

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

UFSM
Biblioteca Central

MANEJO DE IRRIGAÇÃO DAS CULTURAS DE BATATA, PÊRA E
MAÇÃ NO URUGUAI

TESE DE DOUTORADO

Claudio García Gallárreta

UFSM
Biblioteca Central

Santa Maria, RS, Brasil

2006

UFSM
Biblioteca Central

UFSM
CCR
2006
G. Z. B. M.

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO DAS CULTURAS DE BATATA, PÊRA E
MAÇÃ NO URUGUAI**

por

UFSM
Biblioteca Central

Claudio García Gallárreta

Tese apresentada ao Curso de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Solos e Água, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

UFSM
Biblioteca Central

Orientador: Prof. Reimar Carlesso

Santa Maria, RS, Brasil

2006

040408

UFSM
Biblioteca Central

00016683

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada,
aprova a Tese de Doutorado

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO DAS CULTURAS DA BATATA, PÊRA E
MAÇÃ NO URUGUAI**

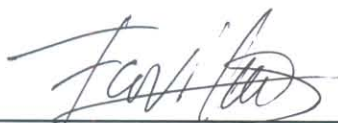
elaborada por
Claudio García Gallárreta

como requisito parcial para obtenção do grau de
Doutor em Engenharia Agrícola

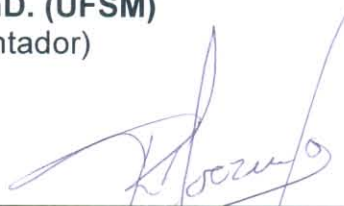
COMISSÃO EXAMINADORA:



Reimar Carlesso, PhD. (UFSM)
(Presidente/Orientador)



Francisco Vilaró, PhD. (INIA-Uruguay)



Roberto Docampo, Dr. (INIA-Uruguay)



Dílson Bisognin, PhD. (UFSM)



Mirta Petry, Dra. (UFSM)

Santa Maria, 17 de janeiro de 2006.

A minha esposa Estela, que com grande sacrifício acompanhou-me nestes anos de estudos,

A meus filhos, Carolina, Rodrigo e Ana Paula,

A meus pais, Rosendo e Maria Rosa...

DEDICO este trabalho

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA) do Uruguai pela oportunidade da realização deste curso de pós-graduação.

Ao Programa bolsista PEC-PG da CAPES-CNPq pela bolsa de estudo que permitiu a possibilidade de realizar meus estudos no Brasil.

A Universidade Federal de Santa Maria, ao CCR e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola.

Ao Prof. Reimar Carlesso pela orientação do trabalho, importante contribuição a minha formação científica e pela sua amizade de tantos anos.

Ao colega e grande amigo Marcelo Calgaro e sua noiva Tatiane Bernardon, pela colaboração e grande amizade além de permitir compartilhar grandes momentos juntos, pessoas imprescindíveis no decorrer destes anos de estadia no Brasil.

Ao colega do INIA “Las Brujas” , Roberto Docampo, pelo apoio e colaboração nas diferentes etapas dos anos de estudo.

Aos colegas Mirta Petry e Renato Spohr pela sua ajuda e colaboração nas correções deste trabalho.

A todos aqueles de uma ou outra maneira colaboraram para que o trabalho chegasse ao seu fim.

RESUMO

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Santa Maria

MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA BATATA, PÊRA E MAÇÃ NO URUGUAI

Autor: Claudio García Gallárreta

Orientador: Reimar Carlesso

Data e Local da Defesa: Santa Maria, 17 de janeiro de 2006.

O objetivo deste experimento foi avaliar modificações morfológicas e de produtividade das culturas de batata, pêra e maçã submetidas a diferentes manejos da água de irrigação baseados na evapotranspiração máxima acumulada de cada cultura. Os experimentos foram conduzidos nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04 em áreas comerciais, no Sul do Uruguai. O experimento de irrigação da batata foi realizado em três locais, em cada ano, na região de San José. Os locais no ano agrícola de 2002/03 foram assim distribuídos: (i) em Libertad em uma área irrigada por pivô central e, outra com autopropelido e, (ii) Colônia Galland, em uma área irrigada com sistema linear. No ano agrícola 2003/04 os locais foram: (i) em Libertad em uma área irrigada por autopropelido; (ii) em Rincón del Pino em uma área irrigada por autopropelido e; (iii) em Colônia Galland em uma área irrigada por sistema linear. Os experimentos de irrigação em pêra e maçã foram realizados em pomares comerciais, no ano agrícola de 2003/04 (Rincón del Colorado). Todos os experimentos foram conduzidos no delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições. As plantas de batata foram submetidas a três manejos da água de irrigação. Na área irrigada por pivô central foram aplicados dois

tratamentos de manejo da água de irrigação (15 mm e uma testemunha sem irrigação). Irrigações foram aplicadas quando a evapotranspiração máxima da cultura, estimada pelo método de Penman-Monteith, atingia um valor acumulado de 35 mm. Nos experimentos de irrigação de pêra e maçã, as árvores foram submetidas a três manejos da água de irrigação (irrigações foram aplicadas quando a evapotranspiração máxima acumulada da cultura atingia valores de 30, 45 e 60 mm). Diferenças foram observadas para índice de área foliar e altura de plantas de batata entre os tratamentos de manejos de irrigação aos 70 dias após emergência (DAE) e aos 62 e 70 DAE, respectivamente, no local Libertad (autopropelido) no ano agrícola 2002/03. A produção de batata apresentou comportamento quadrático com a máxima eficiência técnica de 43 ton ha⁻¹ com a aplicação de 143 mm de lâmina de irrigação na Colônia Galland no ano agrícola de 2003/04, e, no local Libertad foi observado 39 ton ha⁻¹ e 47 ton ha⁻¹ com a aplicação de 98 e 144 mm de lâmina de irrigação, no ano agrícola 2002/03 e 2003/04, respectivamente. Na análise geral da variância de todos os locais nos dois anos, o manejo da água de irrigação com aplicação de 25 mm de lâmina toda vez que a ET_{ma} atingia valores de 35 mm resultou em produtividades mais altas. Verificou-se a máxima eficiência técnica (48 ton ha⁻¹) com a aplicação de uma lâmina de irrigação de 137 mm. A produção de batata nos tratamentos sem irrigação foi 27,8 ton ha⁻¹, o que representou uma redução de 42% em relação aos tratamentos irrigados. No experimento de irrigação de pêra não foram observadas diferenças significativas no crescimento do diâmetro das frutas, seção transversal da área do tronco, altura de planta e volume de copa, entre os diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação. A máxima eficiência técnica (58,8 ton ha⁻¹) para a produção total de frutos de pêra foi verificada com a aplicação de irrigação de 8 mm sempre que a evapotranspiração máxima acumulada

da cultura atingia 35 mm de lâmina acumulada. No experimento de irrigação de maçã não foram observadas diferenças significativas para o diâmetro das frutas, seção transversal da área do tronco, altura de planta e volume de copa, entre os diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação. A máxima eficiência técnica (70 ton ha^{-1}) para a produção total de frutos de maçã foi verificada com a aplicação de irrigação de 8 mm sempre que a evapotranspiração máxima acumulada da cultura atingia 45 mm de lâmina acumulada.

Palavras chaves: manejo de irrigação, lâmina de água, índice de área foliar, evapotranspiração máxima.

ABSTRACT

Doctoral Thesis
Graduate Program in Agricultural Engineering
Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

IRRIGATION MANAGEMENT OF POTATO, PEAR AND APPLE IN URUGUAY

Author: Claudio García Gallárreta

Advisor: Reimar Carlesso

Local and Date: Santa Maria, January 17th, 2006.

The objective of this work was to evaluate the utilization of different values of maximum crop evapotranspiration as irrigation trigger on growth, yield and yield components of potato, pear and apple plants. Experiments were conducted during 2002/03 and 2003/04 growing season in commercial fields, in southern Uruguay. Potato irrigation experiments were conducted in three areas each year, in San José County. In 2002/03 growing season experiments were located: (i) Libertad, in an area irrigated with central pivot, and other with a big gun and (ii) Colônia Galland, an area irrigated with lateral system. In 2003/04 growing season the experiments were located: (i) Libertad, in an area irrigated with a big gun; (ii) Rincón del Pino, an area irrigated with big gun and, (iii) Colônia Galland, an area irrigated with lateral system. Irrigation experiments in pear and apple were conducted in commercial orchards during 2003/04 growing season. A completely randomized design was used with three replications. Potato plants were submitted to three irrigation treatments during

the two years. Potato plants in an irrigation area with central pivot were submitted to two treatments (15 mm irrigation depth and no irrigation). Irrigations were applied when cumulative daily maximum crop evapotranspiration (ET_{ma}), estimated by the Penman-Monteith equation, reached the value of 35 mm. In the pear and apple irrigation experiments plants were submitted to three irrigated treatments: Irrigations were applied when ET_{ma} reached 30, 45 and 60 mm. Results demonstrated that there were differences in leaf area index and plant height of potato at 70 DAE, and 62 and 70 DAE, respectively in Libertad area (2002/03 growing season). Total potato yield presented maximum technical efficiency (43 ton ha⁻¹) with the application of 143 mm of irrigation depth in Colônia Galland area in 2003/04 growing season, and in Libertad reached 39 ton.ha⁻¹ and 47 ton.ha⁻¹ in 2002/03 and 2003/04 growing season with the application of 98 and 144 mm, respectively. Irrigation management applying 25 mm of irrigation depth always when ET_{ma} reached values of 35 mm, resulted in highest yield. Maximum technical efficiency (48 ton ha⁻¹) was verified with the application of 137 mm of irrigation depth. Potato yield in treatments without irrigation was 27.8 ton.ha⁻¹, 42% of yield reduction compared with irrigated treatments. In the irrigation pear experiment no differences were observed for fruit growth, height plants, plant canopy and trunk cross area section among all irrigation management tested. The maximum technical efficiency for total yield (58,8 ton ha⁻¹) was verified for irrigation depth of 8 mm when cumulative maximum crop evapotranspiration reached value of 35 mm as irrigation trigger. In the apple irrigation experiment no differences were observed for fruit growth, height plants, plant canopy and trunk cross area section among all irrigation managements tested. A máxima eficiência técnica (70 ton ha⁻¹) para a produção total de frutos de maçã foi verificada com a aplicação de irrigação de 8 mm sempre que a evapotranspiração máxima acumulada da cultura

atingia 45 mm de lâmina acumulada. The maximum technical efficiency for total yield (70 ton ha⁻¹) was verified for irrigation depth of 8 mm when cumulative maximum crop evapotranspiration reached value of 45 mm as irrigation trigger.

Keywords: irrigation management, irrigation depth, leaf area index, maximum evapotranspiration.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Classificação dos solos e coordenadas geográficas para os diferentes locais dos experimentos de batata submetida a diferentes manejos da água de irrigação.....	38
TABELA 2 - Data de plantio da batata, manejos da água de irrigação aplicados e sistemas de irrigação utilizados durante o desenvolvimento da cultura de batata submetida a diferentes manejos da água de irrigação.....	41
TABELA 3 - Data de floração das plantas de pêra, manejos de água de irrigação aplicados e sistemas de irrigação utilizados durante o desenvolvimento do pomar de pêra.....	46
TABELA 4 - Valores de infiltração de água no solo a partir da equação de Kostiakov, para cada uma das diferentes áreas analisadas.....	49
TABELA 5 - Densidade dos solos, porosidade total, macro e microporosidade (Unidades Argiudolls e Albolls). Valores médios de cinco repetições. Uruguai, 2005.....	52
TABELA 6 - Quadrados médio da análise de variância para o índice de área foliar de batata aos 42, 62 e aos 70 dias após à emergência da cultura. Libertad (autopropelido), ano agrícola 2002/03.....	55
TABELA 7 - Quadrados médio da análise de variância para altura de plantas de batata aos 62 e aos 70 dias após à emergência da cultura (DAE), no local Libertad (autopropelido), onde foram aplicados os manejos da água de irrigação, no ano agrícola de 2002/03.....	57
TABELA 8 - Lâmina aplicada em cada irrigação, recomendação de irrigação, irrigações aplicadas pelo produtor e as precipitações pluviais ocorridas em cada local onde foram aplicados os diferentes manejos da água de irrigação.....	68
TABELA 9 - Quadrados médio da análise de variância para rendimento total de batata para cada um dos locais onde foram aplicados os manejos da água de irrigação, nos anos agrícolas 2002/03 e 2003/04.....	70
TABELA 10 - Quadrados médio da análise da variância para rendimento total de batata de todos os locais onde foram aplicados os manejos da água de	

irrigação, nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.....	73
TABELA 11 - Porcentagem em massa fresca de tubérculos para diferentes manejos de irrigação aplicados, nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.....	74
TABELA 12 - Quadrado médio da análise de variância da regressão para a distribuição das porcentagens de massa fresca de tubérculo nas diferentes categorias nos distintos manejos de água de irrigação aplicados nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.....	75
TABELA 13 - Equações de infiltração de água no solo a partir da equação de Kostiakov, para os dois locais onde foram instalados o experimento de pêra, 2005.....	79
TABELA 14 - Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade no solo com cultivo de pêra (Unidade Argiudolls). Valores médios de cinco repetições.....	81
TABELA 15 - Secção transversal da área do tronco, altura de plantas e volume de copa no cultivo de pêra submetido a diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.....	84
TABELA 16 - Quadrado médio da análise de variância da seção transversal do tronco, altura de planta área da árvore e volume de copa no cultivo de pêra submetido a diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.....	85
TABELA 17 - Lâmina de irrigação recomendada, irrigações aplicadas pelo produtor e precipitações pluviais ocorridas nos locais Arocena e Kasek, para o cultivo de pêra submetido a diferentes tratamentos de manejos da água de irrigação.....	90
TABELA 18 - Distribuição do tamanho de fruta de pêra, como porcentagem em massa fresca, segundo as diferentes categorias de diâmetro equatorial de pêra William's submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação...	91
TABELA 19 - Resultado do quadrado médio da análise da variância para rendimento total de fruta de pêra para três tratamentos de manejo da água de irrigação.....	92
TABELA 20 - Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade no solo cultivado com maçã (Unidade Argiudolls). Valores médios de cinco repetições.....	97

TABELA 21 - Quadrado médio da análise de variância da seção transversal do tronco, e volume de copa de plantas de maçã submetidas a diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.....	101
TABELA 22 - Lâmina de irrigação recomendada, lâmina de irrigação aplicada pelo produtor e as precipitações pluviais ocorridas durante o cultivo de maçã submetido a diferentes tratamentos de manejos da água de irrigação.....	104
TABELA 23 - Distribuição porcentual do tamanho dos frutos de maçã segundo as diferentes categorias de diâmetro equatorial, variedade maçã Royal Gala submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação.....	105
TABELA 24 - Quadrado médio da análise da variância para rendimento de fruta exportável de maçã submetida a três tratamentos de irrigação.....	106

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Figura 1. Mapa georeferenciado dos locais onde foram instalados os experimentos de irrigação nos anos 2002-03 e 2003-04.....	39
Figura 2 - Sistema de irrigação (linear) utilizada no local em Colônia Galland, no experimento de batata submetida a diferentes manejos de água de irrigação.....	42
Figura 3 – Sistema de irrigação (autopropelido) utilizada no local em Libertad, no experimento de batata submetida a diferentes manejos de água de irrigação.....	43
Figura 4 – Sistema de irrigação (pivô central) utilizado no local em Libertad, no experimento de batata submetida a diferentes manejos de água de irrigação.....	43
Figura 5 - Vista aérea do pomar de pêra utilizado para aplicar os diferentes manejos da água de irrigação.....	45
Figura 6 - Vista aérea do pomar de maçã utilizado para aplicar os diferentes manejos da água de irrigação.....	47
Figura 7 - Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo Arguidolls, local Colônia Galland (Linear), anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.....	50
Figura 8 - Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo de Albolls, local Libertad (autopropelido), anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.....	50
Figura 9 - Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo Albolls, local Libertad (pivô central), no ano agrícola de 2002/03.....	51
Figura 10 - Curva característica de água no solo Arguidolls da Colônia Galland (linear). Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.....	53
Figura 11 - Curva característica de água no solo Albolls de Libertad (autopropelido). Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.....	53
Figura 12 - Curva característica de água no solo Albolls de Libertad (pivô central). Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.....	54

Figura 13 - Curva característica de água no solo Albolls de Rincón del Pino (autopropelido). Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.....	54
Figura 14 - Índice de área foliar (IAF) das plantas de batata aos 70 DAE submetidas a diferentes manejos de irrigação no local Libertad (autopropelido), no ano agrícola 2002/03.....	56
Figura 15 - Evolução da altura de plantas de batata aos 62 e aos 70 dias após a emergência nos diferentes manejos da água de irrigação aplicados no local de Libertad (autopropelido) no ano agrícola 2002/03.....	58
Figura 16 - Diferença entre ET _{ma} e precipitação (chuva + irrigações) para os diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura de batata. Local Colônia Galland ano agrícola de 2003/04.....	60
Figura 17 - Diferença entre ET _{ma} e água total recebida (chuva + irrigações) nos diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura de batata. Local Libertad ano agrícola de 2003/04.....	61
Figura 18 - Diferença entre ET _{ma} e lâmina de água total recebida (chuva + irrigações) nos diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura de batata. Local Libertad ano agrícola de 2002/03.....	62
Figura 19 - Diferença entre ET _{ma} e lâmina de água total recebida (chuva + irrigações) nos diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura de batata. Local Rincón del Pino ano agrícola de 2003/04.....	63
Figura 20 - Valores de evapotranspiração máxima acumulada (ET _{ma}), água aplicada via irrigação e precipitações pluviais ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata submetida a três diferentes manejos da água de irrigação, Colônia Galland, no ano agrícola de 2003/04.....	64
Figura 21 - Valores de evapotranspiração máxima acumulada (ET _{ma}), água aplicada via irrigação e precipitações pluviais ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata submetida a três diferentes manejos da água de irrigação, Libertad, no ano agrícola de 2002/03.....	65
Figura 22 - Valores de evapotranspiração máxima acumulada (ET _{ma}), água aplicada via irrigação e precipitações pluviais ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata submetida a três diferentes manejos da água de irrigação, Libertad, no ano agrícola de 2003/04.....	66

Figura 23 - Valores de evapotranspiração máxima acumulada (ET _{ma}), água aplicada via irrigação e precipitações pluviais ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata submetida a três diferentes manejos da água de irrigação, Rincón del Pino, no ano agrícola de 2003/04.....	67
Figura 24 - Rendimento total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação. Colônia Galland (linear), no ano agrícola de 2003/04.....	71
Figura 25. Rendimento total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação. Libertad (autopropelido), no ano agrícola de 2002/03.....	71
Figura 26. Rendimento total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação. Libertad (autopropelido), no ano agrícola de 2003/04.....	72
Figura 27. Rendimento total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação. Rincón del Pino (autopropelido), no ano agrícola de 2003/04.....	72
Figura 28 - Relação entre a lâmina de água aplicada via irrigação e o rendimento total de batata em todas as áreas e nos dois anos de experimentação.....	77
Figura 29 - Relação entre a lâmina de água total aplicada (irrigação + chuvas) e a produção total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação aplicados em todas as áreas e nos dois anos de experimentação.....	78
Figura 30 - Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo cultivado com pêra, local Kasek.....	80
Figura 31 - Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo cultivado com pêra, local Arocena.....	80
Figura 32 - Curva característica de água no solo Arguidoll, local Kasek. Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.....	82
Figura 33 - Curva característica de água no solo Arguidoll, local Arocena. Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.....	82
Figura 34 - Evolução do crescimento de fruta de pêra (média de cinco frutas) submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação.....	83
Figura 35. Diferença entre a evapotranspiração máxima ET _{ma} e a precipitação total recebida (precipitação pluvial + irrigações) nos diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação das plantas de pêra, local Arocena.	86
Figura 36. Diferença entre evapotranspiração máxima (ET _{ma}) e a precipitação total recebida (precipitação pluvial + irrigações) nos diferentes manejos da	

água de irrigação das plantas de pêra, local Kasek.	87
Figura 37. Evapotranspiração máxima acumulada (ET _{ma}), irrigações recomendadas pelo método de Penman-Monteith e as precipitações pluviais nos diferentes manejos da água de irrigação das plantas de pêra, local Kasek..	88
Figura 38. Evapotranspiração máxima acumulada (ET _{ma}), irrigações recomendadas pelo método de Penman-Monteith e as precipitações pluviais nos diferentes manejos da água de irrigação das plantas de pêra, local Arocena.....	89
Figura 39 - Rendimento de fruta de pêra para os diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.....	93
Figura 40 - Infiltração de água no solo (media de três repetições), estimada pela equação de Kostiaikov, pomar de maçã Royal Gala.....	95
Figura 41. Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada, cultivo de maçã, local Pattarino.....	96
Figura 42 - Curva característica de água no solo Argjudolls, local Pattarino. Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.....	97
Figura 43 - Evolução do diâmetro de fruta de maçã Royal Gala submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação.....	99
Figura 44 - Evolução do volume de copa das plantas de maçã Royal Gala submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação.....	100
Figura 45. Diferença entre a evapotranspiração máxima ET _{ma} e a precipitação total recebida (precipitação pluvial + irrigações) nos diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação das plantas de maçã, local Pattarino.....	102
Figura 46 - Evapotranspiração máxima acumulada (ET _{ma}), irrigações recomendadas pelo método de Penman-Monteith e as precipitações pluviais nos diferentes manejos da água de irrigação das plantas de maçã, local Pattarino.....	103
Figura 47 - Rendimento de fruta de maçã para os diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.....	107

LISTA DE APÊNDICES

APÊNDICE A - Parâmetros da equação de Van Genuchten nas diferentes áreas onde foram instalados os diferentes manejos de irrigação no Uruguai.....	115
---	-----

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	9
LISTA DE TABELAS	12
LISTA DE FIGURAS	15
LISTA DE APENDICE	19
1. INTRODUÇÃO	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 Disponibilidade de água no solo às plantas.....	25
2.1.1 Disponibilidade de água no solo às plantas de batata.....	26
2.2 Evapotranspiração e sua relação com a cultura de batata.....	29
2.3 O déficit hídrico e os processos morfológicos das plantas de batata – Índice de área foliar e altura de plantas.....	31
2.4 Disponibilidade de água no solo e sua relação com as plantas.....	33
2.5 Evapotranspiração e sua relação com a irrigação das plantas.....	34
3. MÉTODOS E TÉCNICAS	36
3.1 Caracterização física do solo.....	36
3.2 Experimento de manejo de irrigação da batata.....	38
3.3 Experimento de manejo de irrigação de pereira.....	44
3.4 Experimento de manejo de água de irrigação de macieira.....	47
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1 Irrigação de batata.....	49
4.1.1 Infiltração de água no solo.....	49
4.1.2 Características físicas dos solos.....	51
4.1.3 Índice de área foliar e altura de plantas.....	55
4.1.4 Diferença entre a evapotranspiração máxima diária da cultura e as irrigações aplicadas.....	59
4.1.5 Componentes do rendimento.....	68
4.2 Irrigação em pêra.....	79
4.2.1 Infiltração de água no solo.....	79
4.2.2 Características físicas dos solos.....	79
4.2.3 Determinações morfológicas das árvores de pêra.....	83
4.2.4 Diferenças entre a evapotranspiração máxima diária da cultura e as	

irrigações aplicadas.....	84
4.2.5 Componentes do rendimento.....	91
4.3 Irrigação de maçã.....	94
4.3.1 Infiltração de água no solo	94
4.3.2 Características físicas dos solos.....	96
4.3.3 Determinações morfológicas das plantas de pêra.....	98
4.3.4 Diferenças entre a evapotranspiracao máxima diária da cultura e as irrigações aplicadas.....	101
4.3.5 Componentes do rendimento.....	104
5. CONCLUSÕES.....	108
6. REFERÊNCIAS.....	110
APÊNDICE.....	115

1. INTRODUÇÃO

A irrigação é prática fundamental para garantir a estabilidade das colheitas, elevar o índice da produtividade das culturas e permitir a incorporação ao processo produtivo de regiões com precipitações escassas e/ou mal distribuídas.

A crescente demanda por recursos hídricos torna necessária a utilização eficiente da água, principalmente, em áreas com disponibilidade hídrica limitada. Mesmo em áreas onde há aparentemente abundância de água, deve-se melhorar a eficiência energética e de mão de obra, para tornar mais rentável o uso da irrigação.

No Sul do Brasil, no Uruguai e na Argentina, as precipitações pluviais médias são variáveis ao longo do ano e, em geral, são concentradas na primavera e no verão. Em média, nos últimos 35 anos de registros contínuos no Uruguai (<http://www.inia.org.uy/gras/clima>, 2005) nessas estações do ano, o clima, apresenta com maior frequência anos secos que anos chuvosos. Além disso, no verão ocorre maior demanda evaporativa, fazendo com que as precipitações pluviais sejam, em geral, insuficientes para atender as necessidades hídricas das culturas.

No Uruguai as condições climáticas são favoráveis para produzir batata o ano todo, mas existe produção de primavera e de outono. A área plantada média dos últimos anos está estimada em 10600 ha ano⁻¹ (Ministério de Agricultura, Ganadería y Pesca, 2001). Segundo o mesmo autor, no último censo agropecuário no Uruguai, existe aproximadamente 14% da área total de batata cultivada sob irrigação, distribuídos nos cultivos de outono e primavera, sendo a produtividade média de 20 ton ha⁻¹.

Existem no Uruguai 7440 ha de pomares de frutíferas (maça, pêra, pêssego e nectarinas) (Ministério de Ganaderia, Agricultura y Pesca do Uruguai, 2001). Entretanto, somente 34,3% dessa área é irrigada por gotejamento ou microaspersão.

A cultura de maçã ocupa a maior área irrigada (1282 ha), seguida de pêsego com 782 ha.

Um aspecto importante das relações entre a absorção de água e o rendimento das culturas é o suprimento de água do solo às plantas para atender a demanda evaporativa da atmosfera. Nas áreas irrigadas para alcançar esses objetivos, isto está estreitamente associado ao manejo de irrigação.

No Uruguai, nos últimos 10 anos, a incorporação de equipamentos de irrigação para cultivos intensivos, teve um incremento anual dentre 10 a 15% (Ministério de Ganaderia, Agricultura y Pesca do Uruguai, 2001). Esse crescimento da área e do número de equipamentos de irrigação não foi acompanhado na mesma proporção pela estrutura de pesquisa agrícola, para responder a questão prática do manejo de irrigação para as diferentes culturas. Dessa forma é importante gerar informação científica que permita conhecer o manejo da água de irrigação das culturas avaliando o aumento na produtividade e qualidade do produto.

