2	13,5	1308,0	Grão pastoso	101	0,83
18/12	27,6	20,8	14,2	1322,2	Grão pastoso	102	0,83
19/12	29,2	15,6	12,4	1334,6	Grão pastoso	103	0,84
20/12	31,3	16,6	14,0	1348,5	Grão duro	104	0,85
21/12	34,6	17,4	16,0	1364,5	Grão duro	105	0,86
22/12	28,8	20,8	14,8	1379,3	Grão duro	106	0,87
23/12	25,1	18,6	11,9	1391,2	Grão duro	107	0,88
24/12	24,2	18,1	11,2	1402,3	Grão duro	108	0,89
25/12	23,6	19,1	11,4	1413,7	Grão duro	109	0,89
26/12	29,4	18,9	14,2	1427,8	Grão duro	110	0,90
27/12	28,5	16,4	12,5	1440,3	Grão duro	111	0,91
28/12	31,9	17,2	14,6	1454,8	Grão duro	112	0,92
29/12	27,3	19,2	13,3	1468,1	Grão duro	113	0,93
30/12	29,2	20,6	14,9	1483,0	Grão duro	114	0,94
31/12	31,5	18,6	15,1	1498,0	Grão duro	115	0,95
01/1	28,2	20,3	14,3	1512,3	Grão duro	116	0,95
02/1	27,9	20,5	14,2	1526,5	Grão duro	117	0,96
03/1	31,1	20,7	15,9	1542,4	Grão duro	118	0,97
04/1	29,2	20,6	14,9	1557,3	Grão duro	119	0,98
05/1	29,4	21,6	15,5	1572,8	Grão duro	120	0,99
06/1	21,8	20,4	11,1	1583,9	Ponto de maturidade	121	1,00

4.3 Índice de área foliar

4.3.1 Análise de variância para os dois experimentos

A análise da variância (teste F) mostra que o efeito da população de plantas e da época de avaliação sobre o índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) foi altamente significativo ($\alpha=0,01$) nos experimentos L1 e L2 (Tabela 13 e Tabela 16), o que justifica a utilização desses atributos como variáveis independentes.

O índice de área foliar aumentou com o incremento da população (número total de plantas por hectare) e com o desenvolvimento relativo (representando a variável época de avaliação).

Observou-se, ainda, que a interação população x época foi significativa. Sendo essa causa de variação inerente à natureza do experimento de campo (variabilidade espacial do solo e variabilidade genética entre as plantas amostradas, principalmente). No **ANEXO** são apresentados os valores médios de IAF para as 3 populações, as 3 épocas de avaliação e para cada combinação população x época no experimento L1 (Tabela 14 e Tabela 15) e no experimento L2 (Tabela 17 e Tabela 18).

Pelo resultado da análise de variância, justifica-se a estimativa do índice de área foliar em função da população de plantas e do desenvolvimento relativo da cultura.

Pela análise de regressão foi encontrado um modelo que explica a relação funcional do índice de área foliar com o a população de plantas e o desenvolvimento relativo da cultura de milho (Tabela 10 e Figura 7).

A possibilidade de que possa ser estimado o IAF a partir desses dois parâmetros é uma ferramenta para o planejamento da cultura, pois conhecendo-se as características do material genético em relação ao seu desenvolvimento relativo pode-se estimar, para uma determinada população de plantas, o índice de área foliar que apresenta a cultura em um determinado momento, o que permitiria determinar o volume máximo de calda utilizável em quimigação foliar.

4.3.2 Modelo matemático para estimativa do índice de área foliar

Figura 7. Índice de área foliar (IAF , m²/m²) em função da população de plantas (P , pl/m²) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Tabela 10).

Tabela 10. Modelo referente à estimativa do índice de área foliar (IAF, m²/m²) em função da população de plantas (P, pl/m²) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr), com os respectivos valores do coeficiente de correlação (r), número de observações (n), desvio padrão do erro (s, m²/m²), e valor F (Figura 7).

$$IAF = a'.e^{-e^{\frac{-Dr+b'}{c'}}} + d'.e^{\frac{-P+k'}{f'}} + g'.e^{-e^{\frac{-Dr+b'}{c'}}} .e^{-e^{\frac{-P+k'}{f'}}$$

Parâmetros do modelo		Parâmetros estatísticos	
a'	3,122111	r	0,996**
b'	0,260212	n	18
c'	0,073756	s	0,2174
d'	0,002427	F	116,156**
k'	5,208344		
f'	1,825842		
g'	2,881399		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($r_{17-0,01} = 0,575$)

4.4 Lâmina média retida

4.4.1 Análise de variância para os dois experimentos

A análise da variância para a variável lâmina retida mostra que o efeito da população de plantas não foi significativo, e que o desenvolvimento relativo (representando a variável época de avaliação) foi altamente significativo ($\alpha=0,01$) no experimento L1 e no experimento L2 (Tabela 19 e Tabela 22).

Observou-se o efeito da interação população x época no experimento L2, devido a lâmina média retida no tratamento "população 2 x época 2" ter sido superior ao tratamento "população 3 x época 2". Porém, não houve diferença significativa, sendo os valores médios de 0,0608 mm e de 0,0555mm, respectivamente.

Esperava-se que a população 3 (maior população) apresentasse, na mesma época de amostragem, uma maior lâmina retida do que a população 2, devido à expectativa de uma maior área foliar total. No ANEXO são apresentados os valores

médios da lâmina retida para as 3 populações, 3 épocas de avaliação e para cada combinação população x época no experimento L1 (Tabela 20 e Tabela 21) e no experimento L2 (Tabela 23 e Tabela 24). Essas variações também podem ser explicadas pela natureza do experimento de campo.