Uma das maneiras mais eficientes para monitorar a irrigação é a partir de valores da evapotranspiração máxima diária das culturas (ET_{ma}). Esse procedimento oferece vantagens por atender as necessidades das plantas em cada subperíodo, reduzindo tanto a ocorrência de déficit hídrico quanto o excesso de água, e assegurando a obtenção de maiores produtividades. Existem diversas formas de estimar a evapotranspiração de uma cultura; no entanto, é necessário o conhecimento dos dados meteorológicos do local.

A partir da utilização de estações meteorológicas automáticas foram desenvolvidos modelos computacionais específicos para estimar o consumo de água das culturas. Esses modelos de estimativa do consumo de água das culturas, apresentam vantagens por utilizar os parâmetros de clima, tornando mais eficiente o

manejo da água de irrigação. Praticamente todos os sistemas automatizados de manejo de irrigação recomendam a utilização de menor quantidade de água que os métodos tradicionais, por basearem-se em parâmetros agroclimáticos e estimarem de maneira adequada as lâminas de irrigação a serem aplicadas às culturas (HEERMAN et al., 1990).

O objetivo deste trabalho foi avaliar modificações morfológicas e de produtividade da cultura de batata, pêra e maçã submetidas a diferentes manejos da água de irrigação baseados na evapotranspiração máxima diária acumulada de cada cultura.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Disponibilidade de água no solo às plantas

Do total da água que é consumida por uma cultura, aproximadamente 98% passa pela planta para a atmosfera pelo processo de transpiração. Este fluxo de água é necessário para o desenvolvimento vegetal (manutenção da temperatura) e, por este motivo, sua taxa deve ser mantida dentro de limites ótimos para cada cultura (REICHARDT, 1978). O consumo de água das culturas é determinado, basicamente, pela demanda evaporativa da atmosfera, propriedades físicas do solo e características das plantas (BERGAMASCHI et al., 1992).

Segundo CARLESSO (1995), o suprimento de água às plantas é determinado pela habilidade da cultura em utilizar a água armazenada no solo e, a demanda, por outro lado, é determinada pela combinação dos fatores meteorológicos interagindo com o dossel vegetativo da cultura. RITCHIE et al. (1972) sugerem que a resposta fisiológica das plantas ao déficit hídrico seja avaliada em função da água disponível no solo. A água no solo disponível às plantas é definida pela diferença no conteúdo de água no solo, entre o limite superior e o limite inferior de disponibilidade de água no solo às plantas na zona explorada pelo sistema radicular das plantas (RITCHIE, 1981 e CARLESSO, 1995).

2.1.1 Disponibilidade de água no solo às plantas de batata

A água é um componente de máxima importância nos diferentes subperíodos do ciclo de desenvolvimento das plantas e, o seu consumo, é variável e proporcional ao desenvolvimento das plantas, atingindo um valor máximo no subperíodo de floração (VEIHMEYER & HENDRICKSON, 1955). Os efeitos dos déficits hídricos sobre a produção das culturas variam de acordo com o subperíodo em que ocorrem (HAGAN et al, 1957).

O consumo de água é diferente nos diversos subperíodos de desenvolvimento da cultura da batata. Os subperíodos de maior exigência hídrica para a cultura ocorrem na fase vegetativa e início da tuberização (LIS et al, 1964) e formação de tubérculo (OJALA et al., 1990). Para LYNCH & TAI (1989), o déficit hídrico no início da tuberização não possui grande influência no rendimento final, no entanto, quando um déficit hídrico ocorre durante a formação dos tubérculos, ocorre uma grande redução na produção. Ainda, segundo esses autores, o número final de talos não é afetado em plantas que foram submetidas a déficit hídrico nas fases iniciais de desenvolvimento do tubérculo.

O crescimento das plantas e a produção de tubérculos de batata são influenciados pelas condições de umidade do solo. Alguns processos fisiológicos são relativamente insensíveis à diminuição do conteúdo de água no solo, outros são acentuadamente afetados (BOX et al., 1963). SALTER & GOODE (1967) afirmam que, um adequado fornecimento de água é requerido pela cultura de batata desde início da tuberização até próximo da maturação para obtenção de altas produções e de boa qualidade. A redução do conteúdo de água no solo, segundo SCALOPPI & SCARDU (1975), a partir dos 60 dias após a emergência das plantas (DAE), não

afeta a produção de tubérculos. Um adequado conteúdo de água no solo, antes e durante o início da tuberização, incrementa o número de tubérculos por planta (SHOCK et al., 1992). Depois da tuberização o correto fornecimento de água as plantas aumenta o tamanho de tubérculo (HANG & MILLER, 1986).

A lâmina total de água necessária por uma cultura durante o seu ciclo de desenvolvimento deve atender as exigências hídricas das plantas em todos os subperíodos do crescimento. As necessidades hídricas das plantas variam de um subperíodo para outro, aumentando desde a emergência das plântulas (valores baixos), até o ponto de máxima área foliar, onde se observa a maior evapotranspiração (DOORENBOS & KASSAN, 1979). FABEIRO et al. (2001), estudaram o efeito do manejo da água de irrigação através da aplicação de diferentes lâminas de irrigação nas plantas de batata e observaram um total de 520 a 570 mm de lamina de água durante todo o ciclo, para produções superior a 40 ton ha⁻¹. Experimentos combinando sistemas e métodos de irrigação e lâmina de água aplicada na cultura da batata foram realizados por WADDEL et al. (1999), onde foi verificado um aumento nos rendimentos de batata com aplicação de lâminas entre 380 e 476 mm. Para lâminas superiores a essas não foi observado aumento na produção.

Existem na literatura vários trabalhos de manejo de água de irrigação através do controle do potencial de água no solo (EPSTEIN & GRANT, 1973; SHOCK et al., 1998). Aplicações de lâminas de água de irrigação com o uso de tensiômetros foram estudadas por SHOCK et al. (1998), que encontraram resposta significativa na aplicação de lâminas de água entre 466 e 589 mm. O critério adotado para iniciar as aplicações das irrigações era quando as leituras dos tensiômetros atingiam valores de -60 kPa e -80 kPa. Nos tratamentos com aplicação de lâminas de irrigação com

tensão de água do solo menor que -60 kPa não foram encontradas diferenças significativas entre eles nos três anos de experimentação.

Plantas de batata são submetidas a déficit hídrico, quando o potencial de água no solo for inferior a -25 kPa (EPSTEIN & GRANT, 1973). A faixa ótima de tensão de água no solo estaria entre os -20 e -60 kPa (VAN LOON, 1981). Nessa faixa de potencial matricial a produção da batata não é afetada. Segundo SHOCK et al. (1992), mantendo o potencial de água no solo acima -60 kPa a produção da cultura de batata é excelente em relação a quantidade e qualidade do tubérculo.

Experimentos de irrigação em batata baseados no potencial matricial de água do solo foram conduzidos por ELDREDGE et al. (1992), com tratamentos baseados na tensão de água no solo a 0,25 m de profundidade. Os resultados demonstraram que, quando o potencial matricial aumentou de -25 a -150 kPa, reduziu o rendimento de batata. Os rendimentos totais foram estatisticamente semelhantes e ocorreu um aumento na produção de tubérculos de tamanhos menores, a medida que o potencial matricial aumentou.

Irrigando batata por sulcos, mantendo tensões de água no solo entre -8 a -300 kPa, BOX et al. (1963) verificaram que, o rendimento e a qualidade do tubérculo aumentou quando as irrigações foram realizadas com tensões menores que -50 kPa. A lâmina total aplicada no ciclo foi de 367,5 mm a 592,8 mm, para o tratamento mais seco e mais úmido, respectivamente.

Estudos realizados por HANG & MILLER (1986) observaram uma eficiência do uso da água entre 120 e 140 kg de batata por mm de água aplicado. FABEIRO et al. (2001) avaliando dez tratamentos de irrigação da cultura da batata, com diferentes porcentagens da evapotranspiração máxima da cultura (E_{tm}) observaram

que, para cada milímetro de água aplicada a cultura foram produzidos 85 kg de batata.

Resultados de trabalhos de irrigação em batata realizados no Uruguai entre 1972 e 1979, indicaram uma resposta de produção de 50,5 kg de batata por cada milímetro de água aplicado, até um total de 500 mm (CARDELINO & GARCÍA, 1983). Nos tratamentos sem irrigação observaram que para cada milímetro de água de chuva foram produzidos 36,4 kg de tubérculo. Os mesmos autores, analisando resultados de experimentos de irrigação realizados em 1980 e 1981, verificaram um comportamento quadrático para o rendimento da batata com uma máxima eficiência técnica ($40 \text{ ton} \cdot \text{ha}^{-1}$) com uma aplicação de 480 mm de água. Nesses anos, a maior eficiência do uso da água foi de 122,5 kg de batata por mm aplicado. A variedade utilizada nesses experimentos tenha ciclo mais longo (Kennebec). O tipo de solo predominante onde se cultiva a batata no Uruguai, caracteriza-se por apresentar baixa capacidade de infiltração mas com boa capacidade de armazenamento de água no solo com o aumento no teor de argila no perfil do solo. Resultados similares aos obtidos por CARDELINO & GARCIA, foram publicados por SAMMIS (1980) no Novo México (EUA), que observaram máximos rendimentos de batata ($43,2 \text{ ton ha}^{-1}$), mantendo a tensão de água no solo superior a -20 kPa, obtendo valores de eficiência de uso da água de 126,6 kg de batata por mm aplicado.

2.2 Evapotranspiração e sua relação com a cultura de batata

O ciclo de desenvolvimento da batata pode ser dividido em quatro subperíodos (KLEINKOPF, 1983): vegetativo, formação de tubérculo,

desenvolvimento dos tubérculos e maturação dos mesmos, com uma duração aproximada de 30 a 60, 15, 10 e 24 dias, respectivamente. Nas condições de Uruguai, VILARÓ et al. (2000), identificaram três subperíodos: desenvolvimento das folhas, início da tuberização e maturação, com uma duração aproximada de 45 a 60 dias, de 30 a 40 dias e 25 dias, respectivamente.

O consumo da água da cultura da batata, segundo NELSON & HWANG (1975), aumenta durante os subperíodos vegetativo e tuberização, atingindo o valor máximo no início do subperíodo de desenvolvimento dos tubérculos e com redução no subperíodo de maturação. LIS et al. (1964), na Argentina, demonstram o efeito do déficit hídrico em diferentes subperíodos do ciclo de desenvolvimento da batata. Os autores concluíram que, com exceção do subperíodo vegetativo, deficiências em qualquer estágio posterior ocasionam redução no tamanho de tubérculo e, portanto, efeito direto na produção. As maiores diferenças foram observadas quando o déficit hídrico ocorreu no subperíodo de início da tuberização até o completo desenvolvimento dos tubérculos.

Estudos conduzidos nos Estados Unidos por MILLER & MARTIN (1983) indicaram que, o rendimento da batata aumentou com a aplicação de água de irrigação considerando até 80% da evapotranspiração máxima da cultura (ET_m). A máxima eficiência foi observada (68 ton.ha⁻¹) com uma aplicação total de lâmina de água entre 400 a 450 mm. Os mesmos autores verificaram que, para aplicações de irrigação acima de 80% da ET_m de reposição de lâmina de água, não foram detectadas diferenças significativas entre os tratamentos. Trabalhos de MEYER & MARCUM (1998), realizados com o objetivo de determinar o manejo da lâmina de água de irrigação a ser aplicada baseado na ET_m da batata, indicaram que, o

rendimento máximo de tubérculo ocorreu quando se aplicou uma lâmina total de 675 mm.

Estudos de HANG & MILLER (1986), durante dois anos, com o cultivo de batata em solo arenoso, com a aplicação de lâminas de irrigação baseada na reposição da ET_m, (porcentagens da ET_m da cultura de 13 a 115%), verificaram uma resposta positiva na produção total da batata para aplicações entre 450 a 500 mm de lâmina total de água, correspondendo a 100% da ET_m. Para valores superiores a 500 mm de água aplicada, o rendimento não incrementou significativamente a produção.

Em experimentos conduzidos na Carolina do Norte (EUA) por SHAE et al. (1999), observaram-se rendimentos de 40,3 ton ha⁻¹ com aplicação de uma lâmina de água de irrigação de 129 mm complementares ao 362 mm de precipitação pluvial ocorrida no período de crescimento da batata. Foram observados valores máximos de eficiência de uso da água de 125 kg de batata por mm de água aplicado. Em média, para a cultura da batata, segundo DOORENBOS & KASSAM (1979), com ciclo médio de 120 a 150 dias necessita-se de 500 a 700 mm dependendo do clima.

2.3. O déficit hídrico e os processos morfológicos das plantas de batata –

Índice de área foliar e altura de plantas

O efeito do déficit hídrico sobre a maioria das culturas varia de acordo com a duração, intensidade e o subperíodo de ocorrência durante o ciclo de desenvolvimento das plantas (KRAMER, 1975). A cultura da batata em relação com

outras culturas é considerada sensível ao déficit hídrico, segundo Salter & Goode (1967) citado por JEFFERIES (1995), onde geralmente a produção é afetada pela ocorrência de algum déficit hídrico durante o ciclo de desenvolvimento das plantas.

O crescimento das folhas é um dos primeiros processos fisiológicos afetados pelo déficit hídrico (HSIAO, 1973). Estudos das modificações morfológicas das plantas de diferentes cultivares de batata em relação à tolerância ao déficit hídrico foram realizados por DEBLONDE & LEDENT (2001). Os autores verificaram que, os dois componentes mais sensíveis ao déficit hídrico foi o número de folhas verdes e a expansão foliar. Resultados similares foram encontrados por JEFFERIES (1989), que também observou que a expansão foliar tem relação direta com o déficit de umidade no solo, sendo que ocorre uma maior redução no crescimento foliar quanto maior for o déficit hídrico imposto.

O índice de área foliar máximo é visualmente observado quando o dossel vegetativo intercepta 95-98% da radiação (McKERRON & WAISTER, 1985), e, nesse momento alcança valor superior a 3. Para WRIGHT & STARK (1990), o índice de área foliar que as plantas de batata podem atingir está entre 3,5 e 6 dependendo da variedade de planta.

Estudos realizados por GANDAR & TANNER (1976) indicaram que, a alongação das folhas decresce linearmente quando o potencial de água das folhas for inferior a -50 kPa. Observaram também que, quando o suprimento de água do solo às plantas é adequado existem evidências de uma re-hidratação das folhas durante a noite.

2.4 Disponibilidade de água no solo e sua relação com as plantas

Estratégias de manejo da água de irrigação para árvores, segundo GREEN et al. (1997), são importantes porque, em geral, utilizam-se sistemas de irrigação por gotejamento ou microaspersão onde somente é umedecida uma parte do sistema radicular, em regiões de clima árido e semi-árido, confinando a distribuição do sistema radicular.

A irrigação é responsável pelo maior crescimento vegetativo em pomares de pêsego em relação ao tratamento sem irrigação. PUPPO et al. (1997) observaram maior massa de poda (29%) e maior diâmetro do caule (13%), no entanto, não foi encontrada diferença significativa entre os diferentes tratamentos de irrigação aplicados (0, 50, 100 e 150 % da ETm).

GARCIA et al. (1997) determinando o consumo de água de um pomar de pêra mediante a aplicação de lâminas totais de irrigação de 484 mm, 254 mm e 132 mm observaram um comportamento quadrático da produção, com a máxima eficiência técnica (47,5 ton.ha⁻¹) para a aplicação de 433 mm de irrigação.

Em um pomar de maçã no Uruguai, durante seis anos, PUPPO et al. (1997) não observaram diferenças significativas para as aplicações suplementares de água de irrigação nos três primeiros anos de pesquisa (média de 570 mm de chuva de setembro a outubro). No entanto, no ano agrícola de 1999/00, os mesmos autores verificaram diferenças de 10% na produção de maçã entre o tratamento irrigado e o tratamento sem irrigação. Trabalhando com pêra francesa, de 1994 a 2000 no Uruguai, os mesmos autores verificaram que, a irrigação aumentou significativamente o rendimento comercial (fruta maior que 110 gr., 147% em relação

ao tratamento sem irrigação). Em média dos seis anos de experimentação as árvores irrigadas produziram 38% a mais que as árvores não irrigadas.

Experimentos conduzidos na Nova Zelândia, por IRVING & DROST (1987) aplicando déficit hídrico em um pomar de macieira de quatro anos de idade verificaram que, a produção total, tamanho da fruta, sólidos solúveis e firmeza foram semelhantes. Foram manejadas lâminas suplementares totais de irrigação entre 80 e 194 mm, além dos 450 mm de chuvas ocorridas durante o período de desenvolvimento da cultura. Os mesmos autores verificaram uma maior incidência de rachadura nas frutas quanto o déficit hídrico ocorreu no início do desenvolvimento das frutas.

2.5 Evapotranspiração e sua relação com a irrigação das plantas

O manejo da água de irrigação com base na ET_m em pessegueiro (XILOYANNIS et al., 1980) indicam que, as lâminas totais complementares a água de chuva recomendadas, foram de 104 e 194 mm para os tratamentos de manejo de 50% e 100% de reposição da ET_m, respectivamente.

Estudos conduzidos por PETILLO et al. (2003) em um pomar de maçã (var. Red Spur) no Sul do Uruguai indicaram aumentos de 10 % na produção total e incremento do número de frutos classificados nas categorias de melhor qualidade para os tratamentos irrigados em relação ao tratamento sem irrigação.

Estudando diferentes manejos da água de irrigação e estratégias de manejo em pessegueiro, baseado na ET_m, BATTILANI (2004) verificou um incremento na produção de frutas nos tratamentos irrigados em relação ao tratamento sem irrigação. Entre os tratamentos irrigados e com aplicação de déficit hídrico em algum

subperíodo do ciclo de desenvolvimento da fruta, não houve diferença significativa em relação com o tratamento irrigado com 100 % de reposição da ET_m via irrigação.

Estudos conduzidos para avaliar o efeito do déficit hídrico em um pomar de pêra, com dois manejos de água de irrigação (50 e 100% da ET_m aplicados de um lado só das plantas), mais uma testemunha (irrigada nos dois lados -100% de reposição da ET_m-) reportados por O'CONNELL & GOODWIN (2004), indicaram rendimentos totais de fruta de 19 e 35 ton.ha⁻¹ para os manejos de 50 e 100% da ET_m, respectivamente e 31 ton ha⁻¹ para a testemunha.

Os efeitos do déficit hídrico no rendimento de pêra, avaliados por MITCHELL et al. (1984), na Austrália, com a imposição de déficit hídrico de outubro até dezembro verificaram que não houve diferenças no rendimento total de fruta e no tamanho da fruta, entre os diferentes manejos de déficit hídrico de reposição da lâmina de água de irrigação de 92, 46 e 23 % da ET_o. As lâminas totais aplicadas nesse período de déficit hídrico foram 398, 200 e 100 mm da ET_m, respectivamente.

3. MÉTODOS E TÉCNICAS

Esse trabalho foi conduzido nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04 no Sul do Uruguai. A precipitação pluvial média anual do local é de 1100 mm, média de 32 anos de registros da estação meteorológica do Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA), Las Brujas. Nos meses de outubro a março a média de precipitação pluvial foi de 516 mm e a evaporação medida através do Tanque “A” (Eo) foi de 831 mm (<http://www.inia.org.uy/clima>).

3.1 Caracterização física do solo

As amostras para a determinação das características físicas do solo foram retiradas em trincheiras abertas em cada uma das áreas irrigadas. Foram coletadas amostras indeformadas em cada local, com anéis volumétricos de 100 cm³ nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60 cm (três amostras por camada) em cada local. As amostras foram utilizadas para a determinação da curva característica de água no solo. Simultaneamente, foram coletadas amostras deformadas, nas mesmas camadas, para a análise granulométrica e densidade de partícula.

A análise granulométrica foi realizada pelo método da pipeta (Soil Conservation Service USDA, 1972), a densidade de partícula pelo método do picnômetro (BLAKE, 1965) e a classificação textural foi realizada pelo sistema de classificação do USDA (Soil Conservation Service, 1972).

As curvas características de água no solo, nas diversas profundidades do solo, foram determinadas utilizando o procedimento padrão do Laboratório de Física

de Solos do INIA Las Brujas. O método utilizado foi descrito por RICHARDS (1965), onde foram utilizados para tensões baixas (entre 0 e 40 cm de H₂O) uma mesa de tensão e, para valores de tensão de água entre 100 e 15000 cm de H₂O, utilizaram-se painéis de pressão. As tensões utilizadas para determinar a curva de retenção de água realizada no laboratório foram equivalentes a 0, 30, 100, 1000, 5000 e 15000 cm de H₂O. Amostras de solo não perturbadas, coletadas em anéis volumétricos de 100 cm³, foram colocadas em cada tensão predeterminada e permaneceram nessa tensão por um período de tempo até atingir massa constante, o que variou em número de dias conforme a tensão aplicada. A relação entre a umidade volumétrica (Θ) e o potencial matricial (h) foi estimada pelo modelo de VAN GENUCHTEN (1980), sendo os coeficientes determinados, a partir do programa Curvaret v.2.16 (JONG VANLIER e DOURADO NETO, 1991). O modelo para a equação de VAN GENUCHTEN (1980) utilizado para as curvas foi:

$$\theta_a = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{[1 + (\alpha \times h)^n]^m}$$

sendo: θ_a = umidade atual do solo, em m³.m⁻³; θ_r = umidade residual do solo, em m³.m⁻³; θ_s = umidade no ponto de saturação do solo, em m³.m⁻³; α , n e m são parâmetros do solo da equação de Van Genuchten e; h = módulo do potencial matricial da água do solo, em cm de água. A densidade do solo e os parâmetros empíricos da equação de VAN GENUCHTEN (1980) são apresentados no Anexo A.

A partir dessas amostras não perturbadas calcularam-se os valores de densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade para os solos das áreas onde foram aplicados os manejos da água de irrigação.

Para a determinação da infiltração básica de água no solo utilizou-se o método dos anéis duplo concêntricos (BOUWER, 1997). Foi utilizada a equação de Kostiakov, citado por LIBARDI (2000), para a determinação da taxa de infiltração de água no solo. Os solos dos locais foram classificados segundo a Carta de Reconhecimento de Solos do Uruguai (1976) e a classificação é apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Classificação dos solos e coordenadas geográficas para os diferentes locais dos experimentos de batata submetida a diferentes manejos da água de irrigação.

Locais	Classificação dos solos dos locais	Coordenadas Geográficas
Colônia Galland	Angostura (Argiudolls)	34°43' S 56° 29' W Alt. 32m
Libertad	Kiyú (Albolls)	34° 41' S 56° 36' W Alt. 28,35 m
Libertad	Kiyú (Albolls)	34° 43' S 56° 35' W Alt. 34,32 m
Rincón del Pino	Kiyú (Albolls)	34° 38' S 56°38' W Alt. 27 m

3.2 Experimento de manejo de irrigação da batata

Na figura 1 é apresentado o mapa com a distribuição dos locais onde foram

instalados os experimentos. Os locais situaram-se entre os km 36 e 45 da estrada Ruta 1.



Figura 1. Mapa georeferenciado dos locais onde foram instalados os experimentos de irrigação nos anos 2002-03 e 2003-04.

O experimento de irrigação em batata (Experimento I), foi realizado em três locais diferentes em cada ano, na região de San José. Os locais no ano agrícola de 2002/03 foram distribuídos da seguinte maneira: (i) em Libertad uma área irrigada com pivô central ($34^{\circ} 41' S$, $56^{\circ} 36' W$, Alt. 28,35 m) e outra com autopropelido ($34^{\circ} 43' S$, $56^{\circ} 35' W$, Alt. 34,32 m) e, (ii) Colônia Galland, uma área irrigada com sistema linear ($34^{\circ} 43' S$, $56^{\circ} 29' W$, Alt. 32m). No ano agrícola 2003/04 as áreas foram distribuídas da seguinte maneira: (i) em Libertad uma área irrigada com autopropelido ($34^{\circ} 43' S$, $56^{\circ} 35' W$, Alt. 34,32 m); (ii) em Rincón del Pino uma área irrigada com autopropelido ($34^{\circ} 38' S$, $56^{\circ} 38' W$, Alt. 27 m) e; (iii) em Colônia Galland uma área irrigada com sistema linear ($34^{\circ} 43' S$, $56^{\circ} 29' W$, Alt. 32m).

A batata semente utilizada, em todos os experimentos foi própria dos produtores, procedente de batata importada. Foi utilizada a variedade de batata Chieftain (Canadense), exceto em Colônia Galland no ano agrícola 2002/03, onde foi utilizado a variedade Atlantic. O plantio foi realizado entre os dias 23 e 29 de outubro de 2002. No ano de 2003 o plantio foi realizado nas seguintes datas: 30 de setembro em Rincón del Pino, 25 a 27 de outubro em Libertad e 15 de dezembro na Colônia Galland (Tabela 2). O plantio foi realizado mecanicamente, em camalhões, com espaçamento de 0,80 m e 0,25 m entre tubérculos na linha. A emergência das plantas foi considerada quando 50% das plântulas emergiram, o que ocorreu, em média, aos 20 dias após o plantio.

A adubação foi realizada de acordo com as recomendações para a cultura de batata do Departamento de Horticultura do INIA Las Brujas (VILARÓ, 2000). Foram aplicados 400 kg ha⁻¹ de PO₄NH₄ na semeadura, e 100 kg ha⁻¹ de N, na forma de uréia, no momento da amontoa da cultura.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições em cada um dos locais. O tamanho de cada parcela foi de 200 m². As plantas de batata foram submetidas a diferentes manejos de água de irrigação nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04 (Tabela 2). Na área de Libertad irrigada com autopropelido no ano agrícola 2002/03 foi incluído um tratamento sem irrigação. Na área irrigada com pivô central foram aplicados dois tratamentos de manejo da água de irrigação (irrigações de 15 mm e uma testemunha sem irrigação).

Tabela 2. Data de plantio da batata, manejos da água de irrigação aplicados e sistemas de irrigação utilizados durante o desenvolvimento da cultura de batata submetida a diferentes manejos da água de irrigação.

Local	Data de plantio	Tratamento (lâmina de água aplicada, mm)	Sistema de irrigação utilizado
Colônia Galland	23/10/2002	13, 17 e 21	Linear
Colônia Galland	15/12/2003	13, 17 e 21	Linear
Libertad	23/10/2002	0, 22, 25 e 28	Autopropelido
Libertad	28/10/2003	22, 25 e 28	Autopropelido
Libertad	23/10/2002	0 e 15	Pivô central
Rincón del Pino	23/09/2003	22, 25 e 28	Autopropelido

Irrigações foram aplicadas quando a ET_{ma} estimada pelo método de Penman-Monteith atingia um valor acumulado de 35 mm. Houve variação na quantidade de água aplicada em cada manejo de irrigação conforme o equipamento utilizado. Em Libertad, na área irrigada com autopropelido, os manejos de água de irrigação foram 22, 25 e 28 mm de lâmina de água aplicada. Em Colônia Galland, irrigada com linear, foram aplicadas lâminas de 13, 17 e 21 mm para os diferentes manejos de irrigação. Esses dois últimos experimentos foram repetidos também no ano agrícola de 2003/04. Nas figuras 2, 3 e 4 são visualizados detalhes dos sistemas de irrigação utilizados nos experimentos de batata.