Sendo assim, justifica-se pelo resultado da análise de variância e que a lâmina retida nas folhas é função do desenvolvimento relativo da cultura. Isso ocorre porque a medida em que a cultura apresenta maior índice de área foliar, maior é a sua capacidade de reter água. Isso não seria esperado se as folhas da cultura representassem uma área horizontal homogênea que interceptaria uma lâmina de água constante. Porém, devido à arquitetura de parte aérea, as plantas de milho a medida em que crescem e se desenvolvem, produzem um efeito "funil" armazenando água na inserção da folha no colmo na altura da bainha, tal como foi observado também por Stone et al. (1994) e Girardin (1992).

4.4.2 Modelo matemático para estimativa da lâmina média retida

Figura 8. Lâmina retida (h, mm) em função do índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) (Tabela 11).

Figura 9. Lâmina retida (h, mm) em função do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Tabela 11).

Tabela 11. Modelos referentes à estimativa da lâmina média retida (h, mm) em função do índice de área foliar (IAF, m²/m²) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr), com os respectivos valores do coeficiente de correlação (r), número de observações (n), desvio padrão do erro (s, mm), e valor F.

$h = u(1 - e^{-v \cdot IAF})$ (Referência: manejo) ¹					
Parâmetros do modelo			Parâmetros estatísticos		
u	0,07133	r	0,734**	s	0,01708
v	1,16694	n	18	F	17,568**
$h = r'(1 - e^{-s' \cdot Dr})$ (Referência: planejamento) ²					
Parâmetros do modelo			Parâmetros estatísticos		
r'	0,18446	r	0,732**	s	0,01696
s'	1,11144	n	18	F	18,047**

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($r_{17-0,01} = 0,575$)

1 Figura 8

2 Figura 9

4.5 Volume de água retido por hectare na cultura de milho

4.5.1 Análise de variância para os dois experimentos

A análise de variância (Teste F) e mostra que o volume de água retido (V_r , l/ha) apresentou diferenças significativas ($\alpha=0,01$) devido ao efeito da população de plantas e do desenvolvimento relativo da cultura (época de avaliação) (Tabela 25 e Tabela 28).

Sendo assim, o volume de água retido na parte aérea das plantas é função do índice de área foliar, que por sua vez é função da população de plantas e do desenvolvimento relativo da cultura. Utiliza-se o índice de área foliar com a finalidade de manejo e a população de plantas e desenvolvimento relativo da cultura com a finalidade de planejamento das ações de manejo.

No ANEXO são apresentados os valores médios de volume de água retido por hectare para as 3 populações, as 3 épocas de avaliação e para cada combinação população x época no experimento L1 (Tabela 26 e Tabela 27) e no experimento L2 (Tabela 29 e Tabela 30).

Fez-se ainda a análise conjunta (Tabela 31, Tabela 32 e Tabela 33) para os dois experimentos, para constatar o efeito da lâmina de irrigação aplicada sobre o volume de água retido na parte aérea das plantas. Constatou-se que tal efeito não foi estatisticamente significativo. Isso mostra que neste estudo a quantidade de água retida nas folhas das plantas foi independente da lâmina de irrigação aplicada, o que confirma a validade da equação proposta em que o volume é apresentado como sendo uma função da lâmina retida e do índice de área foliar (modelo universal) ou função do desenvolvimento relativo e da população de plantas (modelo estatístico - referência: planejamento) ou do índice de área foliar (modelo estatístico - referência: manejo).

Para efeito de planejamento, com os modelos propostos, pode-se estimar o volume de calda máximo (V_r , l/ha) utilizável na aplicação foliar de um produto químico, para uma dada população de plantas, em um determinado desenvolvimento relativo da cultura de milho (Tabela 12 e Figura 10).

Ao nível de manejo da cultura, quando for necessária a aplicação de um produto químico cujo alvo for as folhas das plantas, o volume utilizável pode ser estimado em

função do IAF (Tabela 12 e Figura 11). A possibilidade de se estimar o volume de calda máximo que pode ser retido na parte aérea das plantas é uma ferramenta para decidir com que equipamento fazer uma aplicação mais eficiente do produto e se é factível a quimigação.

4.5.2 Modelo matemático para estimativa do volume retido nas folhas das plantas de milho

Figura 10. Volume médio retido (V_r , l/ha) em função da população de plantas (P , pl/m²) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Tabela 12) (referência: planejamento).

Figura 11. Volume médio retido (V_r , l/ha) em função do índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) (Tabela 12) (referência: manejo).

Tabela 12. Modelos referentes à estimativa do volume de água médio retido (V_r , l/ha) pela cultura de milho em função do índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) (Figura 11) e da população de plantas (pl/ m^2) e do desenvolvimento relativo da cultura (Dr) (Figura 10), com os respectivos valores do coeficiente de correlação (r), número de observações (n), desvio padrão do erro (s, mm), e valor F.

$V_r = \frac{p IAF}{(q + IAF)} \text{ (referência: manejo)}$			
Parâmetros do modelo		Parâmetros estatísticos	
p	2309036056642270,0	r	0,958**
q	34992361084407,4	n	18
		s	360,57784
		F	177,585**
$V_r = a.e^{-\frac{-Dr+b}{c}} + d.e^{\frac{-P+k}{f}} + g.e^{-\frac{-Dr+b}{c}} . e^{-\frac{-P+k}{f}} \text{ (referência: planejamento)}$			
Parâmetros do modelo		Parâmetros estatísticos	
a	2531,673744	r	0,999
b	0,285467	n	18
c	0,073032	s	88,14233
d	46,704458	F	376,553**
k	6,195320		
f	1,464212		
g	2799,611870		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($r_{17-0,01} = 0,575$)

1 Figura 11

2 Figura 10

4.6 Considerações finais

Pelos resultados apresentados por diferentes autores referentes à determinação da lâmina retida nas folhas das plantas, verifica-se alta variabilidade, provavelmente devido a diferentes metodologias utilizadas para sua determinação.

É importante ressaltar que apesar da metodologia e dos modelos propostos serem extrapoláveis, salienta-se que os parâmetros determinados no presente trabalho, a rigor, são válidos para as condições em que foi realizado o experimento. Os modelos deveriam ser validados para diferentes materiais genéticos com diferentes arquiteturas de parte aérea em diferentes situações.

Por outro lado, assume-se que a informação de pesquisa é fornecida apenas no intuito de determinar a ordem de grandeza do parâmetro de interesse como uma primeira aproximação, devido à possibilidade de uma infinidade de casos. Nesse caso específico, os modelos universal e estatístico são utilizáveis para estimar (determinar a ordem de grandeza) o volume de calda máximo armazenável nas folhas da cultura de milho, visto que, o acréscimo de outras variáveis implicaria numa maior complexidade do modelo sem ganho na estimativa do valor relativo ao atributo de interesse (nesse caso, volume máximo de calda armazenável nas folhas da cultura de milho).

Sendo assim, o termo modelo universal foi dado devido à possibilidade de sua extrapolação no caso específico de manejo, assumindo que o valor médio obtido de lâmina retida na primeira época do presente experimento pode ser utilizado na prática para a cultura de milho com até 6 folhas. Após esse estágio, poder-se-ia utilizar o valor médio das lâminas retidas na segunda e terceira épocas, sendo que o índice de área foliar pode ser estimado, nesse caso (referência: manejo), *in situ*.

Nos demais casos (os diferentes modelos mecanísticos estatísticos contemplando as diferentes combinações possíveis de equações), a rigor, mesmo no modelo universal, há embutidas equações empíricas (equação para estimar o índice de área foliar em função da população e do desenvolvimento relativo, no caso de planejamento; e equação para estimar a lâmina retida em função da população e do desenvolvimento relativo, no caso de planejamento, ou em função do índice de área foliar determinado *in situ*, no caso de manejo).

A metodologia utilizada foi adequada, porque estima a quantidade de água interceptada e retida nas folhas por diferença de massa, onde o conteúdo de água (água constitutiva) na planta é estimado em função da planta vizinha, o que possibilita uma satisfatória estimativa independentemente da arquitetura de planta, visto que outras metodologias

que utilizam coletores em diferentes alturas não apresentam a mesma adequação. Por outro lado, a rigor, necessitar-se-ia de uma balança com maior capacidade e maior precisão de medida de massa¹.

No que diz respeito à questão de escala, salienta-se ainda que, a rigor, o valor estimado do volume retido se refere à cultura, visto que todas as mensurações foram feitas ao nível de planta.

¹ Foi utilizada balança com precisão de 0.01 g.

5 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, pode-se concluir que:

- i) o índice de área foliar pode ser estimado em função da população de plantas e do desenvolvimento relativo da cultura;
- ii) a lâmina média retida pode ser estimada em função do desenvolvimento relativo da cultura;
- iii) o volume máximo de calda visando a aplicação foliar de produtos químicos na cultura de milho pode ser estimado, através dos modelos estatísticos, em função do desenvolvimento relativo da cultura e da população, bem como em função do índice de área foliar;
- iv) o modelo universal é utilizável para estimar o volume máximo de calda, tanto para fins de planejamento quanto para fins de manejo;
- v) os modelos universal e estatístico apresentam estimativas similares.

6 ANEXO: Análise estatística

Tabela 13. Análise de variância relativa ao índice de área foliar (IAF, m²/m²) correspondente ao experimento L1.

Causa da variação	Graus de liberdade	S.Q.	Q.M.	F
População (P)	2	3,32655	1,66328	12,22**
Resíduo (a)	9	1,22533	0,13615	
(Parcelas)	11			
Época (E)	2	69,42732	34,71366	569,00**
P x E	4	1,48653	0,37163	6,09**
Resíduo (b)	18	1,09815	0,06101	
Total	35	76,56388		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($\alpha=0,01$)

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha=0,05$)

R²=0,986, CV=10,81%, s=0,247, média=2,284

Tabela 14. Valores médios de índice de área foliar (IAF, m^2/m^2) para cada população (P, pl/m^2) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de IAF entre populações e entre épocas no experimento L1.

P	IAF	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	2,004	1			
2	2,142	2	0,3851		
3	2,707	3	0,0012	0,0045	
E	IAF	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	0,497	1			
2	2,473	2	0,0001		
3	3,883	3	0,0001	0,0001	
Média geral	2,284				

Tabela 16. Análise de variância relativa ao índice de área foliar (IAF, m²/m²) correspondente ao experimento L2.

Causa da variação	Graus de liberdade	S.Q.	Q.M.	F
População (P)	2	4,37162	2,18581	37,15**
Resíduo (a)	9	0,52953	0,05884	
(Parcelas)	11			
Época (E)	2	80,67551	40,33775	1139,90**
P x E	4	3,47133	0,86783	4,52**
Resíduo (b)	18	0,63697	0,03539	
Total	35	89,68496		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($\alpha=0,01$)

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha=0,05$)

R²=0,9993, CV=7,32%, s=0,188, média=2,569

Tabela 17. Valores médios de índice de área foliar (IAF, m²/m²) para cada população (P, pl/m²) e cada época de avaliação (E), e teste de comparação dos valores médios de IAF entre populações e entre épocas no experimento L2.