Aos 25 DAE foram selecionadas quatro plantas por tratamento. Nessas plantas foi avaliada, de forma não destrutiva, a área foliar das plantas com um medidor de leitura direta a campo (Licor 3000-A). Essa medida foi feita de 10 em 10

dias até os 85 DAE. O índice de área foliar (IAF) foi determinado pela razão entre a área foliar (cm^2) da planta e a área de solo ocupada pela planta (2000 cm^2).



Figura 2. Sistema de irrigação (linear) utilizada em Colônia Galland, no experimento de batata submetida a diferentes manejos de água de irrigação.

Foram realizadas medidas de altura das plantas, número de talos por planta e por metro quadrado. A produtividade da batata foi avaliada colhendo-se, manualmente, toda a parcela de 200 m^2 . Determinou-se a massa total e o número total de tubérculo por parcela. Após a determinação da massa total foram retiradas, ao acaso, aproximadamente 100 kg de batata por parcela, para fins de classificação em categorias de tubérculo (grande, médio, e pequena, com massa superior a 250 g , entre 80 e 250 g e inferior a 80 gramas por tubérculo, respectivamente) e mais uma categoria de descarte (podres o deformes).



Figura 3. Sistema de irrigação autopropelido utilizado em Libertad, no experimento de batata submetida a diferentes manejos de água de irrigação.



Figura 4. Sistema de irrigação por pivô central utilizado em Libertad, no experimento de batata submetida a diferentes manejos de água de irrigação.

Os valores médios diários das temperaturas mínimas, máximas e médias do ar, umidade relativa média do ar, insolação, velocidade do vento foram obtidos na estação meteorológica automática do INIA, localizada no INIA Las Brujas (34° 40' S, 56° 20' W, Alt. 45 m).

Calculou-se a diferença entre a ET_{ma} e a água recebida pelas culturas (precipitação pluvial + irrigações), nos diferentes manejos da irrigação. As variáveis utilizadas a evapotranspiração máxima diária (E_{tmd}) da cultura, as irrigações aplicadas e às precipitações pluviais ocorridas em cada local.

Os resultados foram submetidos a análise da variância e as medias dos tratamentos comparadas por regressão múltipla em nível de 5% de probabilidade de erro.

3.3 Experimento de manejo de irrigação de pêreira

O experimento de manejo da água de irrigação em pêra foram realizado em dois locais nos anos agrícolas de 2003/04 (Rincón del Colorado), distante aproximadamente 20 km de Montevideú (Figura 5).

As coordenadas geográficas dos locais são: Arocena, 34° 41' S, 56° 16' W, e Kasek, 34° 41' S, 56° 13' W, ambas com elevação de 45 m acima do nível do mar.

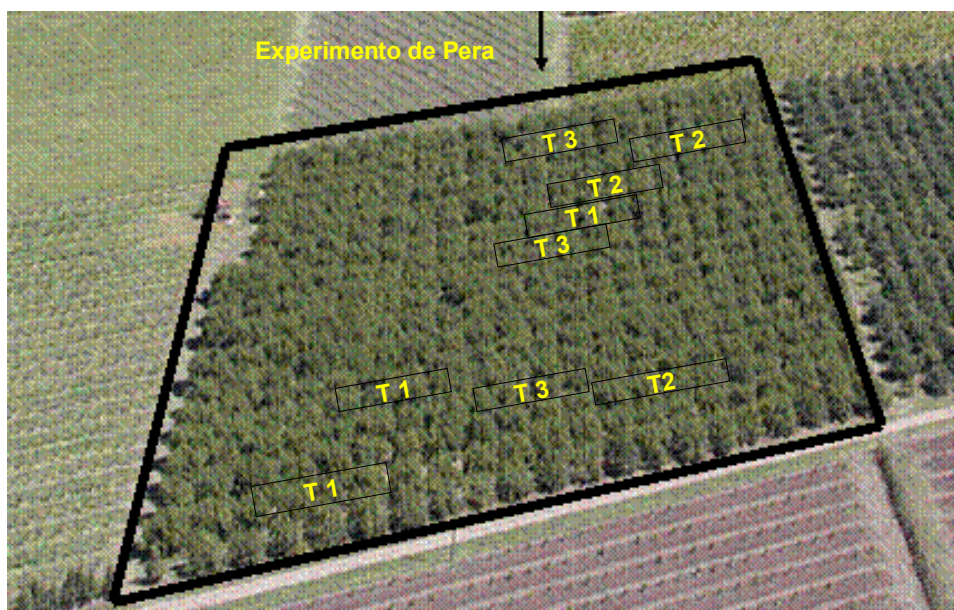


Figura 5. Vista aérea do pomar de pêra utilizado para aplicar os diferentes manejos da água de irrigação.

As plantas de pêra foram submetidas a três manejos da água de irrigação (irrigações foram aplicadas quando a ET_{ma} atingia valores de 30, 45 e 60 mm). O método de irrigação utilizado foi de microaspersão, com um microaspersor por árvore (vazão de 38 l h^{-1}). O espaçamento entre plantas era de 5,5 m entre fileiras e 4,5 m entre plantas na fileira. As árvores eram de 15 anos de idade, da variedade William's, sob porta encheito membrillero (pêra francesa). O tamanho da parcela foi de cinco plantas, onde eram avaliadas as três plantas do centro da parcela. A adubação foi realizada seguindo a recomendação para a cultura de pêra, do Departamento de Fruticultura do INIA Las Brujas (SORIA, 1990). Foram aplicados 100 kg ha^{-1} de N na forma de uréia no início do mês de outubro.

Na tabela 3 são apresentadas os locais onde foram realizados os experimentos de irrigação em pêra, a data de floração e os tratamentos aplicados em cada manejo, além do sistema de irrigação utilizado.

Tabela 3. Data de floração das plantas de pêra, manejos de água de irrigação aplicados e sistemas de irrigação utilizados durante o desenvolvimento do pomar de pêra.

Local	Data de floração da pêra	Tratamento (ETma, mm)	Sistema de irrigação
Arocena	28/10/2003	30, 45 e 60	Micro-aspersão
Kasek	28/10/2003	30, 45 e 60	Micro-aspersão

O rendimento de pêra foi avaliado colhendo-se manualmente todas as frutas das três plantas centrais de cada parcela. As frutas foram separadas em categorias, seguindo o critério de massa média de fruta em extra I, extra II, primeira, segunda, terceira, e pequena, com massa média superior a 231 g, 211 a 230 g, 181 a 210 g, 151 a 180 g, 121 a 150 g, 91 a 120 g, e as inferiores a 90 gramas, respectivamente, mais uma categoria de descarte. Determinou-se a massa, o número de fruta por categoria e o total de cada parcela. Em todos os manejos foram realizadas medidas do diâmetro de tronco das plantas visando determinar a área da seção transversal do tronco. Isto foi realizado três vezes, entre os meses de novembro e março, em todas as árvores das parcelas.

Foi realizada uma medida quinzenal do diâmetro das frutas de pêra, sendo previamente selecionadas cinco frutas por planta em cada parcela. Foram medidos em todas as plantas o volume de copa no pleno desenvolvimento da planta (início de janeiro). Foram medidas também altura, largura e profundidade de copa em cada planta para estimar a área e o volume.

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados foram submetidos a análise da variância e as

medias dos tratamentos comparadas por regressão múltipla, em nível de 5% de probabilidade de erro.

3.4 Experimento de manejo de água de irrigação de macieira

O experimento foi realizado no ano agrícola de 2003/04, em Rincón del Colorado (Figura 6). As coordenadas geográficas do local são: 34°41'S, 56° 15' W e elevação de 45 m acima do nível do mar.

As plantas de maçã foram submetidas a três manejos da água de irrigação, (aplicação de irrigação quando a ET_{ma} atingia valores de 30, 45 e 60 mm). O método de irrigação utilizado foi o de gotejamento, com vazão de 2,8 l h⁻¹, e espaçamento de 1 metro entre gotejadores.



Figura 6. Vista aérea do pomar de maçã utilizado para aplicar os diferentes manejos da água de irrigação.

As plantas utilizadas (com cinco anos de idade) foram da variedade Royal Gala com porta encherto M7. O espaçamento entre plantas foi de 5 m entre fileiras e 2,7 m na fileira. A adubação foi efetuada seguindo a recomendação para a cultura de maçã, do Departamento de Fruticultura do INIA Las Brujas (SORIA, 1990). Foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de N na forma de uréia no início do mês de outubro.

O rendimento de maçã foi avaliado colhendo-se manualmente, todas as frutas das três plantas centrais da parcela. As frutas foram separadas em categorias segundo o diâmetro das mesmas em extra, primeira, segunda, terceira e pequena, com diâmetro médio de fruta superior a 70 mm, 60 a 70 mm, 50 a 60 mm, 40 a 50 mm, inferiores a 40 mm, e mais uma categoria de descarte, respectivamente. Determinou-se a massa das frutas, o número de frutas por categoria e também o total de frutas em cada planta.

Nas plantas de maçã foram realizadas medidas do diâmetro do tronco, visando determinar a área da secção transversal do tronco, entre os meses de novembro a março. Foi realizada uma medida quinzenal do diâmetro das frutas de maçã, sendo previamente selecionadas cinco frutas por planta em cada parcela. Foram medidos, em todas as plantas, os volumes de copa no pleno desenvolvimento da planta (início de janeiro). Tomaram-se medidas de altura, largura e profundidade de cada planta para estimar área e o volume da copa.

O experimento foi conduzido no delineamento inteiramente casualizado, com quatro repetições. Os dados foram submetidos a análise da variância e as médias dos tratamentos comparadas por regressão múltipla, em nível de 5% de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 – Irrigação das plantas de batata

4.1.1 – Infiltração de água no solo

Na tabela 4 são apresentados os resultados das equações de infiltração de água no solo determinadas em cada local (media de três repetições). A infiltração básica nos diferentes locais variou de 1,50 a 4,73 mm h⁻¹.

Tabela 4. Valores de infiltração de água no solo a partir da equação de Kostiakov, para cada uma das diferentes áreas analisadas.

Local	Equação de infiltração (Kostiakov)	Infiltração (mm h ⁻¹)
Libertad (autopropelido)	$i=1,8192 t^{-0.5301}$	4,73
Colônia Galland	$i=1,5800 t^{-0.6105}$	2,08
Libertad (pivô central)	$i=0,7045 t^{-0.6125}$	1,50

Solos com capacidade de infiltração inferior a 5,0 mm h⁻¹, são classificados de infiltração baixa (BERNARDO, 1982). Nas figuras 7, 8 e 9 são apresentados os resultados de infiltração acumulada e taxa de infiltração para o solo de Colônia Galland e dos solos de Libertad.

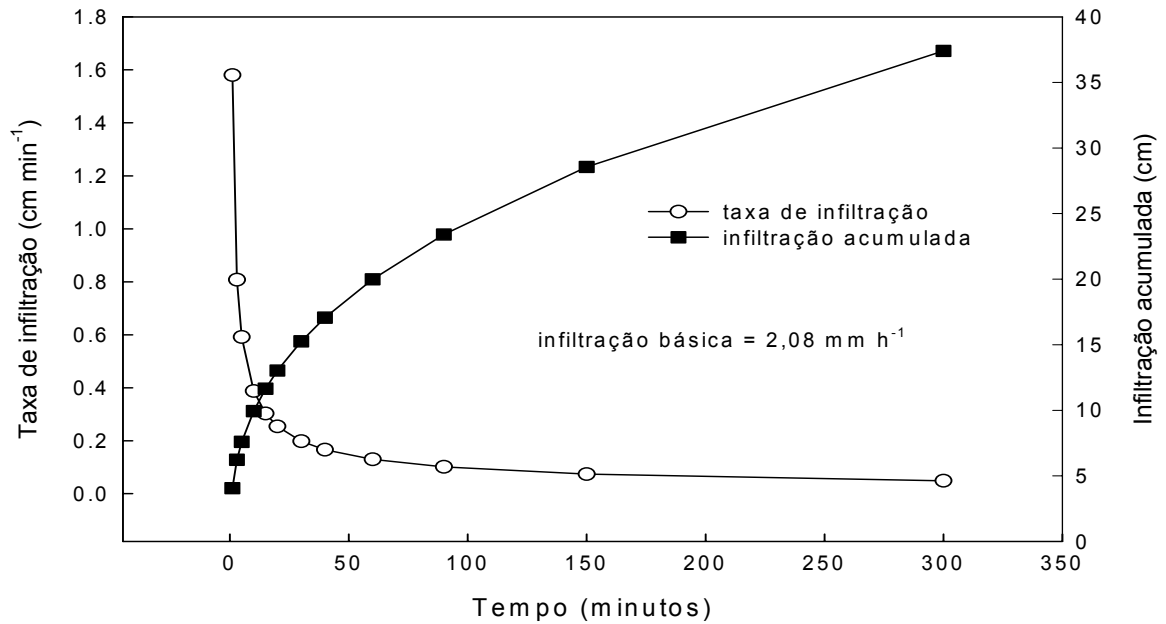


Figura 7. Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo Argiudolls, local Colônia Galland (Linear), anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.

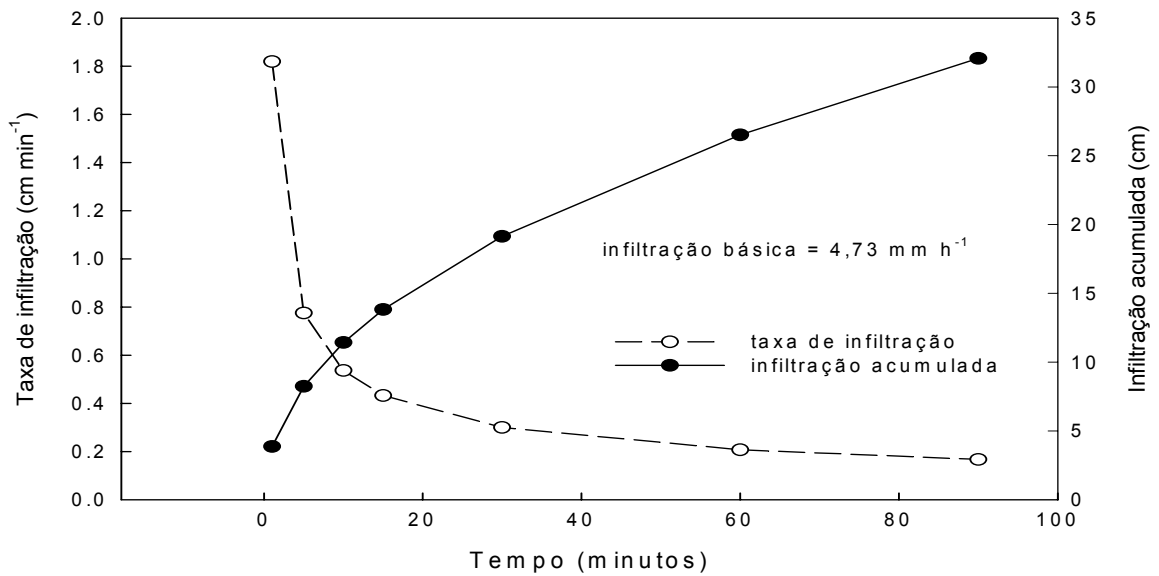


Figura 8. Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo de Albolls, local Libertad (autopropelido), anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.

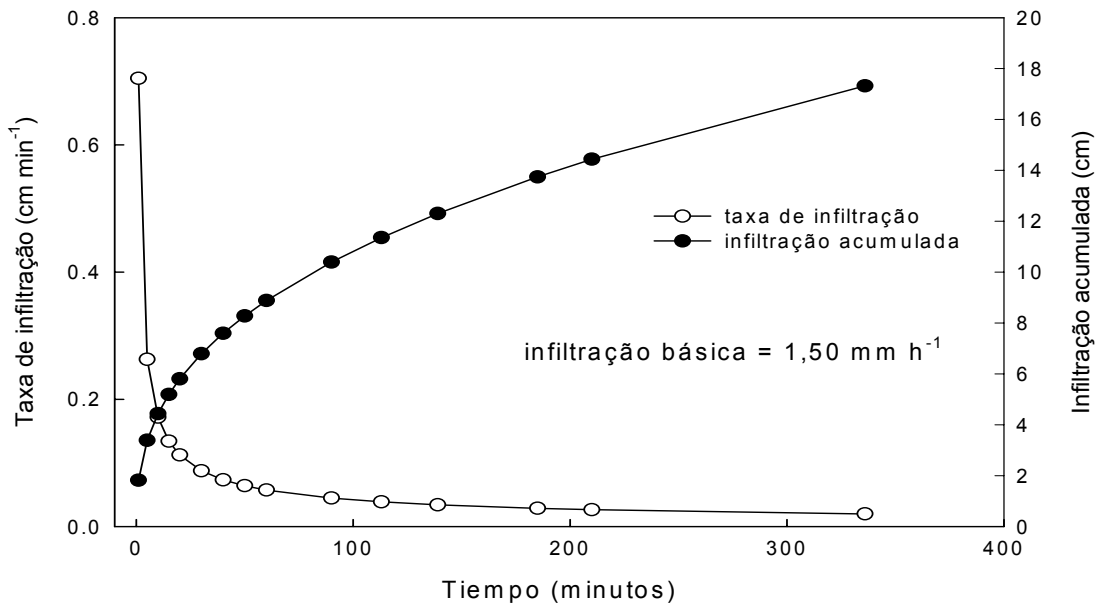


Figura 9. Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo Albolls, local Libertad (pivô central), no ano agrícola de 2002/03.

4.1.2 – Características físicas dos solos

As densidades do solo da camada superior (0-20 cm) dos solos Albolls em Libertad e Rincón del Pino, foram similares, aumentando o valor de densidade com a profundidade do solo (Tabela 5). Pode-se observar que o perfil dos dois solos, apresentou uma maior porosidade total na camada de 0 a 20 cm, diminuindo com o aprofundamento do perfil do solo.

Tabela 5. Densidade dos solos, porosidade total, macro e microporosidade (Unidades Argiudolls e Albolls). Valores médios de cinco repetições. Uruguai, 2005.

Unidade de solo e Local	Profundidade do solo (cm)	Densidade do solo (g cm^{-3})	Porosidad Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Macro porosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Micro porosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
Albolls	0-20	1,03	0,4808	0,1003	0,3805
Libertad	20-40	1,33	0,5690	0,0458	0,5233
(pivô central)	40-60	1,38	0,5327	0,0168	0,5335
Argiudolls	0-20	1,24	0,4052	0,0782	0,3270
Colônia	20-40	1,40	0,3656	0,0223	0,3434
Galland	40-60	1,46	0,3587	0,0161	0,3427
Albolls	0-20	1,18	0,4348	0,0147	0,4201
Libertad	20-40	1,28	0,3783	0,0122	0,3661
(autopropelido)	40-60	1,42	0,3717	0,0100	0,3716
Albolls	0-20	1,17	0,4658	0,1016	0,3643
Rincón del Pino	20-40	1,35	0,4410	0,0557	0,3853
	40-60	1,39	0,3931	0,0157	0,3774

Nas figuras 10, 11, 12 e 13 são apresentados os resultados da curva característica de água no solo, para Colônia Galland, Libertad e Rincón del Pino. A profundidade de 60 cm é, usualmente, a profundidade máxima de exploração do perfil do solo pelo sistema radicular das plantas de batata.

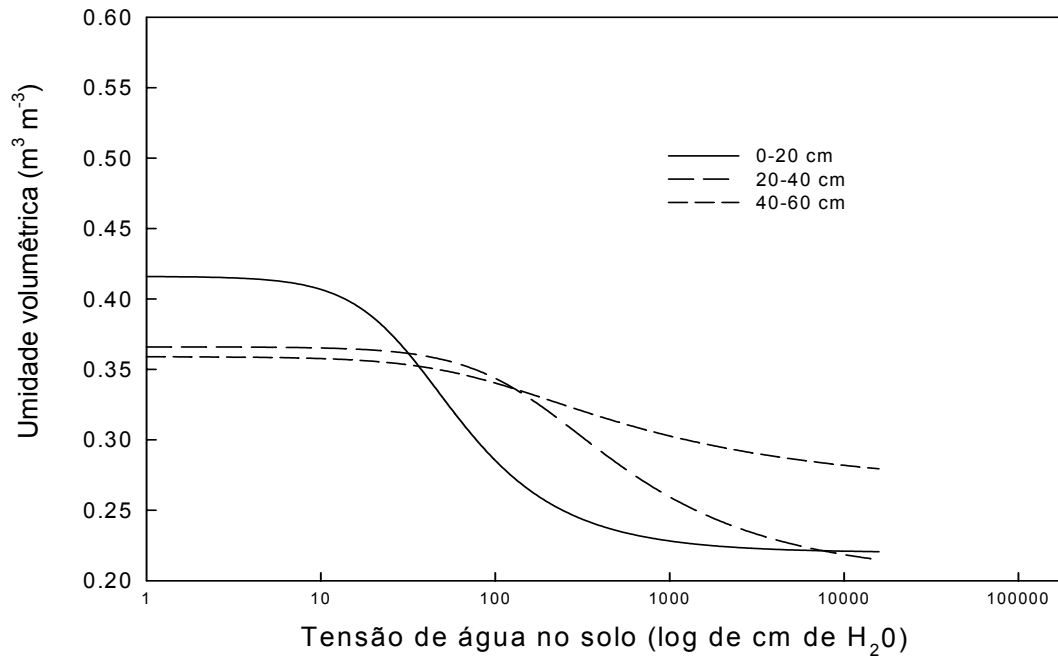


Figura 10. Curva característica de água no solo Arguidolls em Colônia Galland (linear). Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.

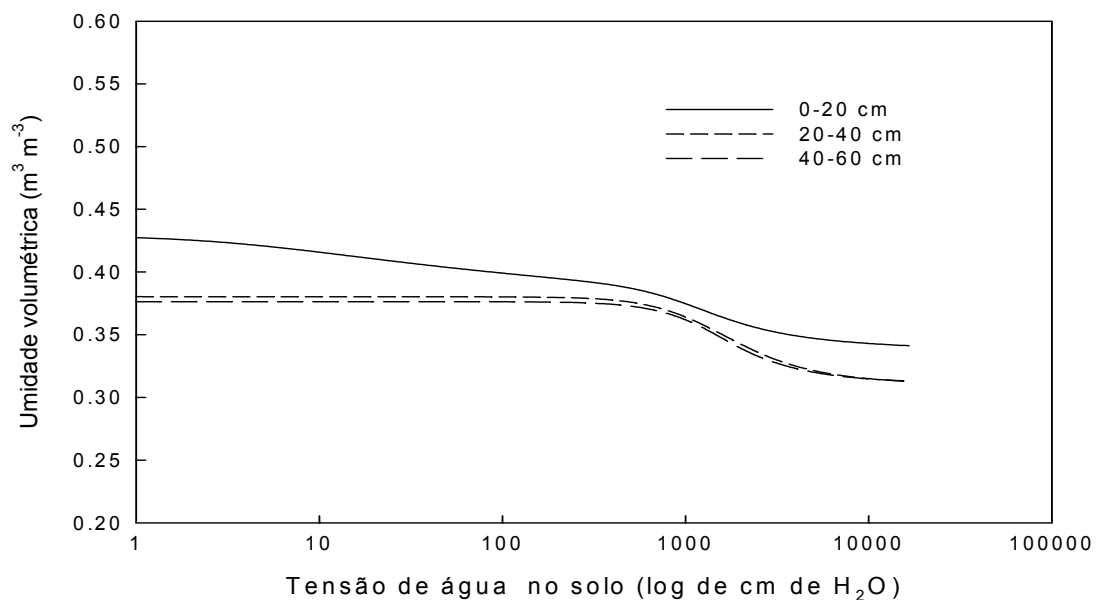


Figura 11. Curva característica de água no solo Albolls de Libertad (autopropelido). Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.

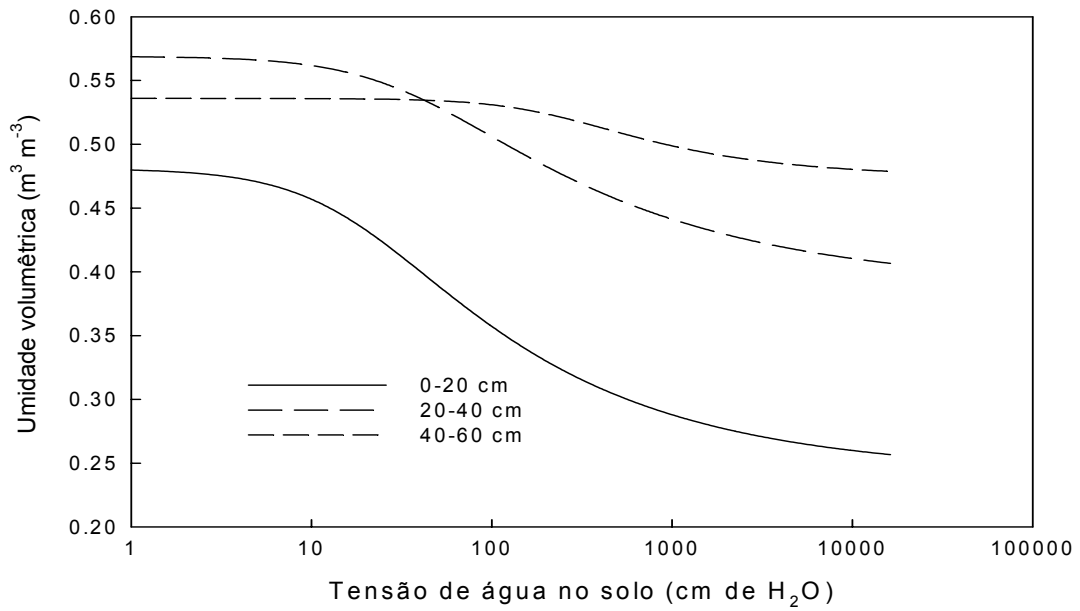


Figura 12. Curva característica de água no solo Albolls em Libertad (pivô central). Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.

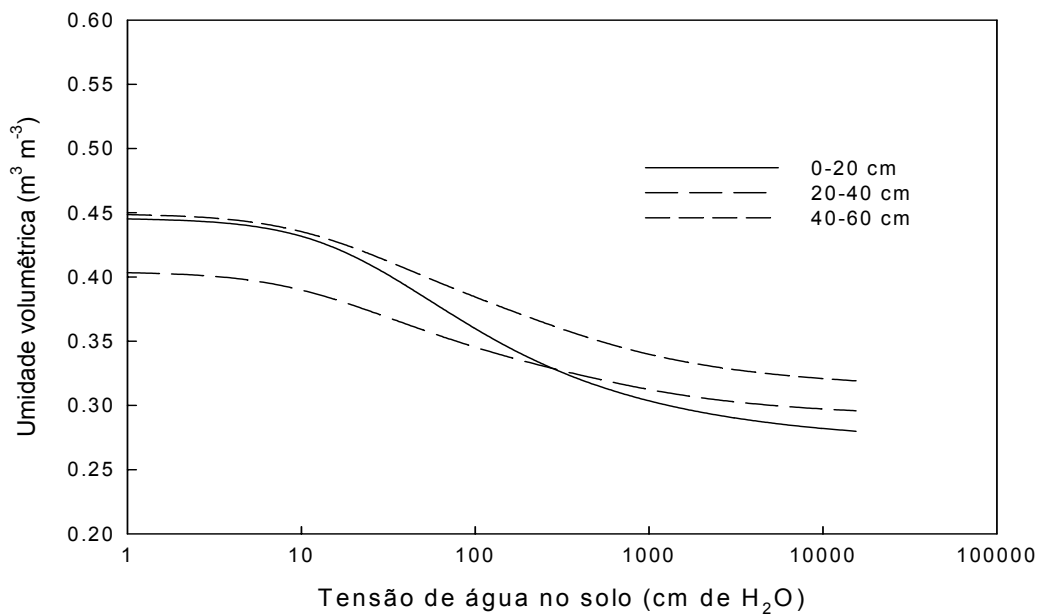


Figura 13. Curva característica de água no solo Albolls em Rincón del Pino (autopropelido). Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.

4.1.3 – Índice de área foliar e altura de plantas

Na tabela 6 são apresentados os resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar do experimento conduzido em Libertad (autopropelido) no ano agrícola de 2002/03.

Tabela 6. Quadrados médio da análise de variância para o índice de área foliar de batata aos 42, 62 e aos 70 dias após à emergência da cultura. Libertad (autopropelido), ano agrícola 2002/03.

Causas de variação	GL	Quadrado Médio
42 dias após emergência		
Tratamento	2	0,027 ns
Modelo Linear	1	0,034 ns
Modelo Quadrático	1	0,027 ns
Resíduo	9	0,164
C.V.%	-	20,150
62 dias após emergência		
Tratamento	2	1,67 ns
Modelo Linear	1	1,35 ns
Modelo Quadrático	1	0,90 ns
Resíduo	9	1,33
C.V.%	-	32,00
70 dias após emergência		
Tratamento	2	4,59 *
Modelo Linear	1	8,96 *
Modelo Quadrático	1	9,19 *
Resíduo	9	0,62
C.V.%	-	23,25

*=significativo com um nível de probabilidade de erro de 5 % ($P \leq 0,05$); ns= não significativo a nível estatístico.

O índice de área foliar da batata foi semelhante aos 42 e 62 DAE entre os diferentes manejos de irrigação, no entanto, aos 70 DAE houve diferença significativa entre os manejos da água de irrigação (Tabela 6). Na figura 14 são

apresentados os resultados do índice de área foliar das plantas de batata aos 70 DAE em Libertad (autopropelido), no ano agrícola de 2002/03.

Aos 70 DAE o índice de área foliar apresentou um comportamento quadrático, com a máxima eficiência técnica (IAF=3,87) para o manejo de água de irrigação com aplicação de lamina de irrigação de 23,6 mm (Figura 14). Os valores médios de índice de área foliar apresentados foram 3,71, 3,78 e 2,79 para o manejo de 22, 25 e 28 mm de lamina de irrigação, respectivamente.

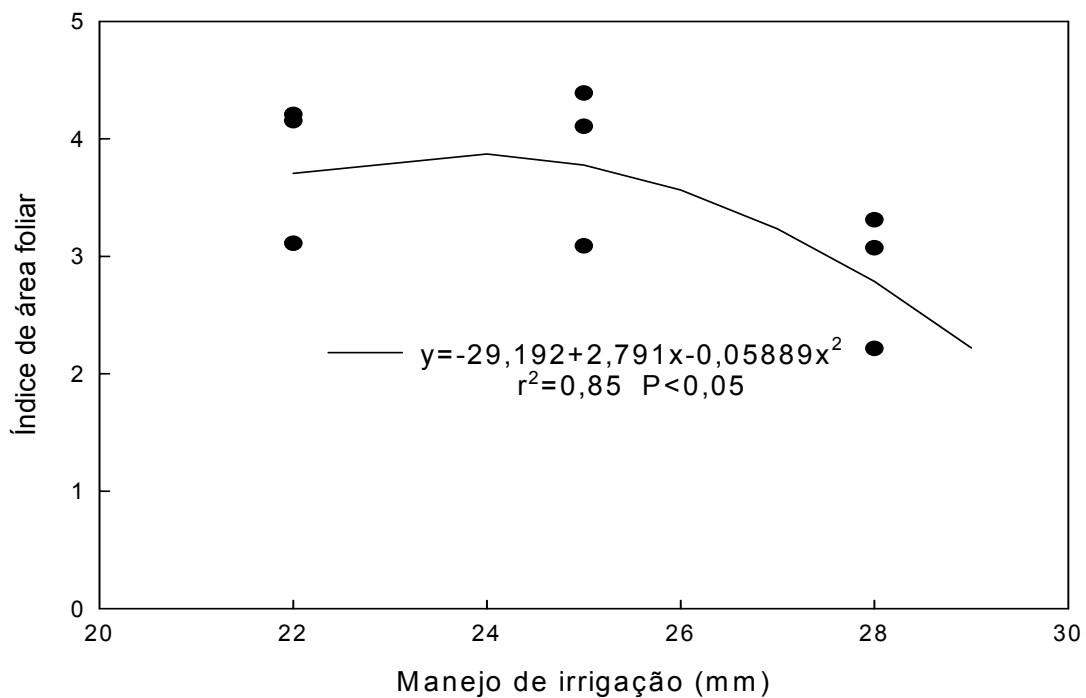


Figura 14. Índice de área foliar (IAF) das plantas de batata aos 70 DAE submetidas a diferentes manejos de irrigação em Libertad (autopropelido), no ano agrícola 2002/03.

Resultados similares foram encontrados por BATTILANI & MANNINI (1993), onde o índice de área foliar máximo da batata foi 3,5, para o manejo de água onde a reposição da lâmina de irrigação era a evapotranspiração máxima diária da cultura.

CARDELLINO & GARCÍA (1983) observaram que o índice de área foliar máximo foi de 3,6, para os tratamentos irrigados.

O manejo da água de irrigação não ocasionou diferenças significativas no índice de área foliar entre os tratamentos de irrigação para os experimentos conduzidos em Libertad (ano agrícola 2002/03), Colônia Galland e Libertad (ano agrícola 2003/04).

Na tabela 7 são apresentados os resultados do quadrado médio da análise da variância para altura de plantas. Diferenças entre os tratamentos de manejos de irrigação foram observadas aos 62 e 70 DAE.

Tabela 7. Quadrados médio da análise de variância para altura de plantas de batata aos 62 e aos 70 dias após à emergência da cultura (DAE), em Libertad (autopropelido), no ano agrícola de 2002/03.

Causas de variação	GL	Quadrado Médio
62 dias após emergência		
Tratamento	2	157,58 **
Modelo Linear	1	55,13 ns
Modelo Quadrático	1	250,04 **
Resíduo	9	30,19
C.V.%	-	8,21
70 dias após emergência		
Tratamento	2	377,33 **
Modelo Linear	1	416,67 **
Modelo Quadrático	1	338,00 **
Resíduo	9	38,92
C.V.%	-	9,25

**=significativo com um nível de probabilidade de erro de 5 % ($P \leq 0,05$); ns= não significativo a nível estatístico.

A altura máxima de plantas foi verificada aos 70 DAE coincidindo com o máximo índice de área foliar (Figura 14) para o tratamento de irrigação com aplicação de

lâmina de 25 mm. Para esse tratamento, nessa data, a altura máxima das plantas foi 76 cm. Segundo VILARO et al. (2000), nesse período inicia o aumento do tamanho de tubérculo, sendo importante um adequado suprimento de água de irrigação para não interferir negativamente no rendimento final.

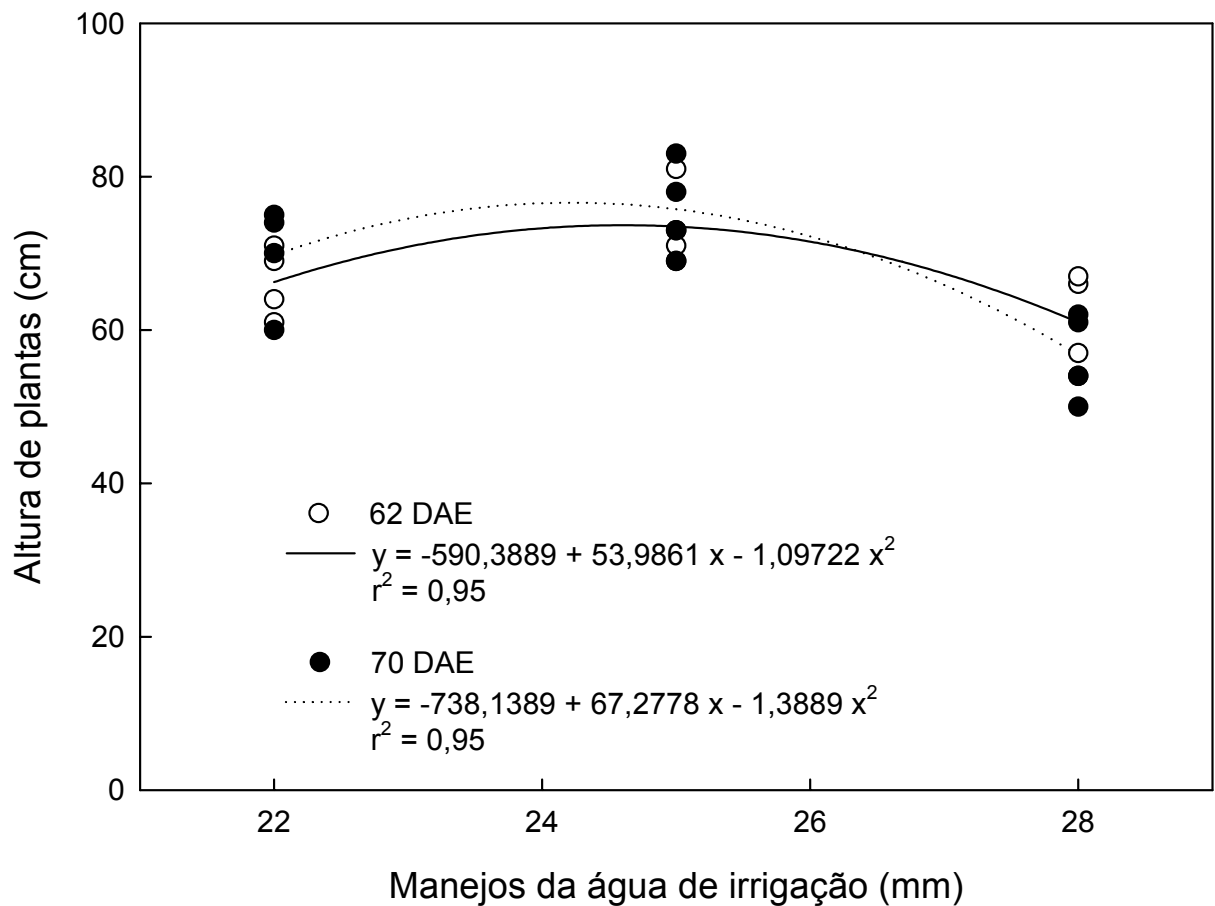


Figura 15. Evolução da altura de plantas de batata aos 62 e aos 70 dias após a emergência nos diferentes manejos da água de irrigação em Libertad (autopropelido) no ano agrícola 2002/03.

4.1.4 – Diferença entre a evapotranspiração máxima diária da cultura e as irrigações aplicadas

Nas figuras 16, 17, 18 e 19 são apresentados os resultados da diferença entre as precipitações (chuva + irrigações) ocorridas nos diferentes manejos de água nos anos agrícola 2002/03 e 2003/04.

Na figura 18 é apresentado o manejo de irrigação em Libertad no ano agrícola de 2002/03. As plantas não irrigadas sofreram um déficit hídrico acumulado de 280 mm em relação aos tratamentos irrigados.

Nas figuras 20, 21, 22 e 23 são apresentados os resultados das aplicações de água via irrigação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da batata para todos os manejos de irrigação realizados em Colônia Galland, Libertad (anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04) e Rincón del Pino. Houve diferenças nas precipitações pluviais acumuladas nos locais onde foram conduzidos os experimentos.

Na tabela 8 são apresentados os resultados da lâmina de irrigação recomendada em cada tratamento, as precipitações pluviais ocorridas, e a lâmina de água aplicada em cada um dos sistemas de irrigação em cada local onde foram realizados os diferentes manejos de água de irrigação.

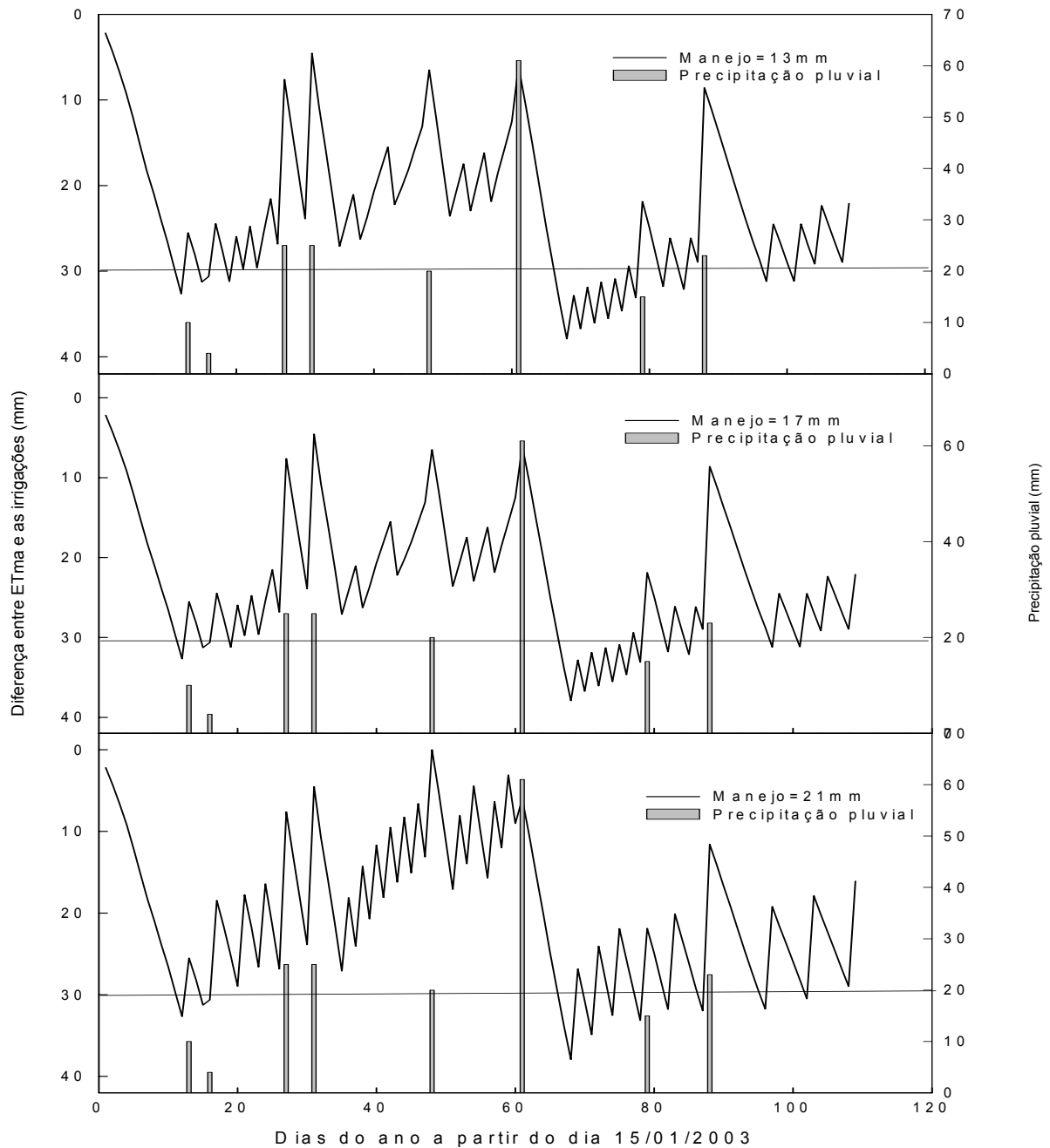


Figura 16. Diferença entre ETm e precipitação (chuva + irrigações) para os diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura de batata, em Colônia Galland no ano agrícola de 2003/04.

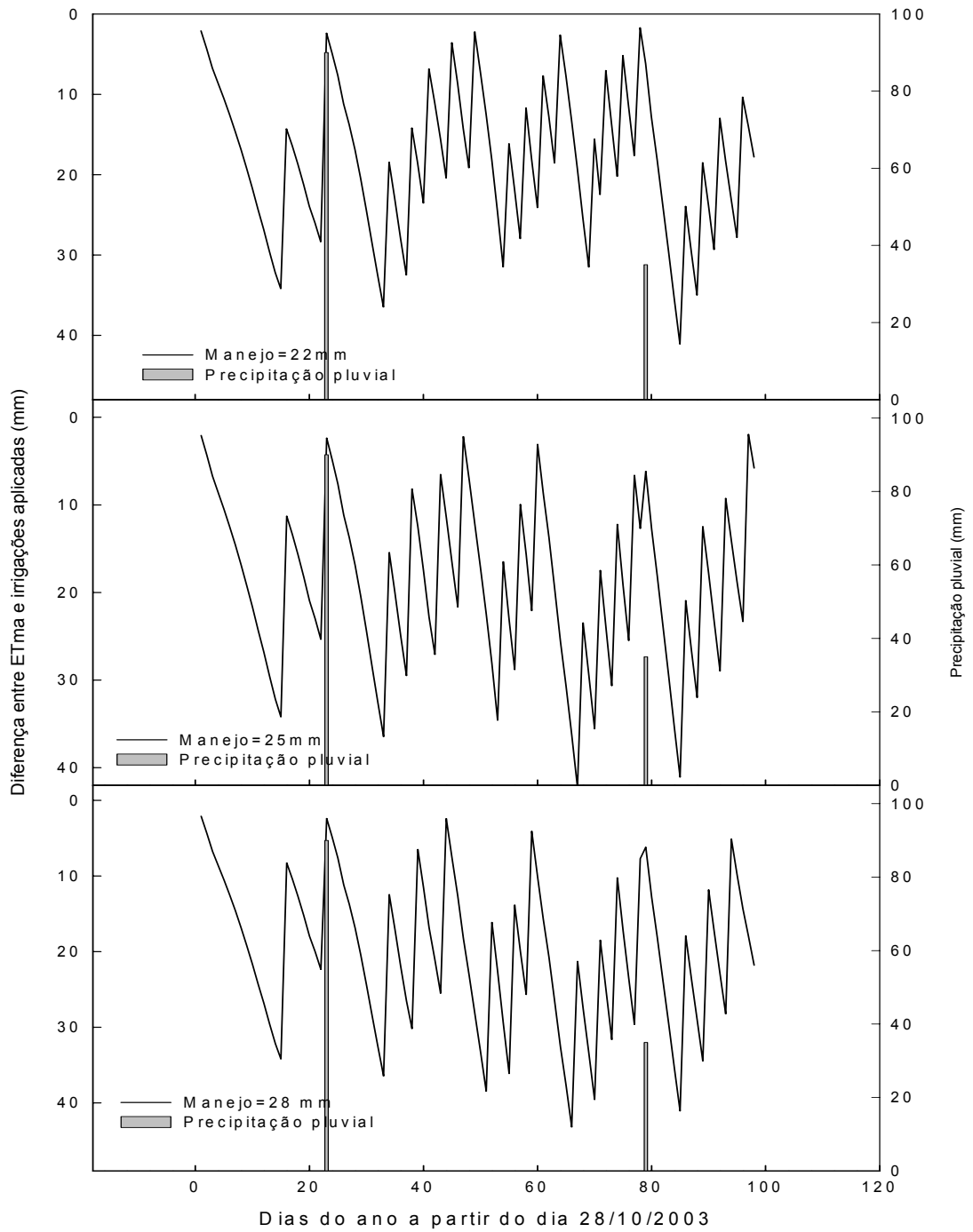


Figura 17. Diferença entre ET_m e precipitação (chuva + irrigações) para os diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura de batata, em Libertad no ano agrícola de 2003/04.

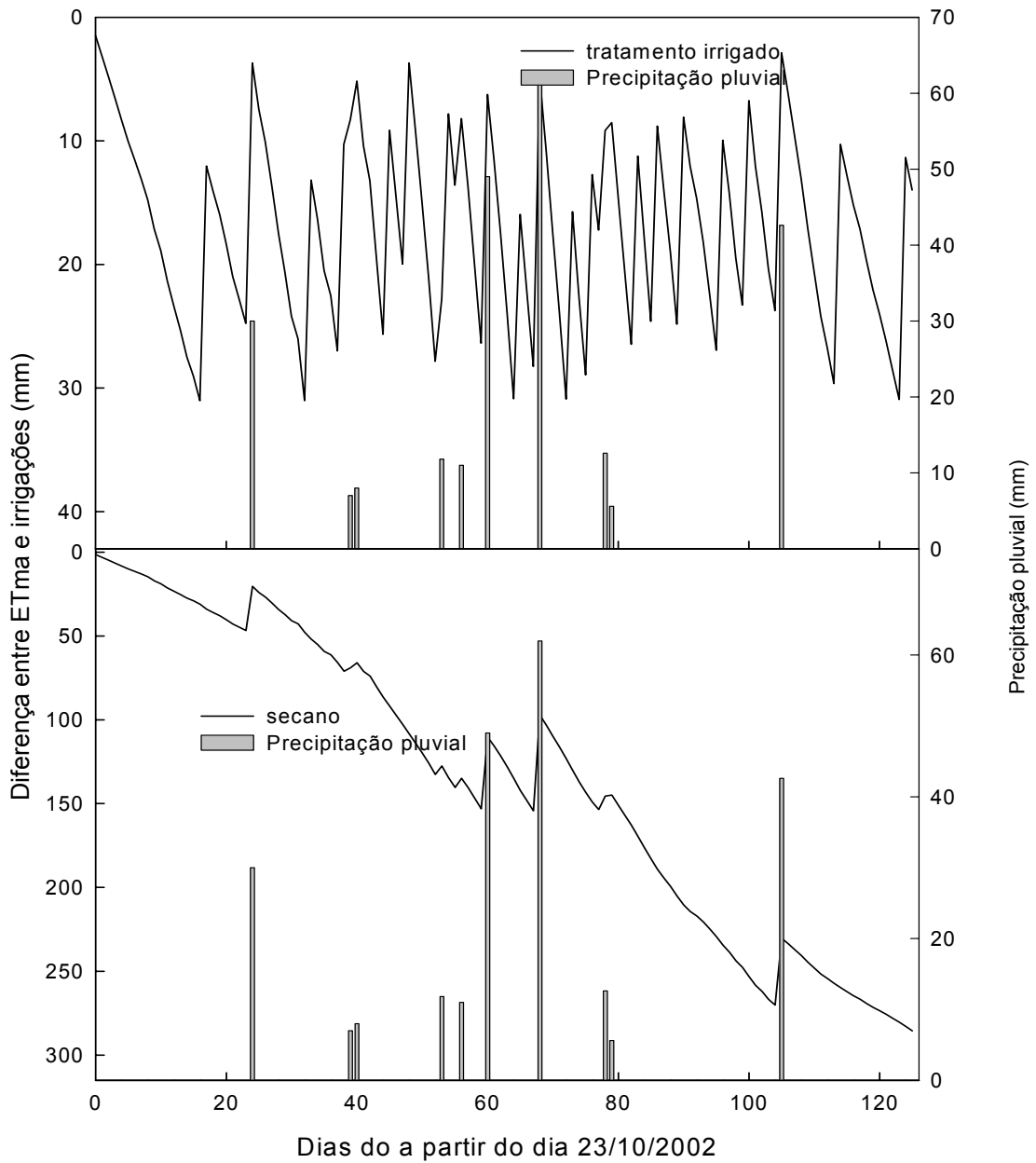


Figura 18. Diferença entre ETm e precipitação (chuva + irrigações) nos diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura de batata, em Libertad no ano agrícola de 2002/03.

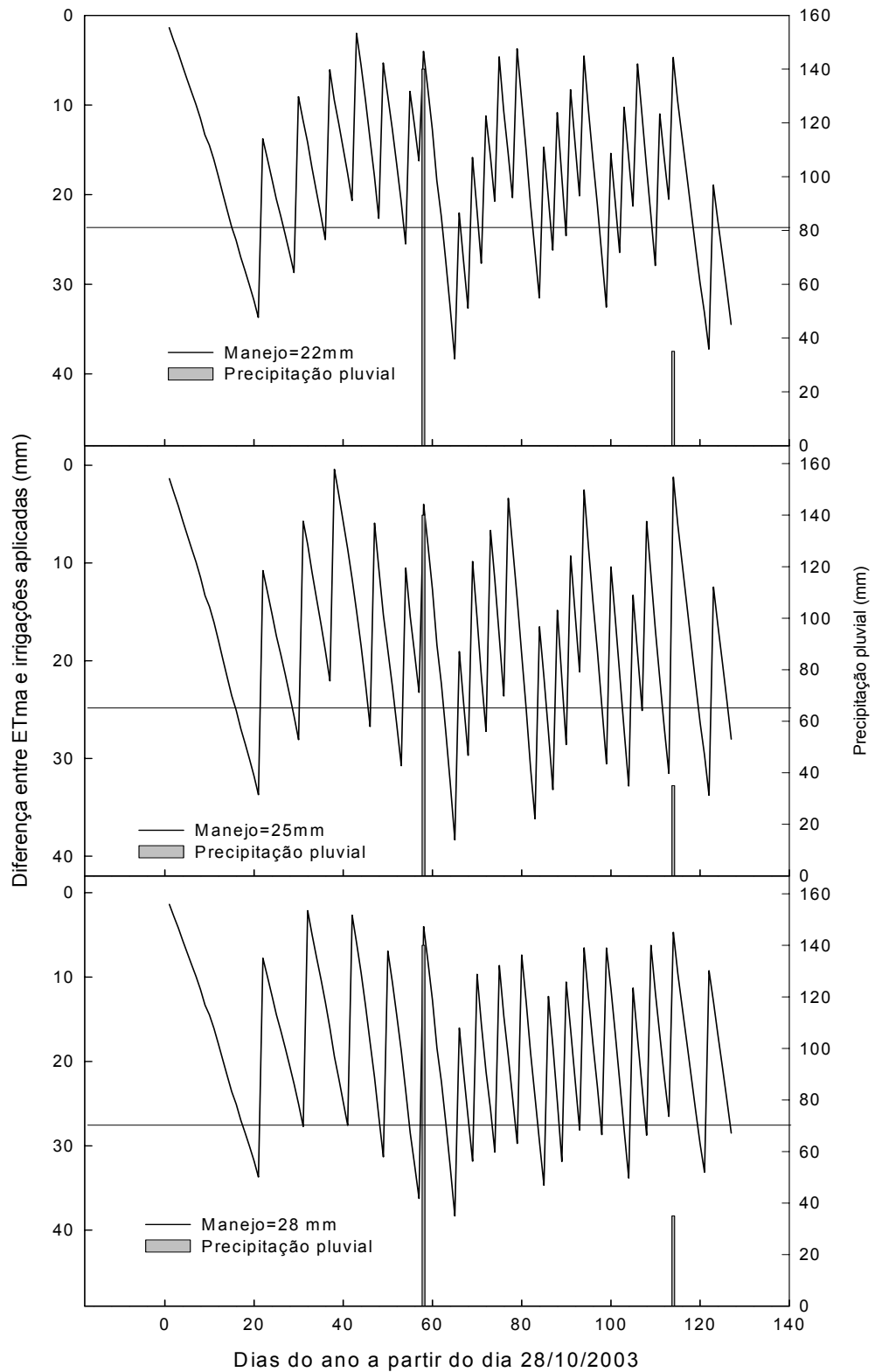


Figura 19. Diferença entre ETma e precipitação (chuva + irrigações) nos diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura de batata, em Rincón del Pino no ano agrícola de 2003/04.