P	IAF	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	2,078	1			
2	2,773	2	0,0001		
3	2,855	3	0,0001	0,4309	
E	IAF	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	0,523	1			
2	3,119	2	0,0001		
3	4,064	3	0,0001	0,0001	
Média geral	2,569				

Tabela 19. Análise de variância relativa à lâmina de água retida (h, mm) correspondente ao experimento L1.

Causa da variação	Graus de liberdade	S.Q.	Q.M.	F
População (P)	2	0,00218	0,00109	2,79 ^{n.s.}
Resíduo (a)	9	0,00352	0,00039	
(Parcelas)	11			
Época (E)	2	0,00318	0,00159	14,25*
P x E	4	0,00421	0,00105	9,44**
Resíduo (b)	18	0,00201	0,00011	
Total	35	0,01510		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($\alpha=0,01$)

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha=0,05$)

$R^2=0,867$, $CV=16,11\%$, $s=0,011$, média=0,0656

Tabela 20. Valores médios de lâmina de água retida para cada população (P, pl/m²) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de lâmina de água retida entre populações e entre épocas no experimento L1.

P	h (mm)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	0,0688	1			
2	0,0548	2	0,1190		
3	0,0731	3	0,6046	0,0502	
E	h (mm)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	0,0532	1			
2	0,0676	2	0,0036		
3	0,0759	3	0,0001	0,0692	
Média geral	0,0656				

Tabela 21. Valores médios de lâmina de água retida para cada combinação população (P, pl/m²) x época de avaliação (E) no experimento L1e teste de comparação dos valores médios de lâmina de água retida entre os tratamentos P x E.

P	E	h (mm)	Número da média
1	1	0,0600	1
1	2	0,0720	2
1	3	0,0743	3
2	1	0,0450	4
2	2	0,0388	5
2	3	0,0808	6
3	1	0,0545	7
3	2	0,0920	8
3	3	0,0728	9

Pr > T H0: Média(i)=Média(j)									
i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2	0,1255								
3	0,0725	0,7667							
4	0,0598	0,0020	0,0010						
5	0,0107	0,0003	0,0002	0,4136					
6	0,0124	0,2566	0,3956	0,0001	0,0001				
7	0,4709	0,0308	0,0165	0,2195	0,0492	0,0025			
8	0,0004	0,0154	0,0288	0,0001	0,0001	0,1493	0,0001		
9	0,1050	0,9211	0,8431	0,0016	0,0002	0,2982	0,0251	0,0190	

Tabela 22. Análise de variância relativa à lâmina de água retida (h, mm) correspondente ao experimento L2.

Causa da variação	Graus de liberdade	S.Q.	Q.M.	F
População (P)	2	0,00019	0,00009	1,29 ^{n.s.}
Resíduo (a)	9	0,00066	0,00007	
(Parcelas)	11			
Época (E)	2	0,02192	0,01096	189,50**
P x E	4	0,00014	0,00003	0,59 ^{n.s.}
Resíduo (b)	18	0,00104	0,00006	
Total	35	0,02395		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($\alpha=0,01$)

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha=0,05$)

$R^2=0,957$, $CV=16,87\%$, $s=0,008$, média=0,0451

Tabela 23. Valores médios de lâmina de água retida para cada população (P, pl/m²) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de lâmina de água retida entre populações e entre épocas no experimento L2.

P	h (mm)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	0,0418	1			
2	0,0466	2	0,2084		
3	0,0468	3	0,1875	0,9447	
E	h (mm)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	0,0108	1			
2	0,0568	2	0,0001		
3	0,0677	3	0,0001	0,0026	
Média geral	0,0451				

Tabela 24. Valores médios de lâmina de água retida para cada combinação população (P, pl/m²) época de avaliação (E) no experimento L2 e teste de comparação dos valores médios de lâmina de água retida entre os tratamentos P x E.

P	E	h (mm)	Número da média
1	1	0,0090	1
1	2	0,0543	2
1	3	0,0623	3
2	1	0,0098	4
2	2	0,0608	5
2	3	0,0693	6
3	1	0,0135	7
3	2	0,0555	8
3	3	0,0715	9

Pr > T H0: Média(i)=Média(j)									
i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2	0,0001								
3	0,0001	0,1542							
4	0,8906	0,0001	0,0001						
5	0,0001	0,2424	0,7835	0,0001					
6	0,0001	0,0121	0,2095	0,0001	0,1314				
7	0,4137	0,0001	0,0001	0,4945	0,0001	0,0001			
8	0,0001	0,8188	0,2255	0,0001	0,3419	0,0198	0,0001		
9	0,0001	0,0049	0,1026	0,0001	0,0609	0,6806	0,0001	0,0081	

Tabela 25. Análise de variância relativa ao volume de água retido (Vr, l/ha) correspondente ao experimento L1.

Causa da variação	Graus de liberdade	S.Q	Q.M.	F
População (P)	2	4526426,78	2263213,39	11,39**
Resíduo (a)	9	1787811,15	198645,68	
(Parcelas)	11			
Época (E)	2	42418015,52	21209007,76	169,01**
P x E	4	2777355,66	694338,92	5,53**
Resíduo (b)	18	2258844,17	125491,34	
Total	35	53768453,28		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($\alpha=0,01$)

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha=0,05$)

$R^2=0,958$, CV=21,81%, s=354,248, média=1.623,99

Tabela 26. Valores médios de volume de água retido para cada população (P, pl/m²) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido entre populações e entre épocas no experimento L1.