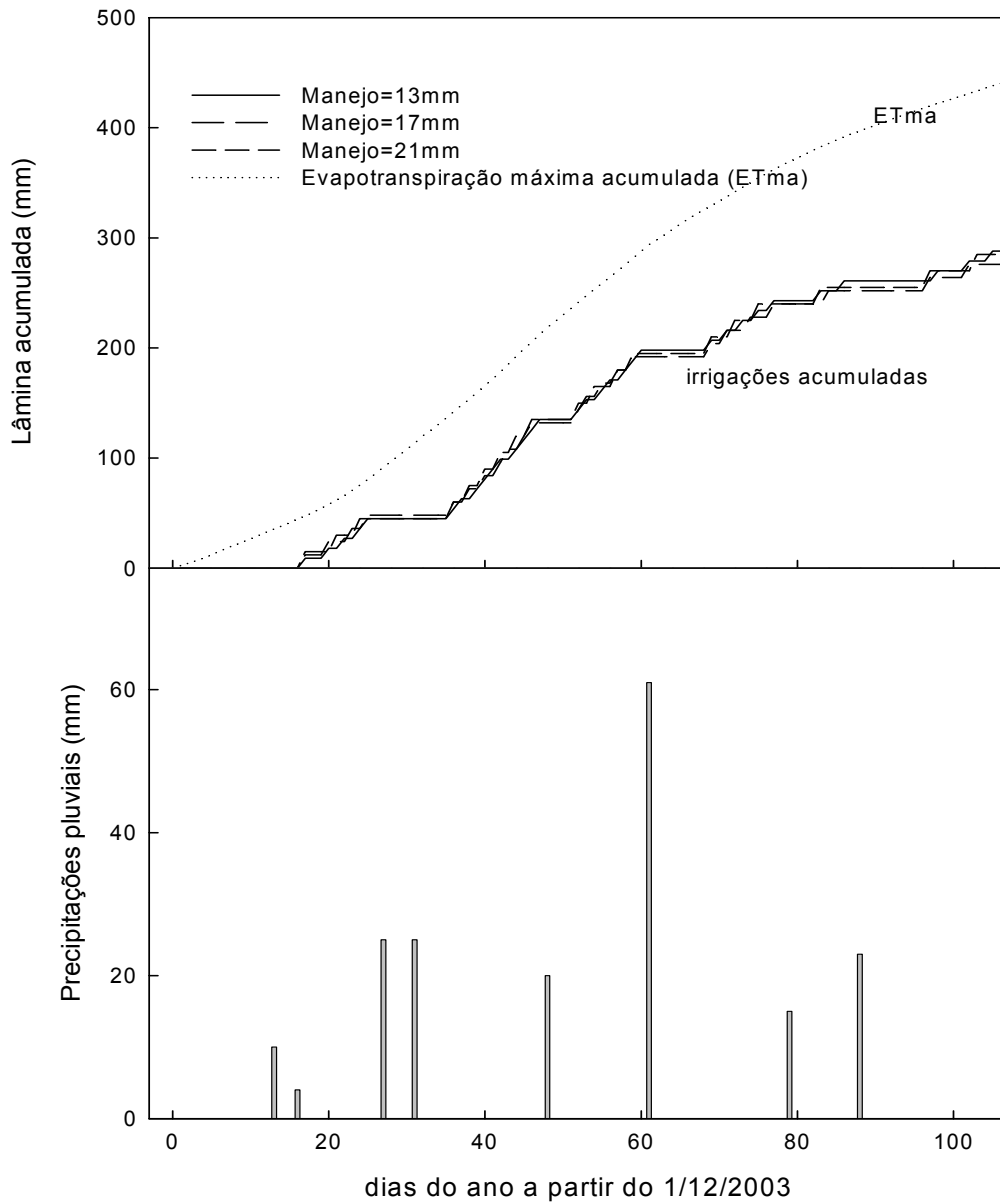


Figura 20. Valores de evapotranspiração máxima acumulada (ETma), água aplicada via irrigação e precipitações pluviárias ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata submetida a três diferentes manejos da água de irrigação, em Colônia Galland, no ano agrícola de 2003/04.

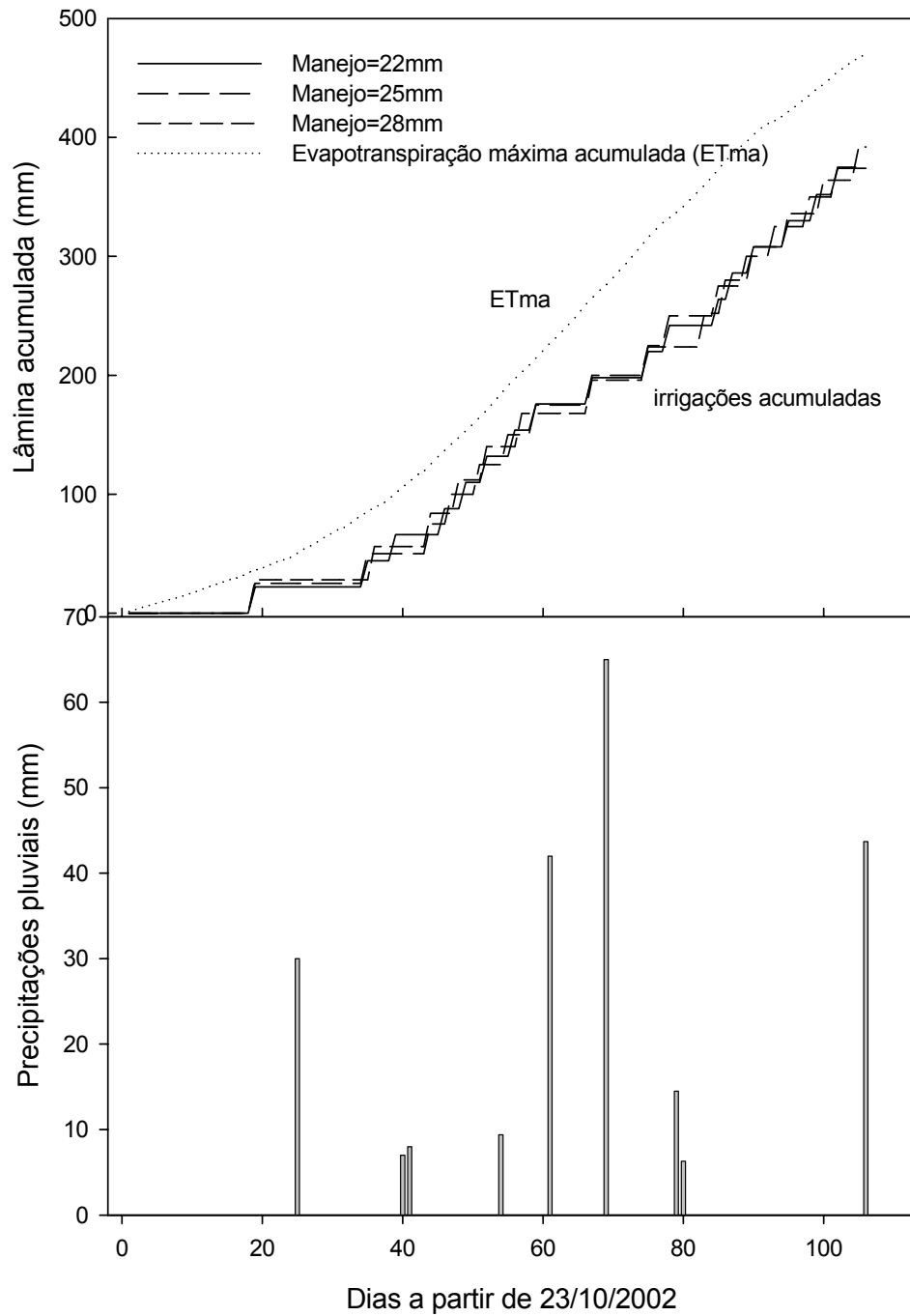


Figura 21. Valores de evapotranspiração máxima acumulada (ETma), água aplicada via irrigação e precipitações pluviárias ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata submetida a três diferentes manejos da água de irrigação, em Libertad, no ano agrícola de 2002/03.

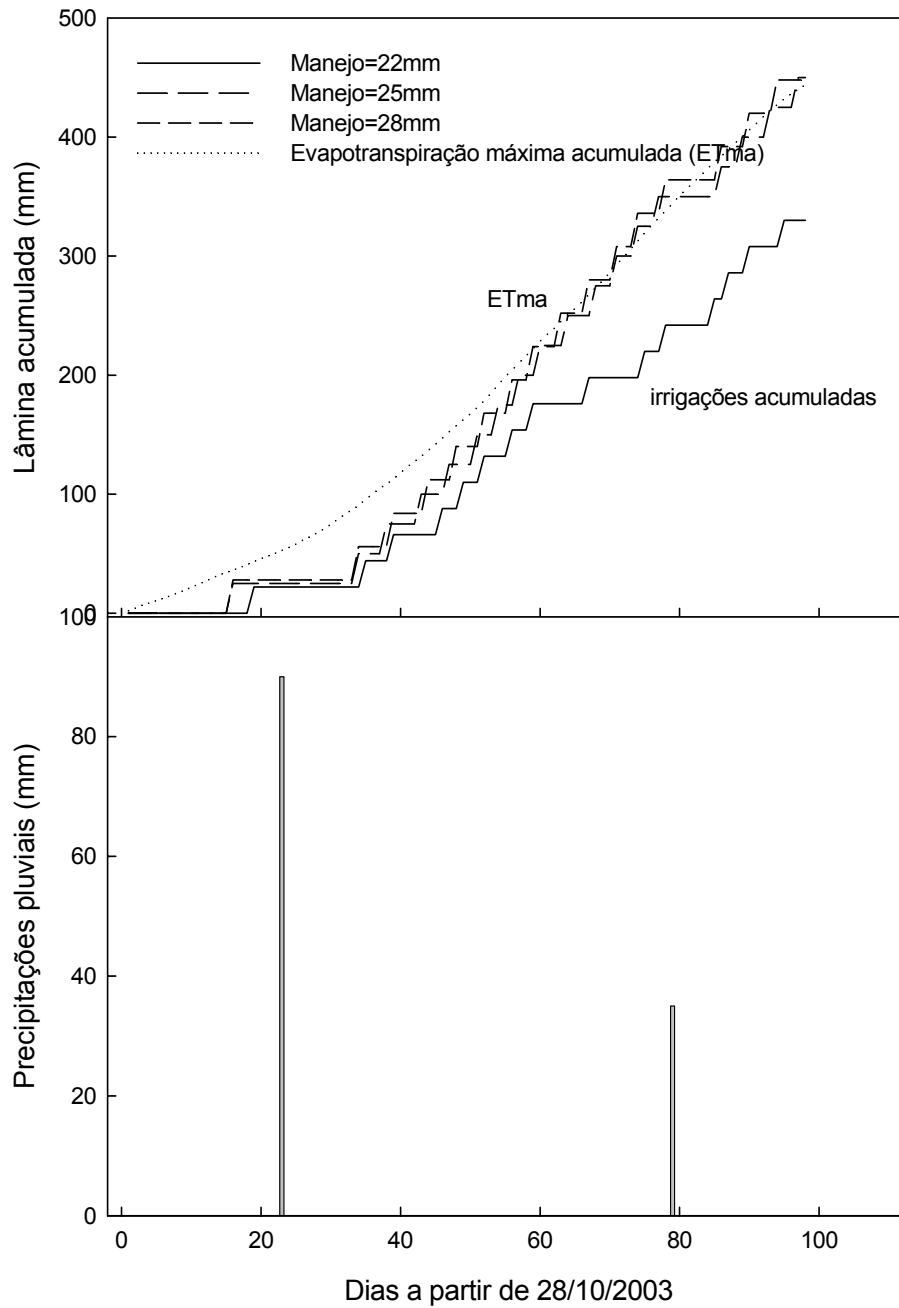


Figura 22. Valores de evapotranspiração máxima acumulada (ETma), água aplicada via irrigação e precipitações pluviárias ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata submetida a três diferentes manejos da água de irrigação, em Libertad, no ano agrícola de 2003/04.

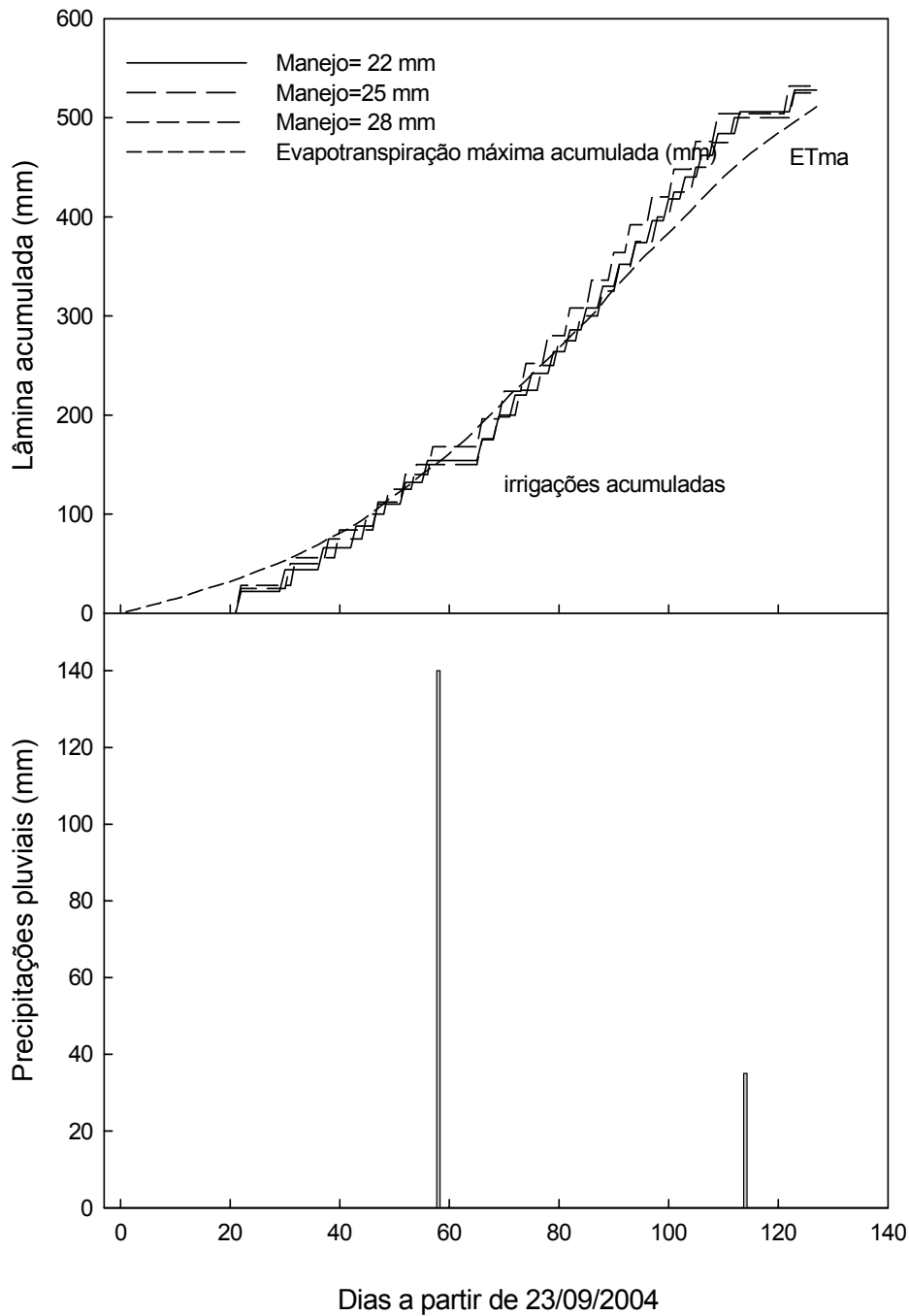


Figura 23. Valores de evapotranspiração máxima acumulada (ETma), água aplicada via irrigação e precipitações pluviiais ocorridas durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata submetida a três diferentes manejos da água de irrigação, em Rincón del Pino, no ano agrícola de 2003/04.

Tabela 8. Lâmina aplicada em cada irrigação, recomendação de irrigação, e as precipitações pluviais ocorridas em cada local onde foram aplicados os diferentes manejos da água de irrigação.

Tratamento de manejo de irrigação (mm)	Lâmina de irrigação (mm)	Lâmina aplicada pelo produtor (mm)	Precipitações pluviais (mm)
Colônia Galland – Sistema de irrigação linear. Ano agrícola de 2002/03			
13	369	52	115
17	360	68	
21	375	84	
Colônia Galland – Sistema de irrigação linear. Ano agrícola de 2003/04			
13	297	117	187
17	288	153	
21	300	189	
Libertad – Sistema autopropelido. Ano agrícola de 2002/03			
22	330	90	226
25	325	100	
28	336	110	
Libertad – Sistema autopropelido. Ano agrícola de 2003/04			
22	396	140	125
25	400	160	
28	392	180	
Libertad – Sistema pivô central. Ano agrícola de 2002/03			
15	352	161	240
Rincón del Pino (autopropelido). Ano agrícola de 2003/04			
22	440	125	225
25	450	150	
28	448	175	

4.1.5 – Componentes do rendimento

Os resultados do quadrado médio da análise de variância para o rendimento de batata (Tabela 9) indicaram diferenças significativas entre os manejos de água de

irrigação. Nas figuras 24, 25, 26 e 27 são apresentados os resultados da produção de batata para cada local onde foram conduzidos os experimentos de manejo de água de irrigação, para os anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04. A produção de batata apresentou comportamento quadrático com a máxima eficiência técnica (43 ton ha⁻¹) em Colônia Galland, no ano agrícola de 2003/04, para a aplicação de 143 mm de água de irrigação e no local Libertad a máxima eficiência técnica (39 ton ha⁻¹ e 47 ton ha⁻¹) no ano agrícola 2002/03 e 2003/04, foi observada com aplicação de 98 e 144 mm de água de irrigação, respectivamente. A aplicação de água de irrigação nos dois anos foi diferente para a cultura de batata (Tabela 8), principalmente devido as diferenças de precipitação pluvial ocorrida em cada ano durante o ciclo de desenvolvimento da batata. Resultados similares de produtividade foram também observadas por PORTER et al. (1999), que observaram respostas significativas na produção com a aplicação de 150 mm de água de irrigação suplementar.

No experimento conduzido no Rincón del Pino (Tabela 9) não foram verificadas diferenças significativas entre os manejos de água de irrigação. O rendimento máximo observado nesse local foi 49 ton ha⁻¹ para o tratamento de manejo com a aplicação de 25 mm de lamina de irrigação (Figura 27).

Tabela 9. Quadrados médio da análise de variância para rendimento total de batata para cada um dos locais onde foram aplicados os manejos da água de irrigação, nos anos agrícolas 2002/03 e 2003/04.

Causas de variação	GL	Quadrado Médio
Colônia Galland, ano agrícola de 2003/04		
Tratamento	2	7110405,08**
Modelo Linear	1	6780403,13**
Modelo Quadrático	1	7440407,04**
Resíduo	8	2024602,17
C.V.%	-	3,38
Libertad, ano agrícola de 2002/03		
Tratamento	3	17469478,08 **
Modelo Linear	1	10028481,13 **
Modelo Quadrático	1	24910475,04 **
Resíduo	9	30366384,75
C.V.%	-	5,00
Libertad, ano agrícola de 2003/04		
Tratamento	2	66826518,10**
Modelo Linear	1	86177020,17**
Modelo Quadrático	1	47476016,06**
Resíduo	8	18609680,60
C.V.%	-	5,00
Rincón del Pino, ano agrícola de 2003/04		
Tratamento	2	5136053,80 n.s.
Modelo Linear	1	2162400,67 n.s.
Modelo Quadrático	1	8109706,89 n.s.
Resíduo	8	26536546,00 n.s.
C.V.%	-	10,78

n.s.= não significativo; **=significativo em nível de probabilidade de 0,05; C.V.= coeficiente de variação; GL= graus de liberdade.

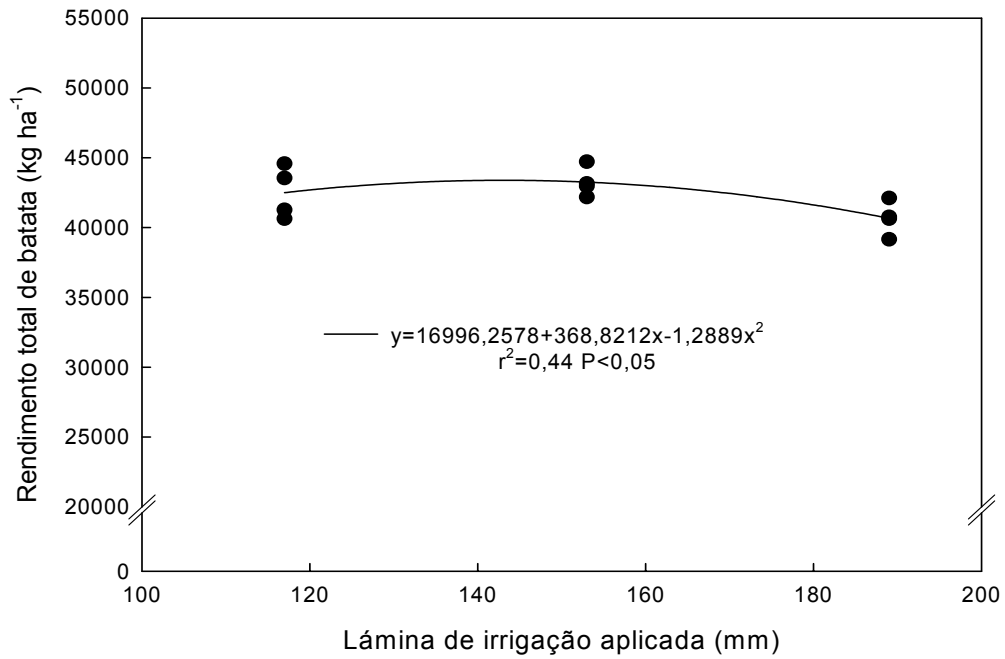


Figura 24. Rendimento total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação. Colônia Galland (linear), no ano agrícola de 2003/04.

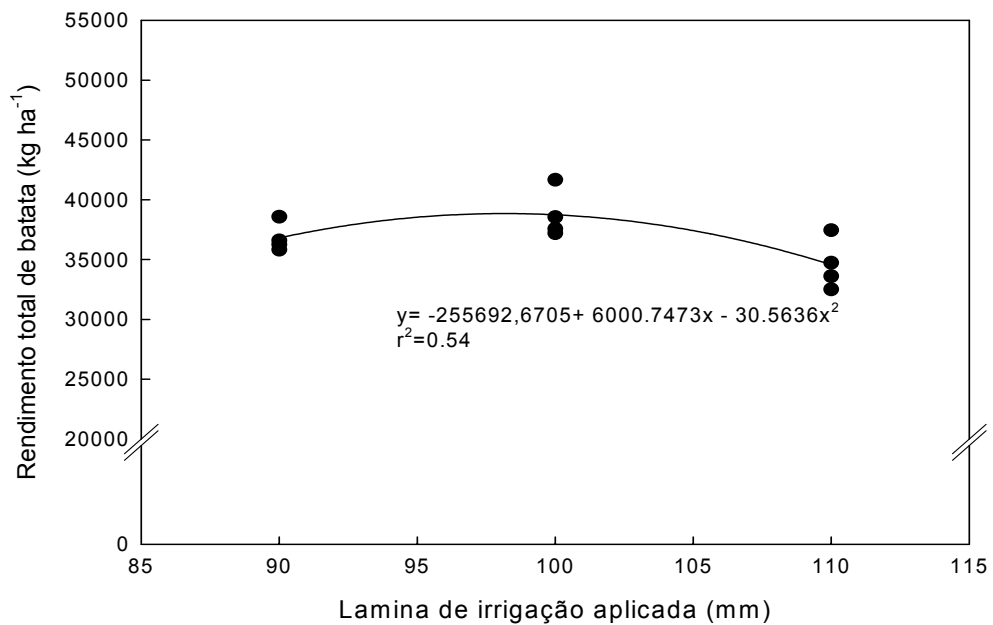


Figura 25. Rendimento total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação. Libertad (autopropelido), no ano agrícola de 2002/03.

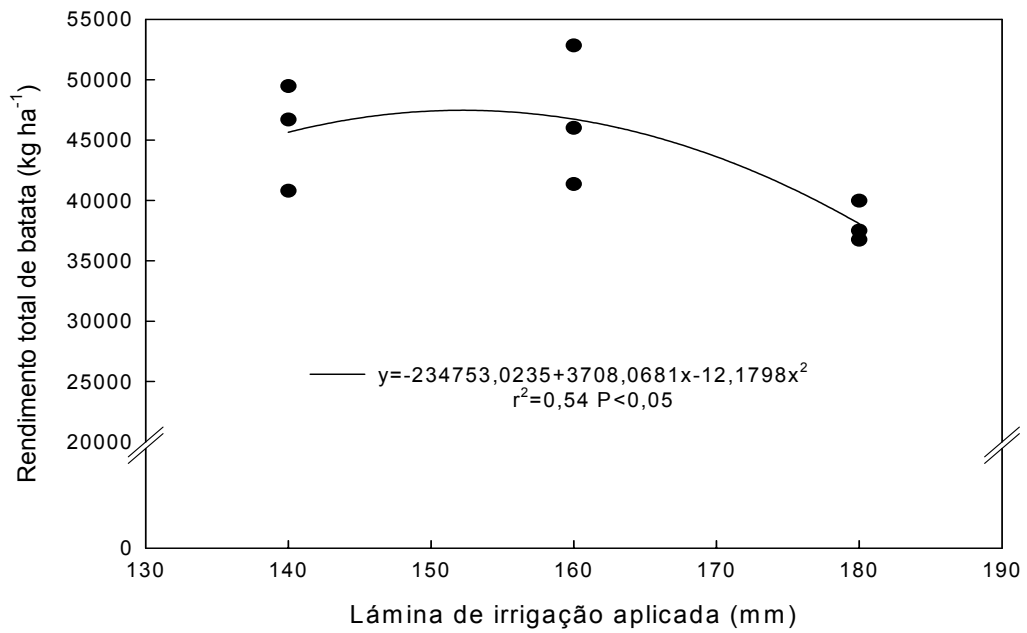


Figura 26. Rendimento total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação. Libertad (autopropelido), no ano agrícola de 2003/04.

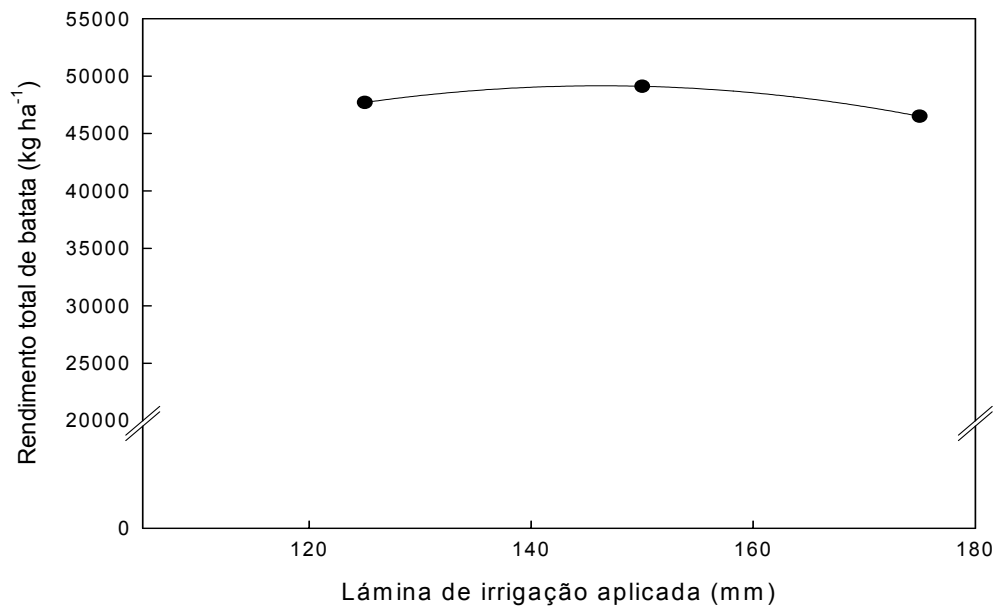


Figura 27. Rendimento total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação. Rincón del Pino (autopropelido), no ano agrícola de 2003/04.

Na tabela 10 são apresentados os resultados do quadrado médio da análise da variância para o rendimento total de batata em todos os locais onde foram conduzidos os experimentos de manejo da água de irrigação, considerando os dois anos de experimentação.

Tabela 10. Quadrados médio da análise da variância para rendimento total de batata de todos os locais onde foram aplicados os manejos da água de irrigação, nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.

Causas de variação	GL	Quadrado Médio
Modelo	2	262685853,00 *
Modelo Linear	1	391224916,20 *
Modelo Quadrático	1	134146789,80 *
Resíduo	13	10450154,30
C.V.%	-	7,55

*=significativo em nível de probabilidade de 0,05; C.V.= coeficiente de variação; GL= graus de liberdade.

A produção total de batata apresentou diferenças significativas entre os manejos da água de irrigação (Tabela 10). O manejo da água de irrigação com aplicação de 25 mm toda vez que a ET_{ma} atingiu um valor acumulado de 35 mm resultou em produtividades mais altas, quando são comparados todos os locais e anos. Esses resultados concordam com os observados por FABEIRO et al. (2001), que observaram uma máxima eficiência técnica (48 ton ha⁻¹) com aplicação de água de irrigação toda vez que a evapotranspiração máxima da cultura acumulava 25 mm. SHOCK et al. (1998) trabalhando com quatro variedades de batata e com diferentes manejos de irrigação baseados na ET_{ma}, encontraram uma máxima eficiência técnica (47 ton ha⁻¹) com aplicação de lâmina de irrigação entre 30 e 35 mm. WADDELL et al. (1999) encontraram maior produtividade da cultura quando a

evapotranspiração máxima da cultura acumulada foi de 20 mm. Por outro lado, MEYER & MARCUM (1998) obtiveram a máxima eficiência técnica na produção de batata quando a ET_{ma} acumulada indicara um valor de 15 mm.

Na tabela 11 são apresentadas as porcentagens em massa de tubérculos para os diferentes manejos de água de irrigação aplicados nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.

Tabela 11. Porcentagem em massa fresca de tubérculos para diferentes manejos de irrigação aplicados, nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.

Porcentagem em massa de tubérculo nos diferentes manejos de irrigação				
Tratamentos (mm)	-----Distribuição segundo massa do tubérculo-----			
	>250g	<250 g e >80 g	<80 g	Descarte
Colônia Galland, no ano agrícola de 2002/03 – sistema linear				
13	81,58	12,83	2,87	2,72
17	77,13	11,03	3,35	8,49
21	75,38	8,39	13,85	2,38
Colônia Galland, no ano agrícola de 2003/04 – sistema linear				
13	27,53	53,46	14,65	4,36
17	12,88	71,01	16,06	0,05
21	32,85	49,23	17,75	0,17
Libertad, no ano agrícola de 2002/03 – sistema autopropelido				
Sequeiro	35,72	47,05	13,40	3,83
22	47,09	37,84	11,28	3,78
25	36,32	49,89	11,76	2,03
28	46,37	35,96	10,19	7,49
Libertad, no ano agrícola de 2003/04 – sistema autopropelido				
22	25,06	61,60	11,18	2,15
25	21,04	60,68	15,63	2,65
28	25,68	61,63	11,27	1,42
Rincón del Pino, no ano agrícola de 2003/04 – sistema autopropelido				
22	46,38	33,57	14,44	5,61
25	45,79	36,23	13,84	4,15
28	46,24	33,75	17,63	2,37

Observa-se que mais do 80% da produção de tubérculo em todos os locais foi superior a 80 gramas, o que significa que a proporção comercializável foi elevada, resultando em uma reduzida proporção de descarte (<10%) nos dois anos de experimentação.

Na tabela 12 são apresentados os resultados do quadrado médio da análise da variância para a distribuição das porcentagens de massa de tubérculo por categoria, nos diferentes manejos da água de irrigação, nos dois anos de experimentação.

Tabela 12. Quadrado médio da análise de variância para a distribuição das porcentagens de massa fresca de tubérculo nas diferentes categorias nos distintos manejos de água de irrigação aplicados nos anos agrícolas de 2002/03 e 2003/04.

Categoria	Causas de variação	GL	Quadrado Médio
Primeira (>250 g)	Tratamento	2	0,2800 ns
	Modelo Linear	1	0,0500 ns
	Modelo	1	0,5100 ns
	Quadrático		
	Resíduo	7	9,3600
	C.V.%	-	3,6700
Segunda (>250g e < 80g)	Tratamentos	2	0,2400 ns
	Modelo Linear	1	0,0008 ns
	Modelo	1	0,5100 ns
	Quadrático		
	Resíduo	7	7,1000
	C.V.%	-	20,4000
Descarte		2	0,3140 ns
	Modelo Linear	1	0,0710 ns
	Modelo	1	0,5600 ns
	Quadrático		
	Resíduo	7	30,6400
	C.V.%	-	58,9600

ns= não significativo ; C.V.= coeficiente de variação; GL= graus de liberdade.

Os resultados da análise da variância da distribuição de fruta indicam que não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos de manejo de irrigação para cada uma das categorias avaliadas. Segundo vários autores (LIS et al., 1964; SALTER & GOODE, 1967; OJALA et al., 1990), o fornecimento de água durante todo o período de desenvolvimento da cultura deve ser o adequado para que os tubérculos consigam se desenvolver e atingir um tamanho comercial. WADDELL et al. (1999), trabalhando com três variedades de batata, não encontraram diferenças significativas nas porcentagens em massa de tubérculo, para os diferentes manejos da água de irrigação aplicados na cultura da batata em nenhuma das três variedades estudadas.

Na figura 28 é apresentado o comportamento de produção de batata nos diferentes manejos da água de irrigação. Nessa figura estão incluídos os resultados de todos os locais e nos dois anos de experimentação e sua relação com a lâmina total de água de irrigação aplicada. Os resultados do rendimento total de batata apresentou um comportamento quadrático, sendo verificado a máxima eficiência técnica ($46,6 \text{ ton ha}^{-1}$) para uma aplicação de uma lâmina de irrigação acumulada de 130 mm. A produção de batata nos tratamentos sem irrigação foi $27,8 \text{ ton ha}^{-1}$, o que representou uma redução de 42 % em relação aos tratamentos irrigados.

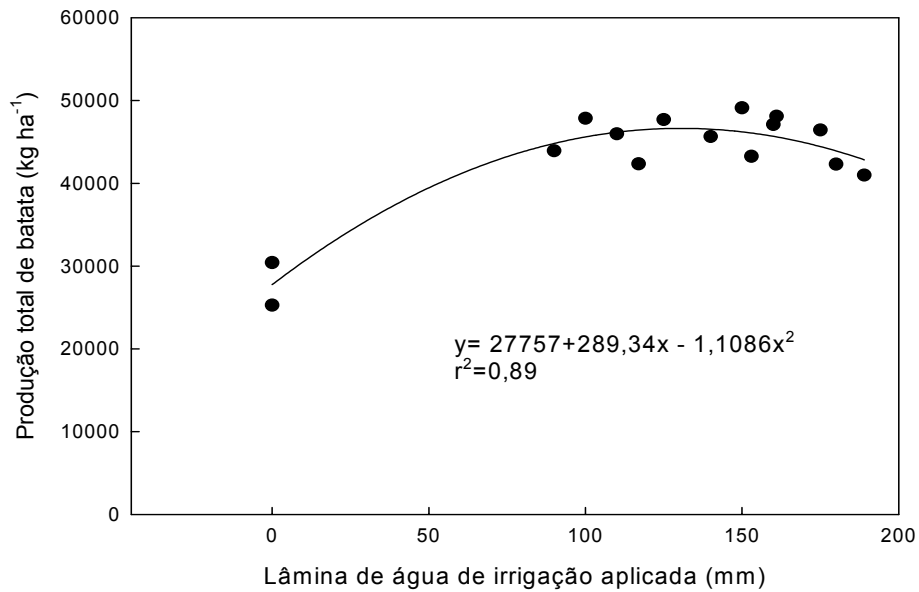


Figura 28. Relação entre a lâmina de água aplicada via irrigação e o rendimento total de batata em todas as áreas e nos dois anos de experimentação.

Esses resultados concordam com os resultados observados por SHAE et al. (1999), onde aplicando uma lâmina acumulada de 179 mm de irrigação complementar a água de chuva, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos. No Uruguai, experimentos conduzidos por CARDELINO & GARCIA (1983) resultaram em produção média de 42,7 ton ha⁻¹, com uma aplicação total de 487 mm de água (chuva + irrigação), sendo 127 mm dessa, via irrigação. WADDELL et al. (1999) reportaram aplicações de lâmina de água de irrigação de 96 e 227 mm, mais as precipitações pluviais do período, sem observar diferenças significativas na produção total e comercial de batata.

Na figura 29 são apresentados os resultados da produção de batata em função da lâmina total de água aplicada (chuva + irrigação), considerando todos os tratamentos de manejo da água de irrigação, nos dois anos de experimentação. A máxima eficiência técnica (47,3 ton ha⁻¹) foi observada com a aplicação de 357 mm

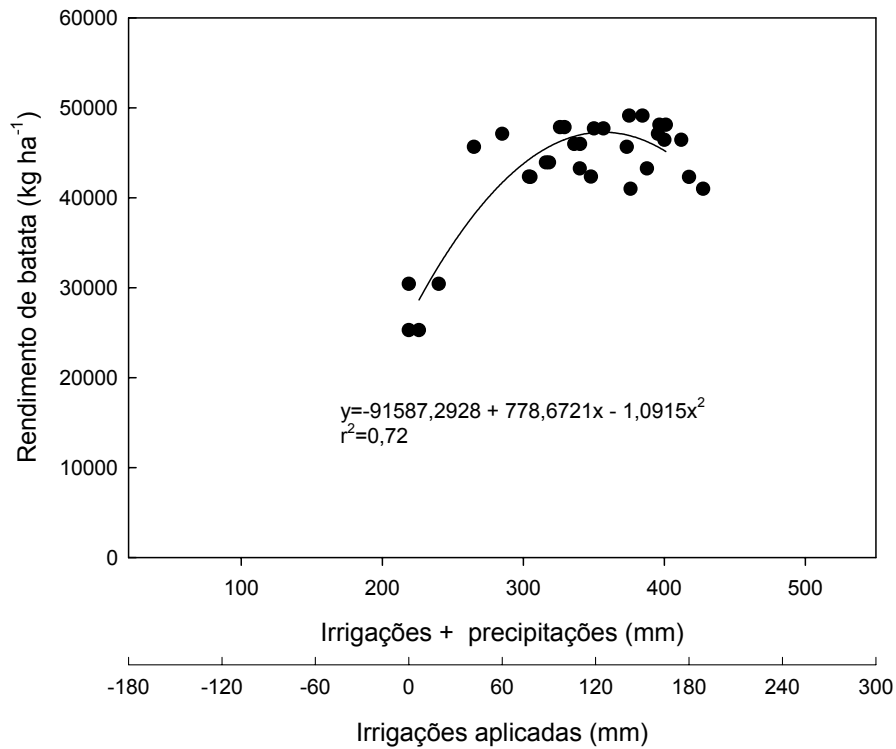


Figura 29. Relação entre a lâmina de água total aplicada (irrigação + chuvas) e a produção total de batata para os diferentes manejos da água de irrigação aplicados em todas as áreas e nos dois anos de experimentação.

de água de irrigação total. Resultados de WADDELL et al. (1999), media de dois anos, apresentam um total de água aplicada (chuva + irrigação) de 476 mm em todo o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata. Resultados de três anos de manejo de irrigação em batata, apresentados por SHOCK et al. (1998) também indicaram respostas significativas, em termos, de rendimento até uma aplicação máxima de 566 mm de lâmina de água. Em trabalhos de FABEIRO et al. (2001), na Espanha, em clima semi-árido, foram observadas aplicações de lâmina de irrigação de 520 a 570 mm para resultar em produção superior a 40 ton ha⁻¹.

4.2 – Irrigação de plantas de pêra

4.2.1 – Infiltração de água no solo

Na tabela 13 são apresentados os valores médios de infiltração de água no solo para os locais Arocena e Kasek. Nas figuras 30 e 31 são apresentados a taxa de infiltração e a infiltração acumulada para esses dois locais.

Tabela 13. Equações de infiltração de água no solo a partir da equação de Kostiakov, para os dois locais onde foram instalados o experimento de pêra, 2005.

Local	Equação de infiltração (Kostiakov)	Infiltração (mm h ⁻¹)
Kasek	$I=2,997 t^{-0.4939}$	70,54
Arocena	$i=0,4273 t^{-0.503}$	14,59

4.2.2 – Características físicas do solo

Os resultados das caracterização física dos solos onde foi instalado o experimento de manejo de irrigação em pêra são apresentados na tabela 14.

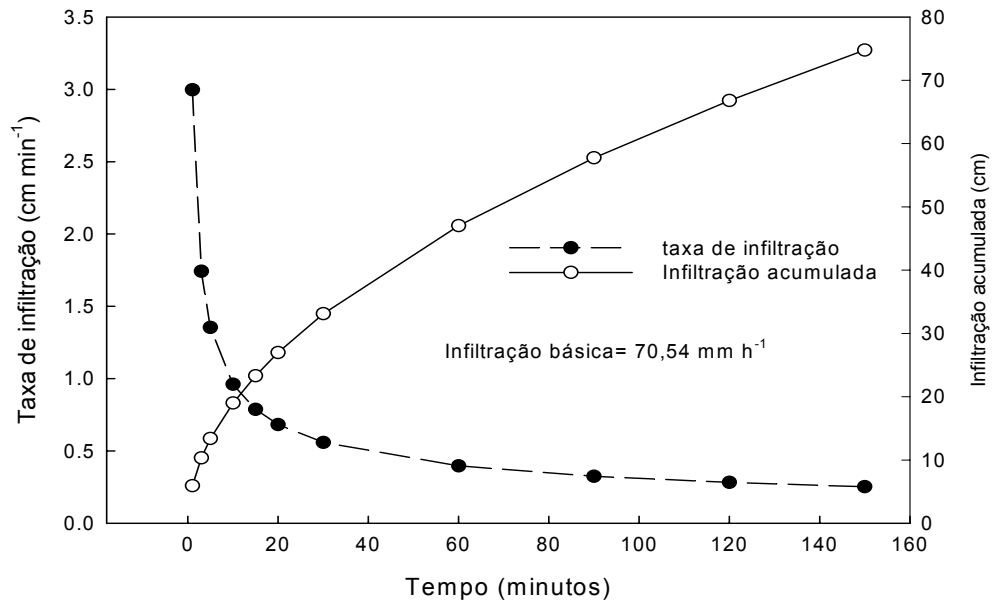


Figura 30. Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo cultivado com pêssego, local Kasek.

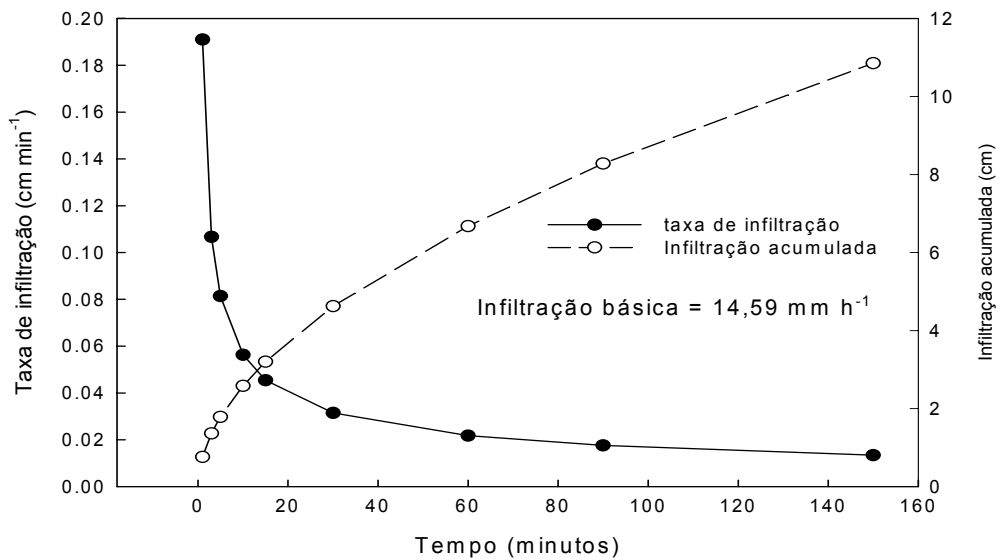


Figura 31. Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada. Solo cultivado com pêssego, local Arocena.

Tabela 14. Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade do solo com pêra (Unidade Arguidolls). Valores médios de cinco repeti oes.

Unidade de solo e local	Profundidade do solo (cm)	Densidade do solo (g cm^{-3})	Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	Macro porosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)	Micro porosidade ($\text{m}^3 \text{ m}^{-3}$)
Arguidoll Kasek	0-20	1,39	0,4412	0,0520	0,3892
	20-40	1,52	0,3585	0,0139	0,3447
	40-60	1,46	0,3970	0,0143	0,3827
Arguidoll Arocena	0-20	1,19	0,4127	0,0281	0,3846
	20-40	1,20	0,4105	0,0372	0,3733
	40-60	1,31	0,3902	0,0307	0,3595

A densidade do solo Arguidoll, em Kasek, foi mais elevada em todas as camadas, comparada a Arocena, no entanto, os valores de porosidade total, macro e microporos foram semelhantes em todo o perfil de solo.

Os resultados da curva característica de água no solo, para cada camada do perfil, para os solos cultivados com pêra, nos dois locais, são apresentados nas figuras 32 e 33.

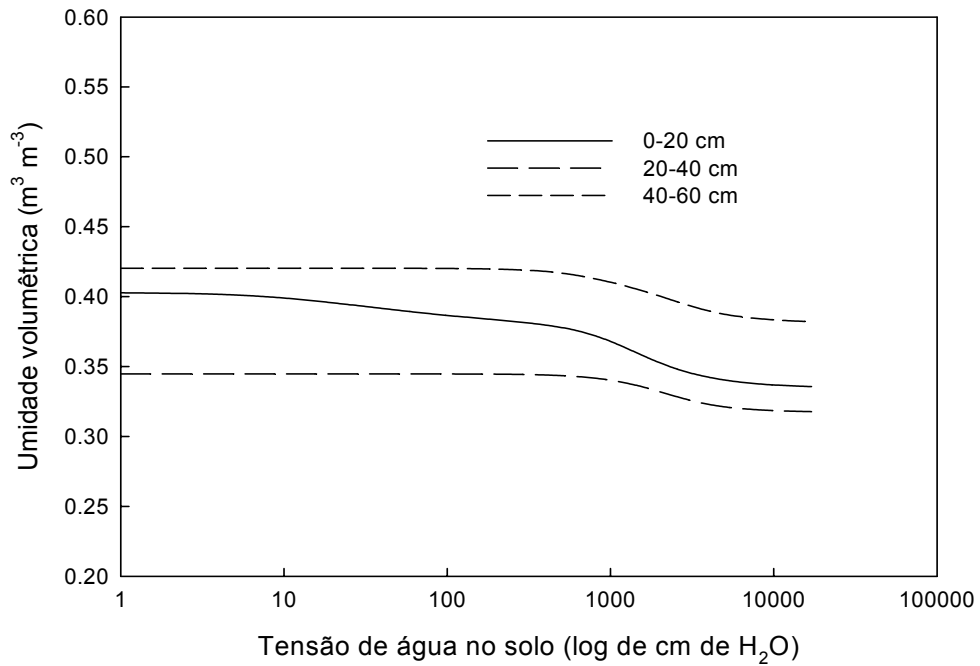


Figura 32. Curva característica de água do solo Arguidoll, local Kasek. Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.

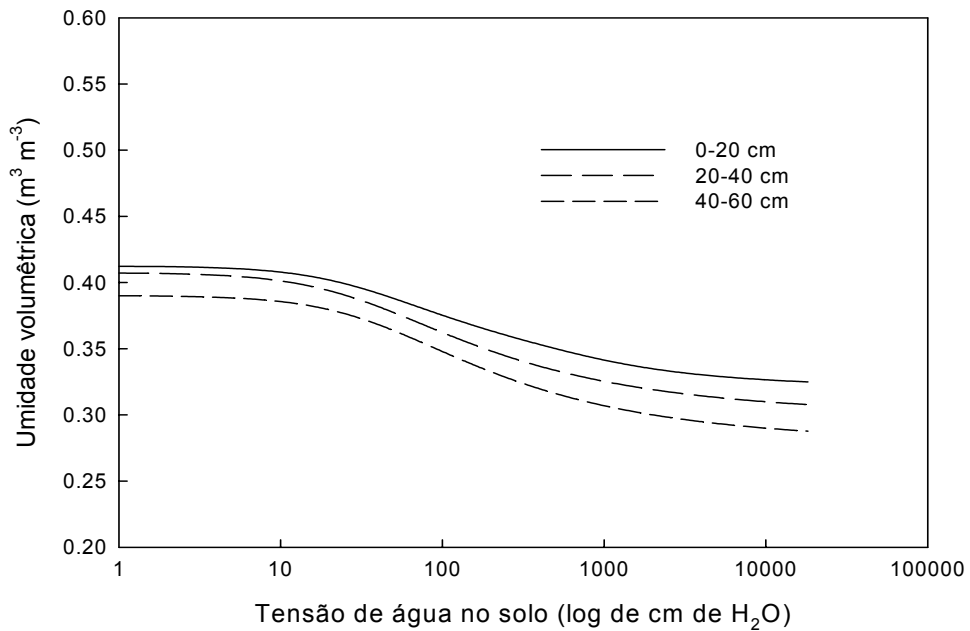


Figura 33. Curva característica de água do solo Arguidoll, local Arocena. Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.

Os parâmetros (α , n , m , θ_r e θ_s) da curva característica da água no solo, são apresentados no Anexo A, para os locais onde foram aplicados os tratamentos de manejo da água de irrigação.

4.2.3 – Determinações morfológicas das plantas de pêra

Não foram observadas diferenças significativas para o crescimento das frutas de pêra entre os diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação, nos dois locais, (Figura 34). Os diâmetros médios final de todas as frutas medidas nos diferentes manejos de irrigação foram semelhantes.