P	Vr (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	1445,01	1			
2	1307,80	2	0,4701		
3	2119,16	3	0,0049	0,0016	
E	Vr (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	262,46	1			
2	1690,68	2	0,0001		
3	2918,83	3	0,0001	0,0001	
Média geral	1623,99				

Tabela 27. Valores médios de volume de água retido para cada combinação população (P, pl/m²) x época de avaliação (E) no experimento L1 e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido entre os tratamentos P x E.

	P	E	Vr (l/ha)	Número da média					
	1	1	220,63	1					
	1	2	1458,80	2					
	1	3	2655,60	3					
	2	1	217,20	4					
	2	2	954,83	5					
	2	3	2751,38	6					
	3	1	349,55	7					
	3	2	2658,40	8					
	3	3	3349,53	9					
i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2	0,0001								
3	0,0001	0,0002							
4	0,9892	0,0001	0,0001						
5	0,0089	0,0594	0,0001	0,0087					
6	0,0001	0,0001	0,7067	0,0001	0,0001				
7	0,6130	0,0003	0,0001	0,6037	0,0265	0,0001			
8	0,0001	0,0001	0,9912	0,0001	0,0001	0,7148	0,0001		
9	0,0001	0,0001	0,0126	0,0001	0,0001	0,0281	0,0001	0,0129	

Tabela 28. Análise de variância relativa ao volume de água retido (V_r , l/ha) correspondente ao experimento L2 (Lâmina: 1,3 mm).

Causa da variação	Graus de Liberdade	S.Q.	Q.M.	F
População (P))	2	2699341,04	1349670,52	15,28**
Resíduo (a)	9	794802,33	88311,37	
(Parcelas)	11			
Época (E)	2	45455516,06	22727758,03	227,42**
P x E	4	2672427,37	668106,84	6,69**
Resíduo (b)	18	1798882,86	99937,94	
Total	35	53420969,67		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($\alpha=0,01$)
 $R^2=0,966$, $CV=20,53\%$, $s=316,130$, média=1.540,15

Tabela 29. Valores médios de volume de água retido para cada população (P, pl/m²) e cada época de avaliação (E) e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido entre populações e entre épocas no experimento L2.

P	V_r (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	1153,86	1			
2	1709,74	2	0,0013		
3	1756,86	3	0,0008	0,7068	
E	V_r (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)			
		i/j	1	2	3
1	56,33	1			
2	1789,45	2	0,0001		
3	2774,68	3	0,0001	0,0001	
Média geral	1540,15				

Tabela 30. Valores médios de volume de água retido para cada combinação população (P, pl/m²) x época de avaliação (E) no experimento L2 e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido entre os tratamentos P x E.

P	E	Vr (l/ha)	Número da média						
1	1	42,10	1						
1	2	1333,35	2						
1	3	2086,13	3						
2	1	47,25	4						
2	2	2271,05	5						
2	3	2810,45	6						
3	1	79,50	7						
3	2	1763,95	8						
3	3	3427,48	9						
Pr > T H0: Média(i)=Média(j)									
i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2	0,0001								
3	0,0001	0,0034							
4	0,9802	0,0001	0,0001						
5	0,0001	0,0005	0,4189	0,0001					
6	0,0001	0,0001	0,0045	0,0001	0,0267				
7	0,8702	0,0001	0,0001	0,8898	0,0001	0,0001			
8	0,0001	0,0700	0,1667	0,0001	0,0358	0,0002	0,0001		
9	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0129	0,0001	0,0001	

Tabela 31. Análise de variância conjunta para os experimentos L1 (Lâmina: 3,6 mm) e L2 (Lâmina: 1,3 mm) relativa ao volume de água retido (Vr, l/ha).

Causa da variação	Graus de Liberdade	S.Q.	Q.M.	F
Lâmina (L)	1	126512,88	126512,88	0,88 ^{n.s.}
População (P)	2	5086760,41	2543380,20	17,73**
L x P	2	2139007,41	1069503,71	7,45**
Resíduo (a)	18	2582613,49	143478,53	
(Parcelas)	23			
Épocas (E)	2	87561884,42	43780942,21	388,42**
P x E	4	1995343,09	498835,77	4,43**
L x E	2	311647,16	155823,58	1,38 ^{n.s.}
E x L x P	4	3454439,94	863609,99	7,66**
Resíduo (b)	36	4057727,03	112714,64	
Total	71	107315935,83		

** Significativo ao nível de 1% de probabilidade ($\alpha=0,01$)

* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ($\alpha=0,05$)

$R^2=0,962$, $CV=21,22\%$, $s=335,730$, média=1.582,07

Tabela 32. Valores médios de volume de água retido para população (P, pl/m²), lâmina aplicada (L), lâmina x população e época de avaliação, segundo a análise conjunta dos experimentos L1 e L2; e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido.

P	Vr (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)							
		i/j	1	2	3				
1	1299,43	1							
2	1508,77	2	0,0716						
3	1938,01	3	0,0001	0,0010					
L	Vr (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)							
		i/j	1	2					
1	1623,99	1							
2	1540,15	2	0,3602						
L	P	Vr (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)						
			I/j	1	2	3	4	5	6
1	1	1445,01	1						
1	2	1307,80	2	0,3866					
1	3	2119,16	3	0,0004	0,0001				
2	1	1153,86	4	0,0760	0,3327	0,0001			
2	2	1709,74	5	0,1041	0,0181	0,0164	0,0021		
2	3	1756,86	6	0,0589	0,0095	0,0308	0,0011	0,7641	
E	Vr (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)							
		i/j	1	2	3				
1	159,39	1							
2	1740,06	2	0,0001						
3	2846,76	3	0,0001	0,0001					

Tabela 33. Valores médios de volume de água retido para população (P, pl/m²) x época de avaliação (E) e lâmina aplicada (L, mm) x época de avaliação, segundo a análise conjunta dos experimentos L1 (3,6 mm) e L2 (1,3 mm) e teste de comparação dos valores médios de volume de água retido.

P	E	Vr (l/ha)	Número da média
1	1	131,36	1
1	2	1.390,75	2
1	3	2378,63	3
2	1	132,46	4
2	2	1619,38	5
2	3	2789,13	6
3	1	214,35	7
3	2	2211,75	8
3	3	3385,00	9

Pr > T H0: Média(i)=Média(j)									
i/j	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1									
2	0,0001								
3	0,0001	0,0001							
4	0,9948	0,0001	0,0001						
5	0,0001	0,2046	0,0001	0,0001					
6	0,0001	0,0001	0,0196	0,0001	0,0001				
7	0,6240	0,0001	0,0001	0,6286	0,0001	0,0001			
8	0,0001	0,0001	0,3478	0,0001	0,0011	0,0017	0,0001		
9	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0009	0,0001	0,0001	

L	E	Vr (l/ha)	Pr > T H0: Média(i)=Média(j)						
			I/j	1	2	3	4	5	6
1	1	262,45833	1						
1	2	1690,67500	2	0,0001					
1	3	2918,83333	3	0,0001	0,0001				
2	1	56,32500	4	0,1413	0,0001	0,0001			
2	2	1789,45000	5	0,0001	0,4758	0,0001	0,0001		
2	3	2774,68333	6	0,0001	0,0001	0,2999	0,0001	0,0001	

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Sistema de irrigação por aspersão pivô central - caracterização de desempenho/método de ensaio**: projeto de norma 12:02.08-005. Rio de Janeiro, 1985. 9p.
- BOARETTO, A.E.; ROSOLÉM, C.A. Adubação foliar: conceituação e prática. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ADUBAÇÃO FOLIAR, 2, Botucatu, 1987. p.161-180.
- BULL, L.T. Nutrição mineral do milho. In: **Cultura do milho**: fatores que afetam a produtividade. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.63-145.
- CAMARGO, P.N. de; SILVA, O. **Manual de adubação foliar**. São Paulo: **Herba**, 1990. 256p.
- CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Experiment Station, 1942. (Bulletin n 570).
- COELHO, A.M. Fertigação. In: **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994. p.201-227.
- CONTE, M. L.; LEOPOLDO, P.R. Estimativa da retenção de água de chuva pela cultura de milho. Botucatu, **Engenharia Agrícola**, v. 10, n. 1, p.47-55, 1986.

DA SILVA, C.L.; RAMOS, M.M.; FERREIRA, P.A.; SEDIYAMA, G.C.; LOUREIRO, B.T. Medição e simulação da interceptação foliar da água na cultura de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 29, n. 11, p.1735-1741, 1994.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A.L. Manejo da água na cultura de milho: aspectos teóricos fundamentais. In: FANCELLI, A.L.; DOURADO NETO, D. (Coord.) **Tecnologia da produção de milho**. Piracicaba, Publique, 1997. p.141-156.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Programa Nacional de pesquisa de milho**. Brasília: EMBRAPA, DID, 1981. 50 p.

FANCELLI, A.L. **Plantas alimentícias**: guia para aula, estudos e discussão. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1986a. 131p.

FANCELLI, A.L. **Plantas Alimentícias**: guia para aula, estudos e discussão. Centro Acadêmico “Luiz de Queiroz”- ESALQ-USP. 1986b. 131p.

FANCELLI, A.L. **Tecnologia da produção do milho para alta produtividade**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1994. 223p.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Milho irrigado**: considerações gerais para manejo. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1992. 5p.

FANCELLI, A.L.; LIMA, U.A. **Milho**: Produção, pré-processamento e transformação agroindustrial. Piracicaba: FEALQ, s.d., 112p. (Série Extensão Agroindustrial, 5).

FOLEGATTI, M.V. Irrigação. In: FANCELLI, A.L.; FOLEGATTI, M.V., (Ed.) **Sistema de produção para milho e feijão irrigados**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura; Departamento de Engenharia Rural, 1994. p.1.