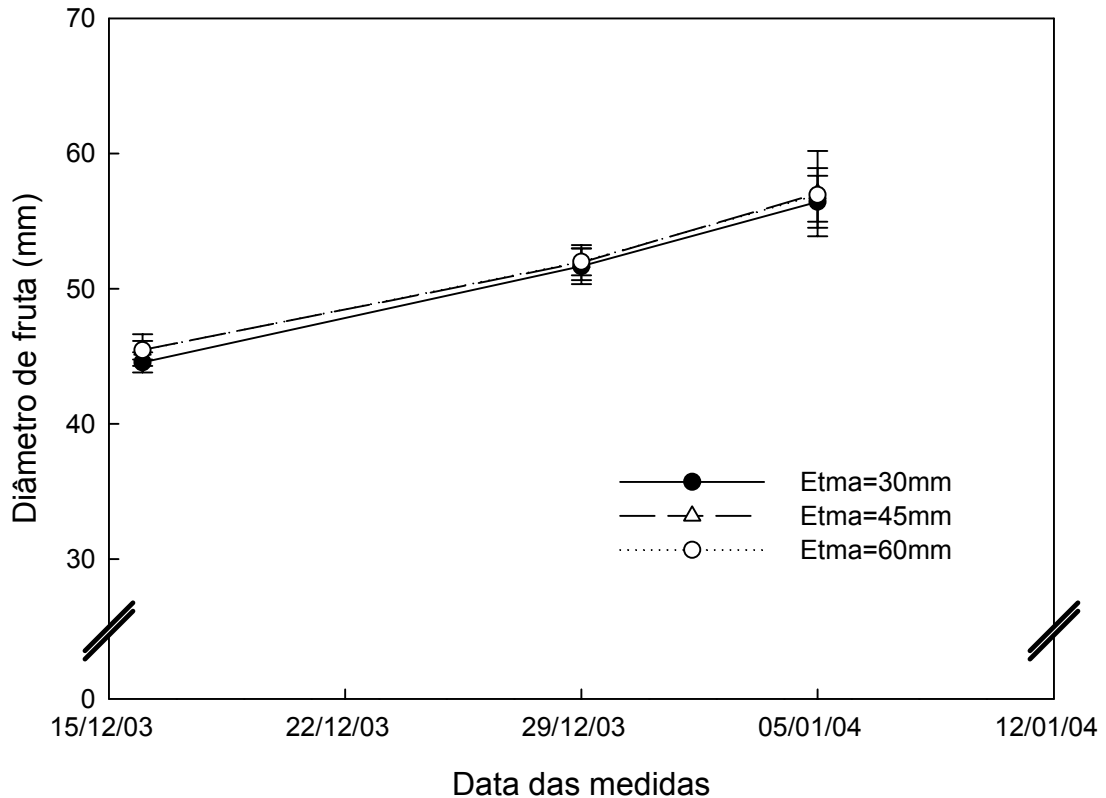


Figura 34. Evolução do crescimento de fruta das plantas de pêra (média de cinco frutas) submetidas a três tratamentos de manejo de água de irrigação.

Os diferentes manejos da água de irrigação não ocasionaram diferenças entre a secção transversal da área do tronco das árvores, altura de plantas nem do volume da copa (Tabela 15).

Tabela 15. Secção transversal da área do tronco, altura de plantas e volume da copa das plantas de pêra submetidas a diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.

Manejos da água de irrigação (mm)	Secção transversal do tronco (cm ²)	Desvio padrão	Altura de plantas de pêra (m)	Desvio padrão	Volume da copa das árvores (m ³)	Desvio padrão
30	352,50	69,07	4,68	0,45	115,25	16,80
45	352,41	37,42	5,03	0,06	119,08	8,72
60	343,59	30,55	4,89	0,32	104,68	20,75

Na tabela 16 são apresentados os resultados da análise estatística da seção transversal do tronco, altura de planta e volume de copa dos diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação aplicados.

4.2.4 – Diferenças entre a evapotranspiração máxima diária da cultura e as irrigações aplicadas

Nas figuras 35 e 36 são apresentados os resultados da diferença entre a evapotranspiração máxima acumulada e a lâmina de água aplicada (precipitações pluvial + irrigações) ocorridas nos diferentes tratamentos de manejo de água no ano agrícola de 2003/04.

Tabela 16. Quadrado médio da análise de variância da seção transversal do tronco, altura de planta área da árvore e volume de copa no cultivo de pêra submetido a diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.

Causas de variação	GL	Quadrado Médio
Secção transversal do tronco (TCA)		
Tratamento	2	680,84 ns
Modelo Linear	1	961,37 ns
Modelo Quadrático	1	400,30 ns
Resíduo	12	622,18
C.V.%	-	21,50
Altura das plantas de pêra		
Tratamento	2	341,69 ns
Modelo Linear	1	403,09 ns
Modelo Quadrático	1	280,28 ns
Resíduo	12	697,54
C.V.%	-	22,77
Volume de copa		
Tratamento	2	355,38 ns
Modelo Linear	1	347,79 ns
Modelo Quadrático	1	362,97 ns
Resíduo	12	694,50
C.V.%	-	22,72

ns= não significativo em nível de probabilidade de 0,05; C.V.= coeficiente de variação; GL= graus de liberdade

Nas figuras 37 e 38 são apresentados os resultados das aplicações de água, via irrigação, durante todo o ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas de pêra durante o ano agrícola 2003/04.

Na tabela 17 são apresentados os resultados da lâmina de irrigação recomendada para cada tratamento, as precipitações pluviais ocorridas e a lâmina de água aplicada pelo produtor em cada local onde foram aplicados os diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.

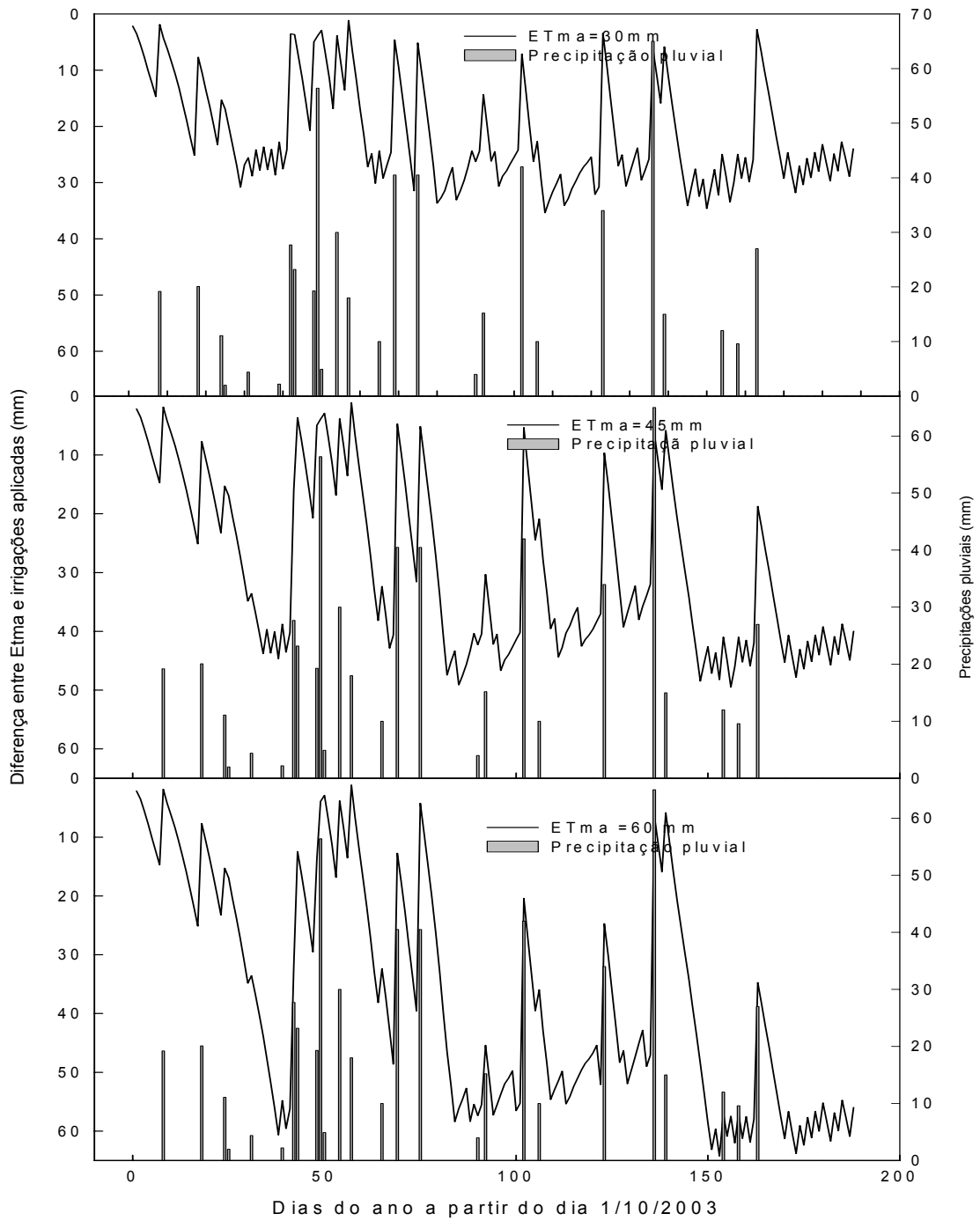


Figura 35. Diferença entre a evapotranspiração máxima ET_{ma} e a precipitação total recebida (precipitação pluviométrica + irrigações) nos diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação das plantas de pêra, em Arocena.

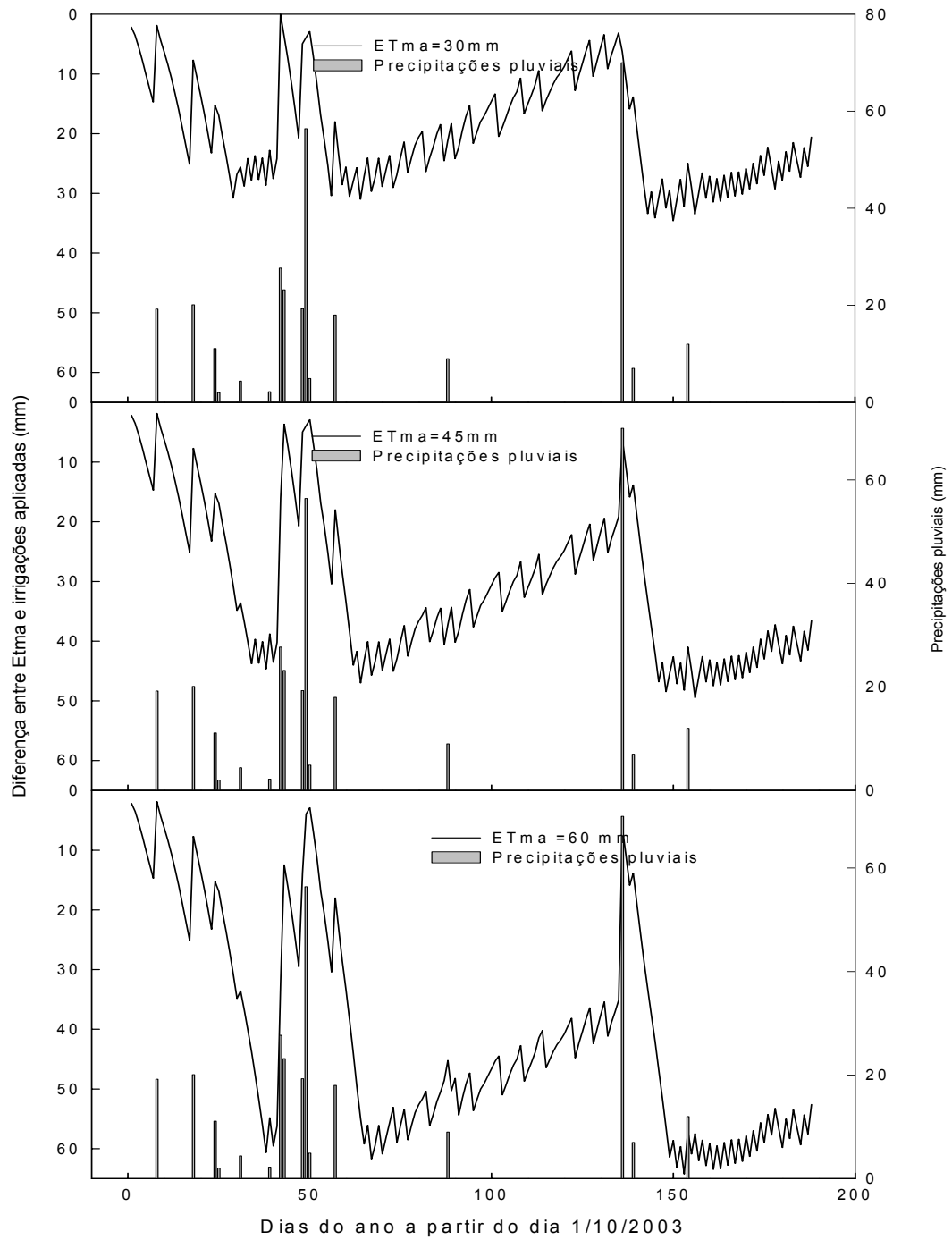


Figura 36. Diferença entre evapotranspiração máxima (ET_{ma}) e a precipitação total recebida (precipitação pluviária + irrigações) nos diferentes manejos da água de irrigação das plantas de pêra, em Kasek.

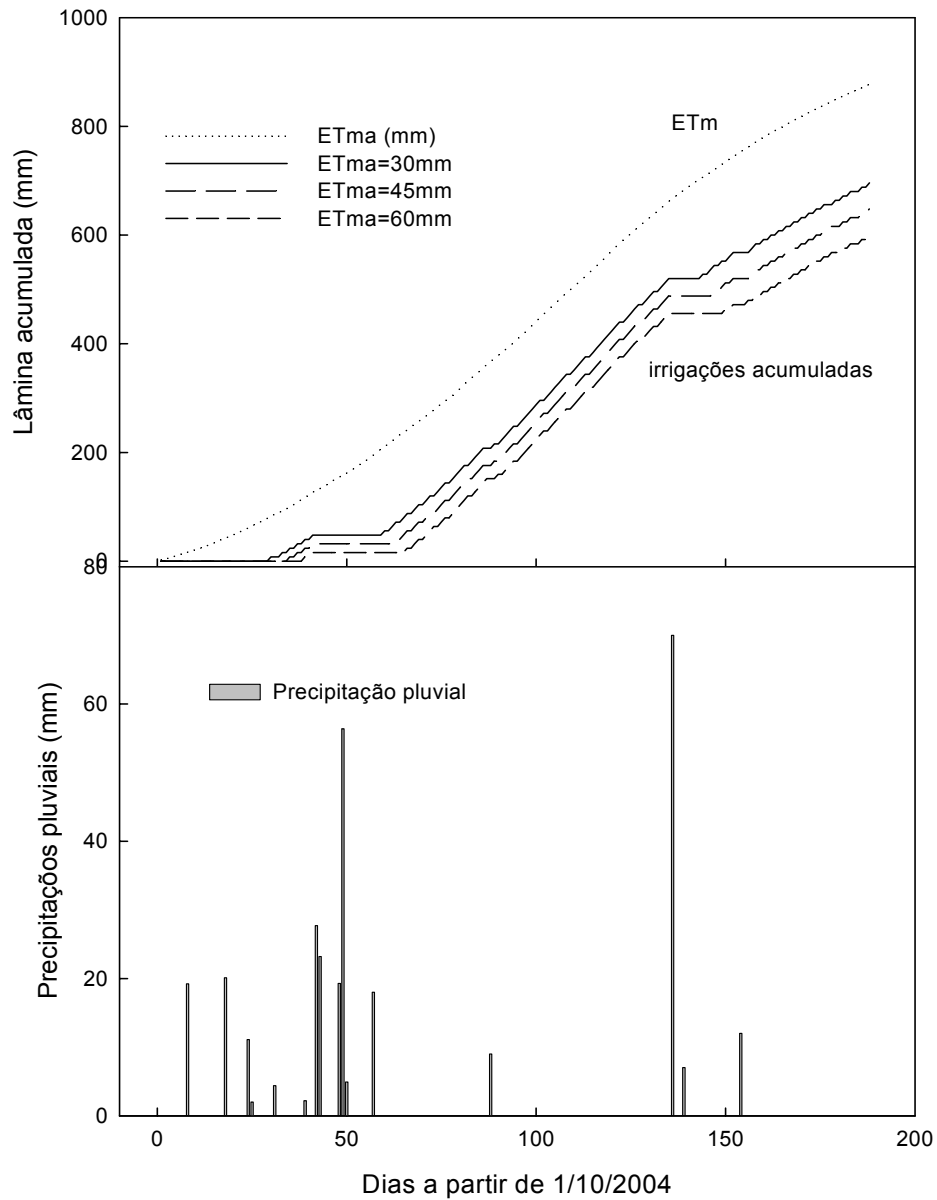


Figura 37. Evapotranspiração máxima acumulada (ETma), irrigações recomendadas pelo método de Penman-Monteith e as precipitações pluviiais nos diferentes manejos da água de irrigação das plantas de pêra em Kasek.

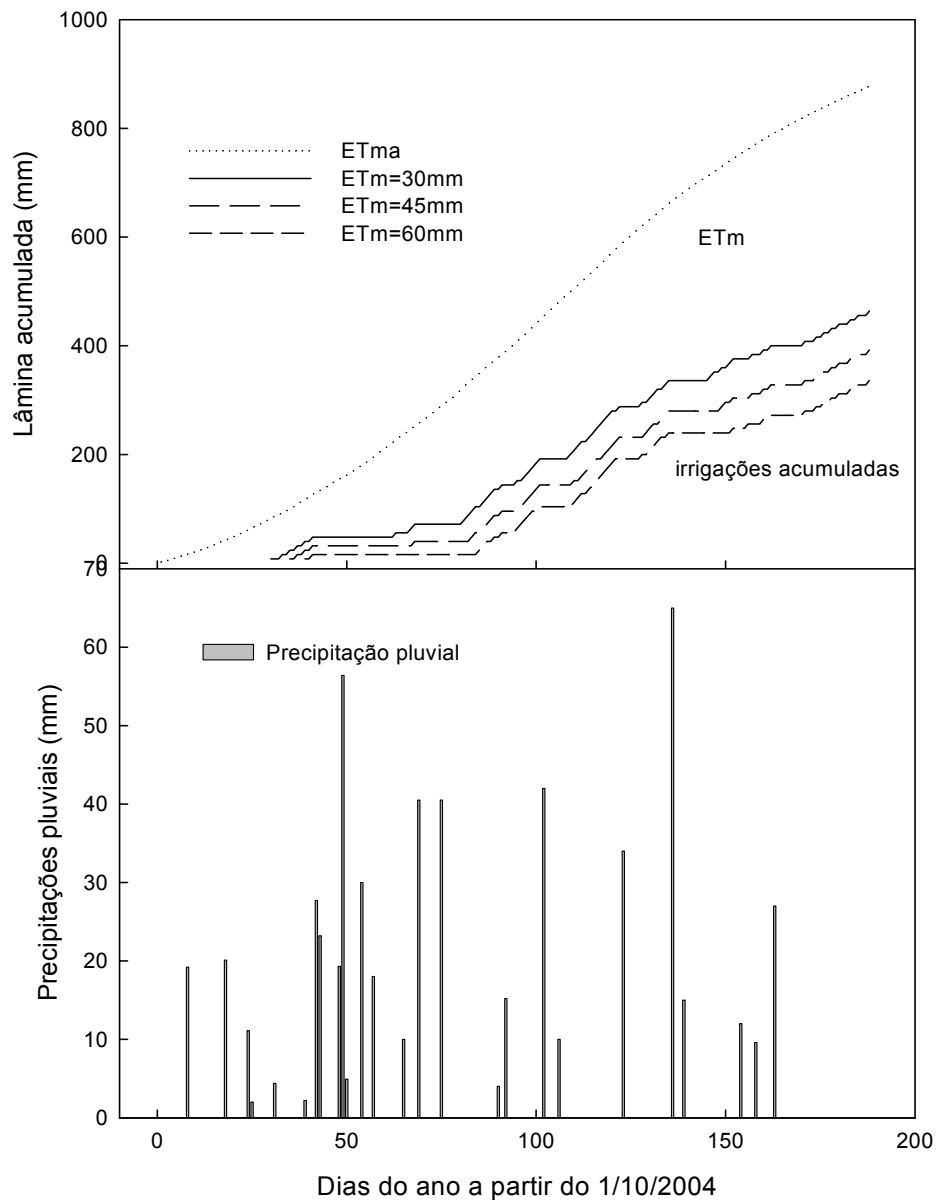


Figura 38. Evapotranspiração máxima acumulada (ET_{ma}), irrigações recomendadas pelo método de Penman-Monteith e as precipitações pluviiais nos diferentes manejos da água de irrigação das plantas de pêra em Arocena.

Tabela 17. Lâmina de irrigação recomendada, irrigações aplicadas pelo produtor e precipitações pluviais ocorridas em Arocena e Kasek, para o cultivo de pêra submetido a diferentes tratamentos de manejos da água de irrigação.

Manejo de irrigação (mm)	Lâmina de irrigação (mm)	Lâmina aplicada pelo produtor (mm)	Precipitações pluviais (mm)
Local Arocena – Sistema de irrigação microaspersão			
30	376	250	458
45	304	200	
60	248	150	
Local Kasek – Sistema de irrigação microaspersão			
30	376	243	407
45	304	243	
60	248	179	

4.2.5 – Componentes do rendimento

Na tabela 18 são apresentadas as porcentagens (em massa fresca) de fruta de pêra, nas categorias extra, primeira, segunda, terceira e pequena, segundo o critério de massa média de frutas. A massa da fruta superior a 110 gramas é considerada como de exportação. Não foram verificadas diferenças significativas na distribuição do diâmetro da fruta entre os diferentes manejos de água de irrigação avaliados. Esses resultados concordam com os reportados por PETILLO et al. (2003), que também não observaram diferenças significativas para a massa da pêra

quando avaliaram diferentes manejos de irrigação baseados na evapotranspiração máxima das plantas.

Tabela 18. Distribuição do tamanho de fruta de pêra, como porcentagem em massa fresca, segundo as diferentes categorias de diâmetro equatorial de pêra William`s submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação.

Massa da fruta de pêra (porcentagem em massa fresca) para as diferentes categorias								
Tratamentos de irrigação (mm)	Diâmetro equatorial de fruta (mm)							
	90-110	111-130	131-150	151-170	171-190	191-210	211-230	>231
30	4,08	15,12	26,39	23,69	16,96	8,61	3,12	2,02
45	3,07	14,84	23,76	24,86	18,65	5,74	6,31	2,77
60	2,39	18,83	22,52	28,73	9,44	10,16	4,57	3,39

Na tabela 19 são apresentados os resultados do quadrado médio da análise da variância para o rendimento total de pêra nos dois locais onde foram aplicados os tratamentos de manejo da água de irrigação.

Tabela 19. Resultado do quadrado médio da análise da variância para rendimento total de fruta de pêra para três tratamentos de manejo da água de irrigação.

Causas de variação	GL	Quadrado Médio
Manejo de irrigação (ETm)		
Tratamento	2	178565978,7**
Modelo Linear	1	304194550 **
Modelo Quadrático	1	52937407,30**
Resíduo	12	6393855,10
C.V.%	-	4,56

**=significativo em nível de probabilidade de 0,05; C.V.= coeficiente de variação; GL= graus de liberdade

Na figura 39 são apresentados os resultados da produção de pêra em relação a lâmina total de água aplicada (chuva + irrigação), para todos os tratamentos de manejo da água de irrigação. Os diferentes manejos da água de irrigação ocasionaram diferenças na produção total de frutas de pêra. Foi verificado um comportamento quadrático da produção de pêra com a máxima eficiência técnica ($58,8 \text{ ton ha}^{-1}$) com a utilização do manejo de irrigação com aplicação de 35 mm de ETma. Em média, foram aplicados 180 mm de água via irrigação como complemento da água da chuva. Resultados similares foram obtidos por GARCIA PETILLO et al. (2003), que na media de seis anos de experimentação com pêra irrigada no Uruguai, alcançaram um incremento de 64 % da produção comercial, aplicando uma lâmina média de irrigação de 170 mm.

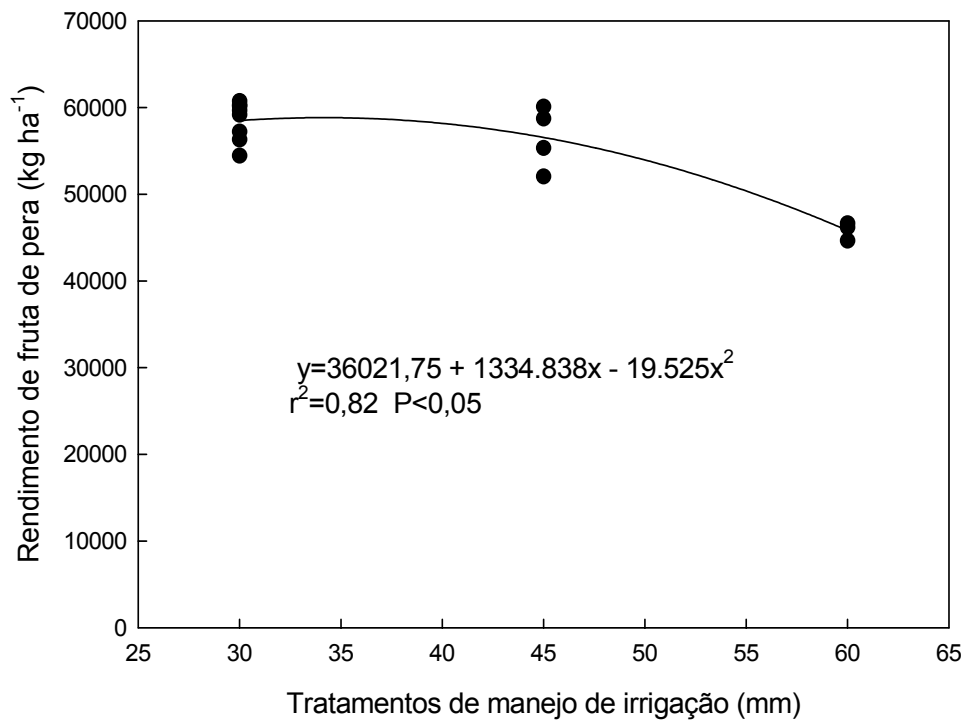


Figura 39. Rendimento de fruta de pêra para os diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação.

Nesses dois anos a média das precipitações pluviais no período de outubro a dezembro foi de 569 mm. BRUN et al. (1985) verificaram aumentos do tamanho de fruta e na produção total com irrigações de até 815 mm durante todo o ciclo de crescimento das plantas e frutas.

4.3 – Irrigação de plantas de maçã

4.3.1 – Infiltração de água no solo

A equação de infiltração de água no solo onde foi conduzido o experimento de maçã ajustada pela equação de Kostiakov (1932) foi a seguinte:

$$I = 0,191 \times t^{-0,8815}$$

Os resultados representam a média de três repetições. A capacidade de infiltração ou infiltração básica de água no solo foi ajustada pela equação de Kostiakov (1932). A capacidade de infiltração ou infiltração básica obtida foi 2,67 mm h⁻¹.

Segundo BERNARDO (1982) os solos com capacidade de infiltração inferior a 5,0 mm h⁻¹ são classificados como de infiltração baixa. Na figura 40 é apresentada a equação de infiltração (Kostiakov) obtido a partir dos dados de campo, em Pattarino.