- FOLEGATTI, M.V.; PAZ, V.P.; MUNDIN, P.M. Intercepção foliar da lâmina de irrigação na cultura do milho sob aspersão convencional. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Poços de Calda, 1998. Poços de Calda: SBEA, 1998. **Anais**. v.2, p.19-21.
- GIRARDIN, P. The "funnel effect" of a maize canopy. In: EUROPEAN SOCIETY FOR AGRONOMY CONGRESS, 2, Warwick, 1992. **Proccedings**. Colmar: ESA, 1992. p.76-77.
- GOODMANN, M.M.; SMITH, J.S.C. Botânica do milho. In: **Melhoramento e produção do milho no Brasil**. Piracicaba: Fundação Cargill, 1978. p.32-70.
- JUNQUEIRA NETTO, A. Fungigação. In: FANCELLI, A.L. (coord.). A CULTURA DO FEIJÃO IRRIGADO. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1990. p.105-113.
- LEON NEW, L.I. Introduction: Why chemigate?. In: **Chemigation**. workbook. Texas, Agriculture Extension Service, 1990. p. I-1.
- LEOPOLDO, P.R. Aspectos hidrológicos de Floresta Amazônica densa na região de Manaus. Botucatu, 1981. 111p., Tese (Livre Docência)-Universidade Estadual Paulista "Julho de Mesquita Filho".
- LEOPOLDO, P.R.; SOUSA, A.P.; TUACEK FILHO, S. Intercepção da água de chuva em cultura de cana-de-açúcar. **Brasil Açucareiro**, v. 98, n. 6, p.9-16, 1981.
- LIMA, W.P. Intercepção da chuva em povoamentos de eucalipto e pinheiro. **IPEF**, v. 13, p.75-90, 1976.

LINSLEY, R.K.; KOHLER, M.A.; PAULHUS, J.L.H. **Applied hydrology**. New York, McGraw-Hill, 1949. 689p.

McMASTER, G.M.; DOUGLAS, D.R. Fungicide application through sprinkler irrigation system. **Transations of the ASAE**, v. 19, n. 2, p.1041-1044, 1976.

MIRANDA, R.A.C.; BUTLER, D.R. Interception of rainfall in a hedgerow apple orchard. **Journal of Hidrology**, v. 87, p.245-253, 1986.

MUNDIM, P.M. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na presença da cultura do milho. Piracicaba, 1996. 82p. Dissertação (Mestrado)-Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

PURSEGLOVE, J.W. **Tropical crops**. monocotyledons I. New York, John Wiley, 1972. 334 p.

RAO, A.S. Interception losses of rainfall from cashew trees. **Journal of Hidrology**, v.90, p.293-301, 1987.

RESENDE, M.; ALVES, V.M.C.; FRANÇA, G.E.; MONTEIRO, J.A. Manejo de irrigação e fertilizantes na cultura do milho. **Informe Agropecuário**, v. 14, n. 164, p.26-34, 1990.

RESENDE, M.; FRANÇA, G.E.; ALVES, V.A.C. Cultura do milho irrigado. In: **Cultura de milho: FATORES QUE AFETAM A PRODUTIVIDADE**. Piracicaba: POTAFOS, 1993. p.238-248.

STEINER, J.L.; KANEMASU, E. T.; CLARK, R.N. Spray losses and partitioning of water under a center pivot sprinkler system. **Transations of the ASAE**, v. 26, n. 4, p.1128-1134, 1983.

STONE, K.C.; STANSELL, J.R.; YOUNG, J.R. Insecticide distribution through an irrigated corn canopy. **Transations of the ASAE**, v. 37, n. 1, p.135-138, 1994.

THREADGILL, E.D. Chemigation via sprinkler irrigation: current status and future development. **Applied Engineering in Agriculture**. v. 1, n. 1, p.16-23, 1985.

VIANA, P.A. Insetigação. In: **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994. p.249-268.

VICTÓRIA FILHO, R. Controle de plantas daninhas na cultura de feijão (*Phaseolus vulgaris*). In: FANCELLI, A.L. (Coord.). A CULTURA DO FEIJÃO IRRIGADO. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Agricultura, 1990. p.95-103.

VIEIRA, R.F. Introdução à quimigação. In: **Quimigação**: aplicação de produtos químicos e biológicos via irrigação. Brasília: EMBRAPA, SPI, 1994. p.13-40.

APÊNDICE: Valores observados e estimados de índice de área foliar (IAF, m^2/m^2), lâmina de água retida (h, mm) e volume máximo retido de água (Vr, l/ha) pelos diferentes modelos

Tabela 34. Valores observados (IAFo, m^2/m^2) e estimados (IAFe, m^2/m^2) do índice de área foliar em função do desenvolvimento relativo (Dr) e da população de plantas (P, pl/m^2), desvio (d) entre os valores observados e estimados, erro relativo (Er, %), e limites inferior (LIic) e superior (LSic) do intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade.

Id	Dr	P	IAFo	IAFe	d	Er, %	95%, LIic	95%, LSic
1	0	4,1176	0	0,000394	-0,00039	-	-0,42413	0,424915
2	0	5,2941	0	0,000935	-0,00093	-	-0,32195	0,323822
3	0	6,4706	0	0,001471	-0,00147	-	-0,45358	0,456521
4	0,205	4,1176	0,42	0,433932	-0,01393	-3,31717	0,04348	0,824384
5	0,205	5,2941	0,50	0,511196	-0,01196	-2,39202	0,18584	0,83808
6	0,205	6,4706	0,61	0,589332	0,020668	3,38821	0,154769	1,023895
7	0,325	4,1176	2,25	2,370091	-0,12009	-5,33739	1,976028	2,764154
8	0,325	5,2941	3,12	2,794175	0,325825	10,44312	2,378827	3,209522
9	0,325	6,4706	3,02	3,214692	-0,19469	-6,44675	2,771376	3,658008
10	0,465	4,1176	3,46	3,373907	0,086093	2,488233	2,88571	3,862104
11	0,465	5,2941	3,75	3,977406	-0,22741	-6,06415	3,484109	4,470703
12	0,465	6,4706	4,71	4,575829	0,134171	2,848642	4,068079	5,083579

Tabela 35. Valores observados (ho, mm) e estimados (he, mm) da lâmina de água retida em função do índice de área foliar (IAF, m²/m²), desvio (d) entre os valores observados e estimados, erro relativo (Er, %), e limites inferior (LIic) e superior (LSic) do intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade.

Id	IAF	ho	he	d	Er, %	95%, LIic	95%, LSic
1	0,365	0,06	0,024741	0,035259	58,76471	0,012378	0,037104
2	0,478	0,009	0,030497	-0,0215	-238,857	0,016434	0,04456
3	0,493	0,045	0,031206	0,013794	30,65395	0,016971	0,045441
4	0,5	0,01	0,031532	-0,02153	-215,322	0,01722	0,045844
5	0,59	0,014	0,0355	-0,0215	-153,573	0,020407	0,050594
6	0,633	0,055	0,037254	0,017746	32,26562	0,021907	0,052601
7	2,045	0,072	0,064773	0,007227	10,03703	0,054234	0,075312
8	2,45	0,054	0,067244	-0,01324	-24,5259	0,057161	0,077327
9	2,5	0,039	0,067476	-0,02848	-73,0147	0,057387	0,077565
10	2,87	0,092	0,068828	0,023172	25,1866	0,058437	0,07922
11	3,17	0,056	0,069568	-0,01357	-24,2289	0,058752	0,080384
12	3,31	0,062	0,069834	-0,00783	-12,6359	0,058806	0,080863
13	3,43	0,081	0,07003	0,01097	13,54308	0,058821	0,081239
14	3,6	0,074	0,070265	0,003735	5,047847	0,058809	0,081721
15	3,74	0,061	0,070426	-0,00943	-15,4519	0,058778	0,082073
16	4,08	0,069	0,070723	-0,00172	-2,49695	0,058665	0,082781
17	4,62	0,073	0,071008	0,001992	2,728465	0,058465	0,083552
18	4,802	0,072	0,07107	0,00093	1,291097	0,058404	0,083737

Tabela 36. Valores observados (Vro, mm) e estimados (Vre, l/ha) de volume de água retida em função do índice de área foliar (IAF, m²/m²), desvio (d) entre os valores observados e estimados, erro relativo (Er, %), e limites inferior (LIic) e superior (LSic) do intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade.

Id	IAF	Vro	Vre	d	Er, %	95%, LIic	95%, LSic
1	0,37	220,63	244,1514	-23,5214	-10,661	220,7839	267,5189
2	0,48	42,01	316,7369	-274,727	-653,956	286,4223	347,0516
3	0,49	217,2	323,3356	-106,136	-48,8654	292,3894	354,2818
4	0,5	47,73	329,9343	-282,204	-591,251	298,3566	361,5121
5	0,59	79,15	389,3225	-310,172	-391,879	352,0607	426,5842
6	0,63	349,55	415,7172	-66,1672	-18,9293	375,9293	455,5052
7	2,05	1458,8	1352,731	106,0694	7,271001	1223,262	1482,199
8	2,45	1333,35	1616,678	-283,328	-21,2493	1461,947	1771,409
9	2,51	954,83	1656,27	-701,44	-73,4623	1497,75	1814,79
10	2,87	2658,4	1893,823	764,5771	28,7608	1712,567	2075,079
11	3,17	1763,95	2091,783	-327,833	-18,5852	1891,581	2291,986
12	3,31	2086,13	2184,165	-98,0351	-4,69938	1975,12	2393,21
13	3,43	2751,38	2263,349	488,0307	17,73767	2046,726	2479,973
14	3,6	2655,6	2375,527	280,073	10,54651	2148,167	2602,887
15	3,74	2271,1	2467,909	-196,809	-8,66578	2231,707	2704,11
16	4,08	2810,45	2692,264	118,1861	4,205237	2434,59	2949,938
17	4,62	3349,53	3048,593	300,937	8,984456	2756,815	3340,371
18	4,8	3427,48	3167,369	260,1107	7,588978	2864,223	3470,516

Tabela 37. Valores observados (V_{ro} , m^2/m^2) e estimados (V_{re} , m^2/m^2) de volume de água retida em função do desenvolvimento relativo (Dr) e da população de plantas (P , pl/m^2), desvio (d) entre os valores observados e estimados, erro relativo (Er , %), e limites inferior (L_{lic}) e superior (L_{Sic}) do intervalo de confiança ao nível de 95% de probabilidade.

Id	Dr	P	Vro	Vre	d	Er, %	95%, L_{lic}	95%, L_{Sic}
1	0	4,1176	0	0,748898	-0,7489	-	-155,457	156,9548
2	0	5,2941	0	7,339434	-7,33943	-	-122,896	137,5745
3	0	6,4706	0	20,39378	-20,3938	-	-170,36	211,1473
4	0,205	4,1176	145,77	127,8068	17,96323	12,32299	-23,5037	279,1172
5	0,205	5,2941	134,74	153,8787	-19,1387	-14,2042	23,91617	283,8413
6	0,205	6,4706	208,34	205,5213	2,818691	1,352929	18,51166	392,531
7	0,325	4,1176	1415,99	1440,508	-24,518	-1,73151	1287,608	1593,408
8	0,325	5,2941	1548,68	1667,853	-119,173	-7,69512	1508,252	1827,453
9	0,325	6,4706	2229,36	2118,171	111,1895	4,987507	1937,106	2299,235
10	0,465	4,1176	2378,8	2365,979	12,82083	0,538962	2162,767	2569,191
11	0,465	5,2941	2810,54	2735,224	75,31623	2,679778	2530,942	2939,506
12	0,465	6,4706	3398,24	3466,613	-68,3727	-2,012	3254,816	3678,409