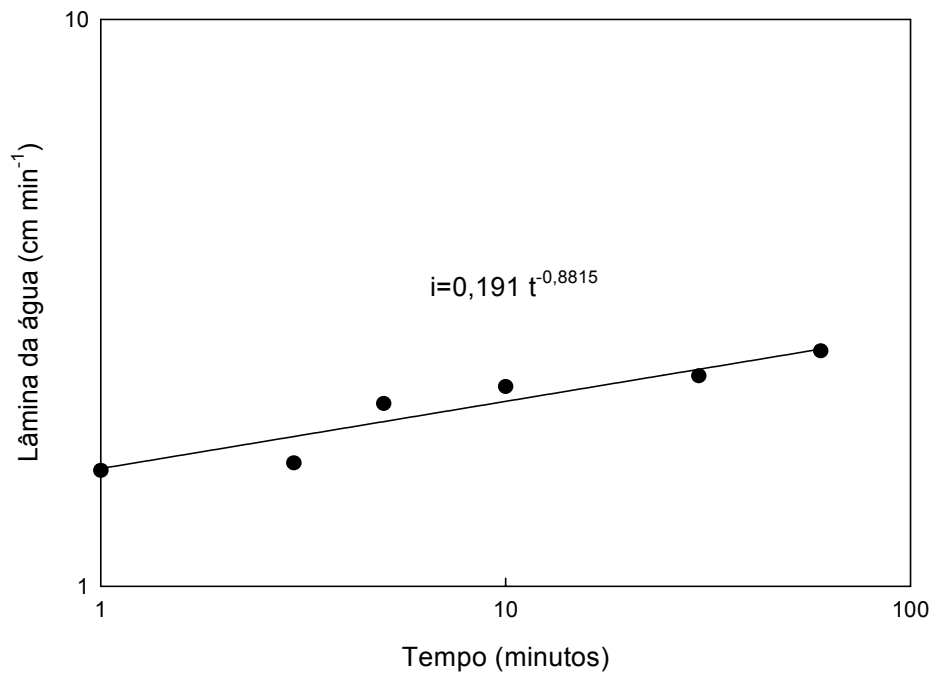


Figura 40. Infiltração de água no solo (media de três repetições), estimada pela equação de Kostiakov, em um pomar de maçã Royal Gala.

Na figura 41 são apresentados a taxa de infiltração e a infiltração acumulada para o solo Argiudoll na área de maçã irrigada.

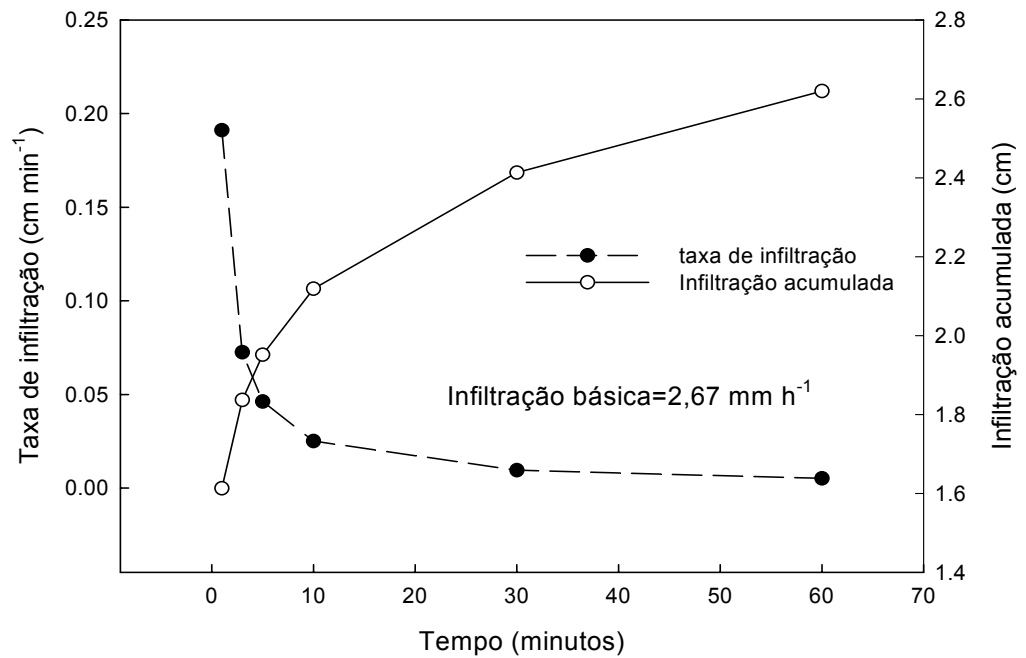


Figura 41. Taxa de infiltração de água no solo e infiltração acumulada, cultivo de maçã, em Pattarino.

4.3.2 – Características físicas do solo

Os resultados das características físicas do solo (densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade) do local onde foi instalado o experimento de manejo de irrigação em maçã são apresentados na tabela 20. As densidades do solo nas três camadas de 0-20, 20-40 e 40-60 cm de profundidade foram similares, aumentando o valor de densidade do solo com o aumento na profundidade do perfil. Pode-se observar que o valor de porosidade total foi semelhante nas três camadas do perfil do solo.

Tabela 20. Densidade do solo, porosidade total, macro e microporosidade no solo cultivado com maçã (Unidade Argiudolls). Valores médios de cinco repetições.

Local e unidade de solo	Profundidade do solo (cm)	Densidade do solo (g cm^{-3})	Porosidade Total ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Macro porosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	Micro porosidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)
Pattarino	0-20	1,34	0,4132	0,0811	0,3321
Argiudoll	20-40	1,38	0,4075	0,0275	0,3800
	40-60	1,46	0,4050	0,0306	0,3744

Os resultados da curva característica de água no solo em cada camada do perfil, para o solo cultivado com maçã, é apresentado na figura 42.

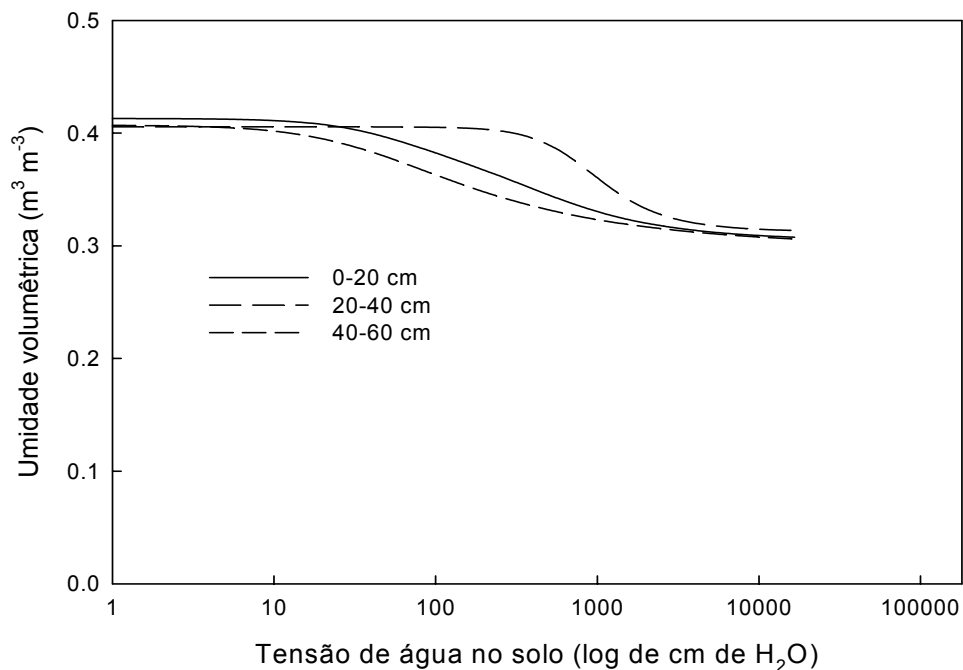


Figura 42. Curva característica de água do solo Argiudoll, local Pattarino. Dados estimados a partir dos parâmetros da equação de Van Genuchten.

Os parâmetros (α , n , m , θ_r e θ_s) da curva característica da água no solo, são apresentados no Anexo A, para o local onde foram aplicados os tratamentos de manejo da água de irrigação.

4.3.3 Medidas morfológicas das plantas de maçã

A evolução do crescimento das frutas de maçã é apresentada na figura 43. Não foram observadas diferenças significativas para o crescimento das frutas entre os diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação. Os diâmetros médios de todas as frutas medidas nos diferentes tratamentos de manejo de irrigação aplicados alcançaram diâmetros finais semelhantes.

Esses resultados concordam com os encontrados por ASSAF et al. (1984) onde, na média de três anos de experimentação em um pomar de maçã Delicious e Jonathan, com seis diferentes tratamentos de manejo de irrigação não encontraram diferenças significativas nos diâmetros médios das frutas de maçã.

Verificou-se um maior diâmetro final de fruta no tratamento que recebeu maior quantidade de irrigação. A partir da sexta semana de medição do diâmetro o tratamento de manejo da água de irrigação com aplicação de 30 mm de ETma apresentou um maior incremento no crescimento do diâmetro das frutas de maçã em relação aos demais manejos da água de irrigação (Figura 43).

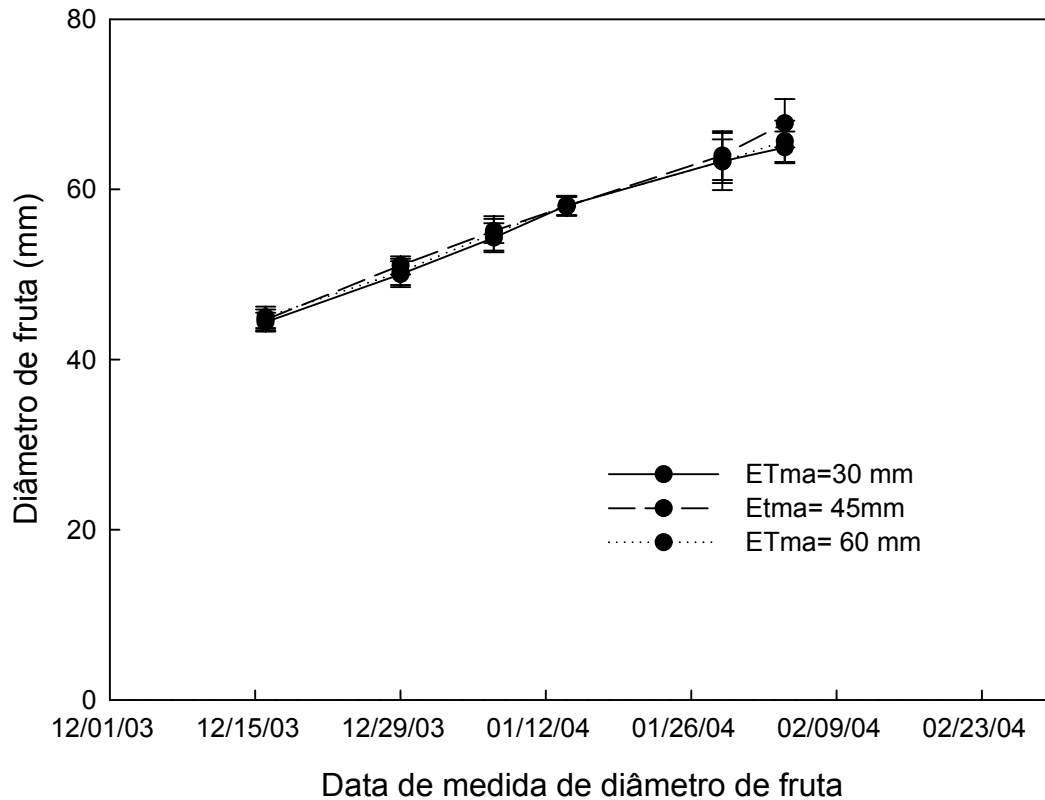


Figura 43. Evolução do diâmetro de fruta de maçã Royal Gala submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação.

Nos valores de crescimento do tronco das plantas de maçã, medido a partir da secção transversal da área do tronco da planta, não foram observadas diferenças significativas, para os diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação. Esses resultados concordam com os dados reportados por LÖTTER et al. (1985), trabalhando em pomar de maçã na África do Sul e por IRVING & DROST (1987) trabalhando na Nova Zelândia com diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação.

A variação de volume de copa das plantas de maçã é apresentada na figura 44. Para os três tratamentos de manejo da água de irrigação não foram verificadas diferenças significativas no volume de copa.

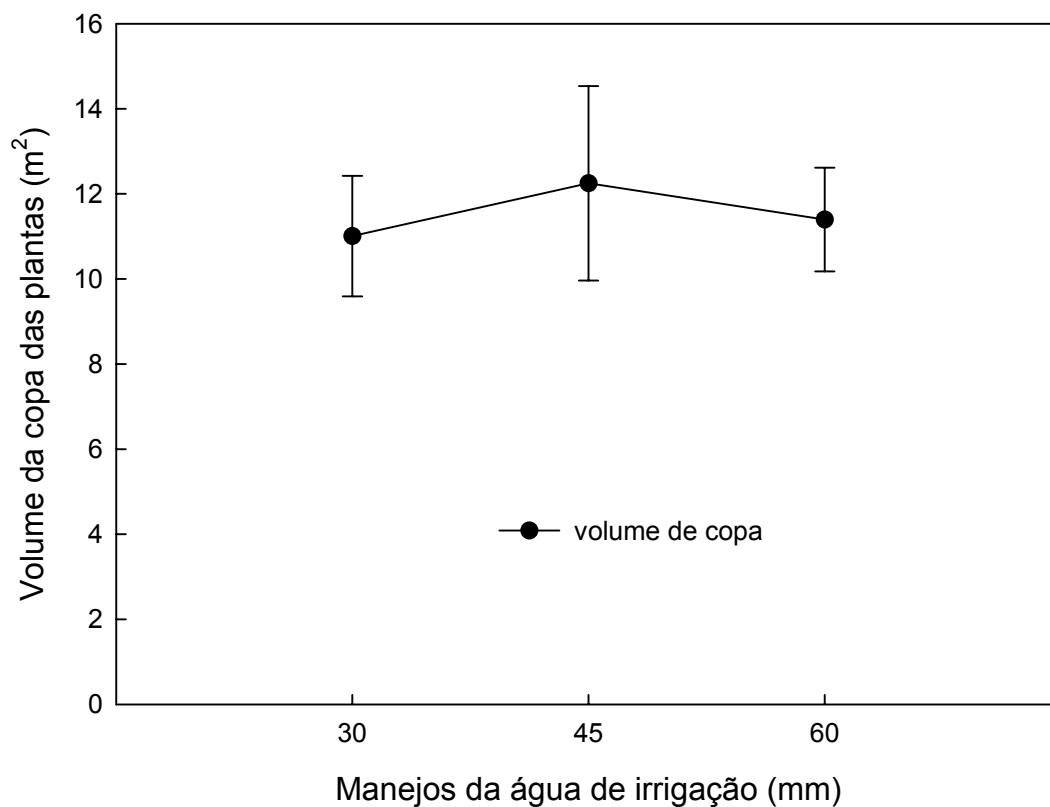


Figura 44. Evolução do volume da copa das plantas de maçã Royal Gala submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação.

Na tabela 21 são apresentados os resultados da análise da variância para a secção transversal do tronco e volume de copa para os diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.

Tabela 21. Quadrado médio da análise de variância da secção transversal do tronco, e volume de copa de plantas de maçã submetidas a diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação.

Causas de variação		GL	Quadrado Médio
Seção transversal do tronco (TCA)			
Tratamento		2	351,64 ns
Modelo Linear		1	545,69 ns
Modelo Quadrático		1	157,59 ns
Resíduo		8	201,88
C.V.%		-	10,40
Volume de copa			
Tratamento		2	1,39 ns
Modelo Linear		1	1,22 ns
Modelo Quadrático		1	1,56 ns
Resíduo		8	2,36
C.V.%		-	13,14

*=significativo em nível de probabilidade de 0,05; C.V.= coeficiente de variação; GL= graus de liberdade

4.3.4 – Diferença entre a ET_{ma} e as irrigações aplicadas

Na figura 46 são apresentados os resultados da diferença entre a ET_{ma} e as precipitações (precipitações pluviais + irrigações) ocorridas no local onde foram aplicados os diferentes tratamentos de manejo de água no ano agrícola de 2003/04. Na figura 47 são apresentados os resultados das aplicações de água via irrigação durante todo o ciclo de crescimento e desenvolvimento das plantas para o ano agrícola de 2003/04.

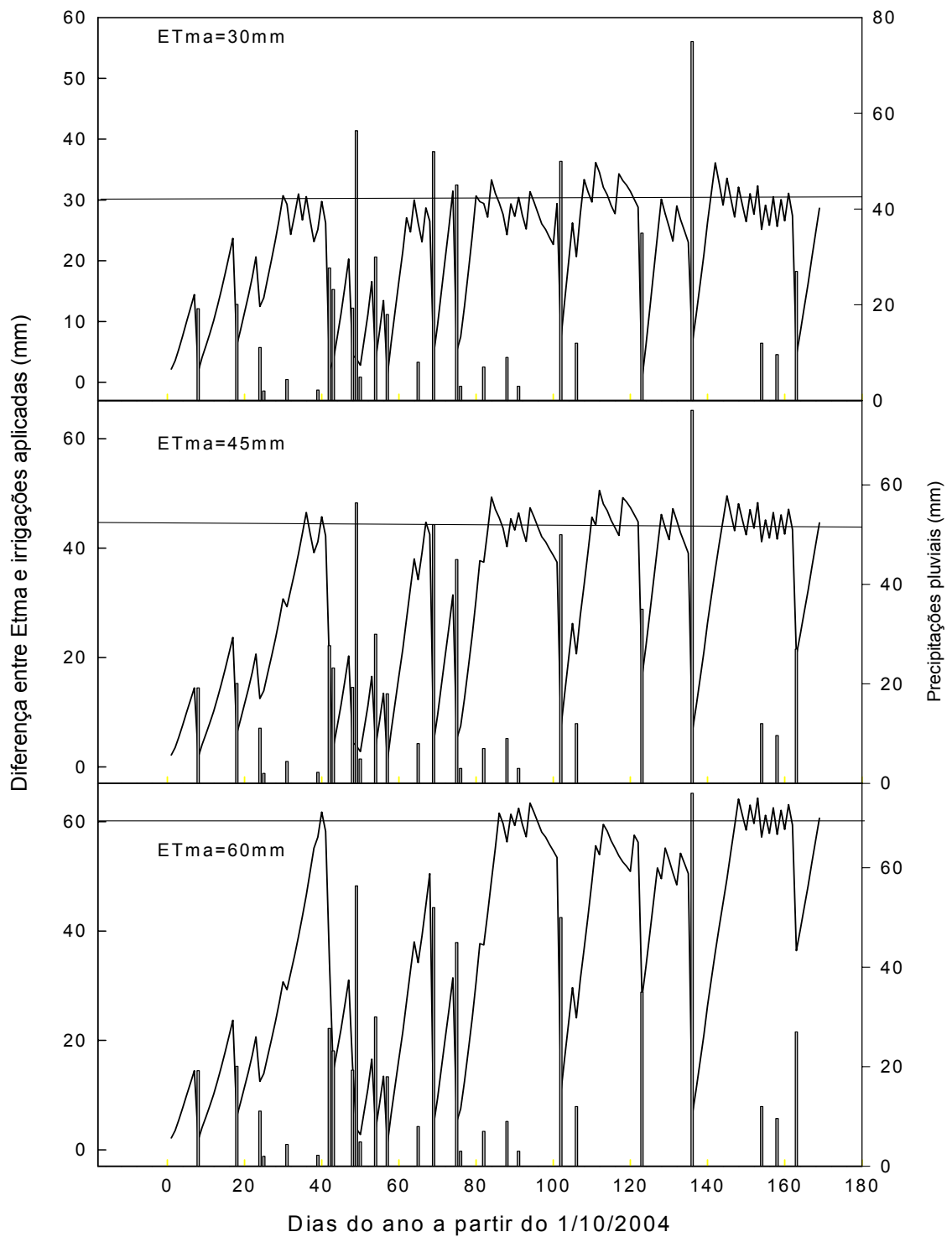


Figura 45. Diferença entre a evapotranspiração máxima ETma e a precipitação total (precipitação pluviial + irrigações) nos diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação das plantas de maçã, em Pattarino.

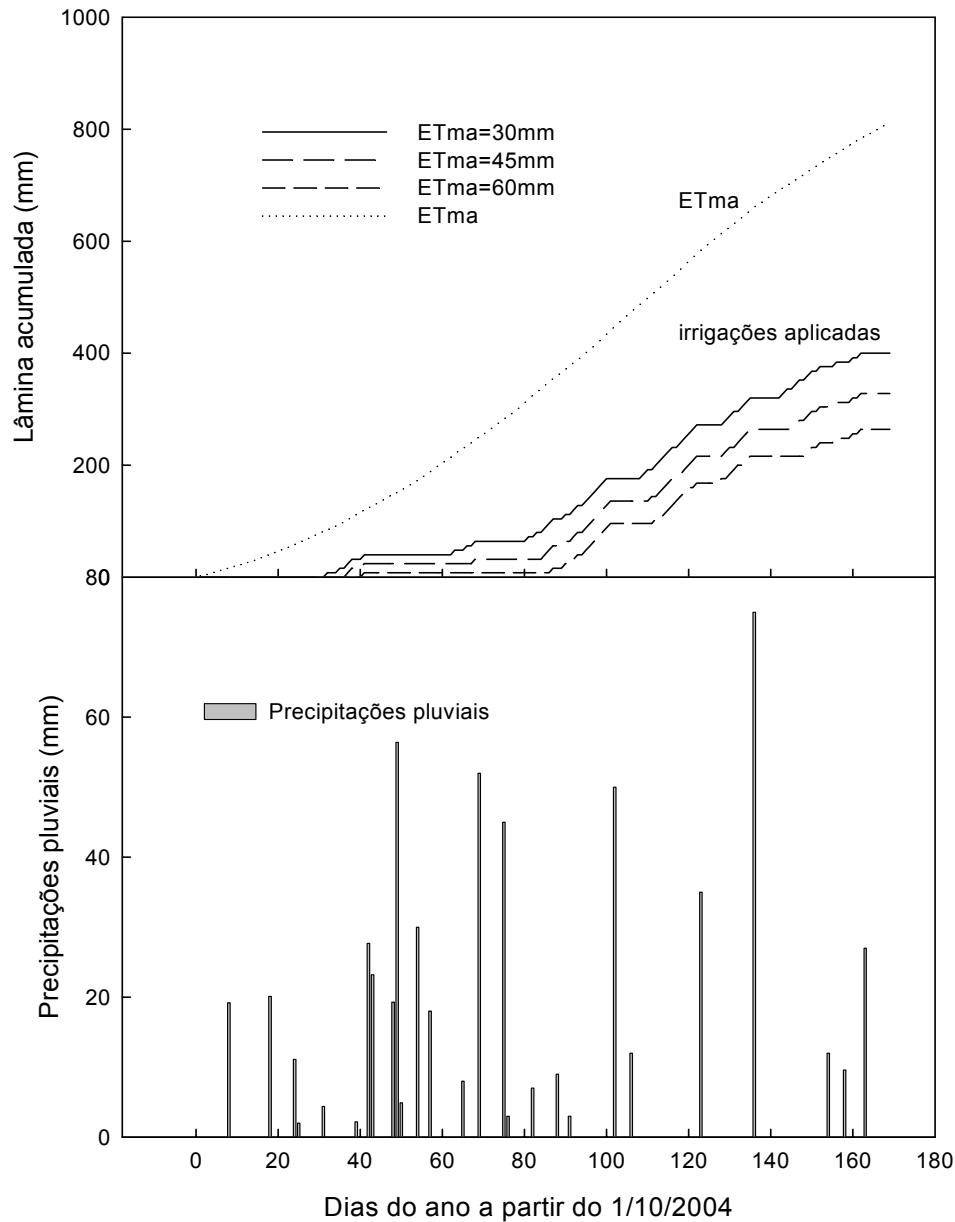


Figura 46. Evapotranspiração máxima acumulada (ETma), irrigações recomendadas pelo método de Penman-Monteith e as precipitações pluviais nos diferentes manejos da água de irrigação das plantas de maçã, em Pattarino.

Na tabela 22 são apresentados os resultados da lâmina de irrigação recomendada em cada tratamento, as precipitações pluviais ocorridas e a lâmina de água aplicada pelo produtor no pomar de maçã.

Tabela 22. Lâmina de irrigação recomendada, lâmina de irrigação aplicada pelo produtor e as precipitações pluviais ocorridas durante o cultivo de maçã submetido a diferentes tratamentos de manejos da água de irrigação.

Tratamento de manejo de irrigação (mm)	Lâmina de irrigação (mm)	Lâmina aplicada pelo produtor (mm)	Precipitações pluviais (mm)
Local Pattarino – Sistema de irrigação gotejadores			
30	376	276	481
45	304	240	
60	240	190	

4.3.5 – Componentes do rendimento

Na tabela 23 são apresentadas as porcentagens (em massa) dos frutos de maçã, nas categorias extra, primeira, segunda, terceira e pequena, segundo o critério do diâmetro equatorial de fruta. Frutas de diâmetro superior a 40 mm são consideradas de exportação. Observa-se na tabela, que as frutas com diâmetro inferior a 40 mm, mais os frutos descartados representaram em conjunto menos de 10% dos frutos para os três manejos de irrigação.

Tabela 23. Distribuição porcentual do tamanho dos frutos de maçã segundo as diferentes categorias de diâmetro equatorial, variedade maçã Royal Gala submetida a três tratamentos de manejo de água de irrigação.

Manejos da água de irrigação (mm)	Diâmetro equatorial de fruta (mm)					descarte
	<40	40-50	50-60	60-70	> 70	
30	4,19	26,03	31,02	33,39	4,49	0,87
45	5,06	23,13	34,72	32,21	3,85	1,04
60	6,85	24,55	30,39	32,44	4,50	1,26

Não foram verificadas diferenças significativas na distribuição de diâmetro de fruta para os distintos tratamentos de manejo de água de irrigação (Tabela 24). Esses resultados concordam com os apresentados por PETILLO et al. (2003), que não verificaram diferenças significativas em relação ao diâmetro de fruta. No entanto, a produção total de fruta de maçã exportável apresentou um comportamento quadrático, com a máxima eficiência técnica ($66,6 \text{ ton ha}^{-1}$) com a utilização do manejo de irrigação com aplicação de 45 mm de ETma.

Tabela 24. Quadrado médio da análise da variância para rendimento de fruta exportável de maçã submetida a três tratamentos de irrigação.

Causas de variação	GL	Quadrado Médio
Manejo de irrigação		
Tratamento	2	9548192,44 *
Modelo Linear	1	438480,67 ns
Modelo Quadrático	1	18657904,22 *
Resíduo	8	1551937,44
C.V.%	-	1,93

*=significativo em nível de probabilidade de 0,05; C.V.= coeficiente de variação; GL= graus de liberdade

Para o rendimento de fruta não exportável, não foi verificada diferença significativa para os diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação. Na figura 48 são apresentados os resultados da produção de fruta de maçã para os diferentes tratamentos de manejo da água de irrigação. O rendimento de frutos de maçã apresentou um comportamento quadrático, com a máxima eficiência técnica (70 ton ha^{-1}) com a aplicação de 45 mm de Etma.

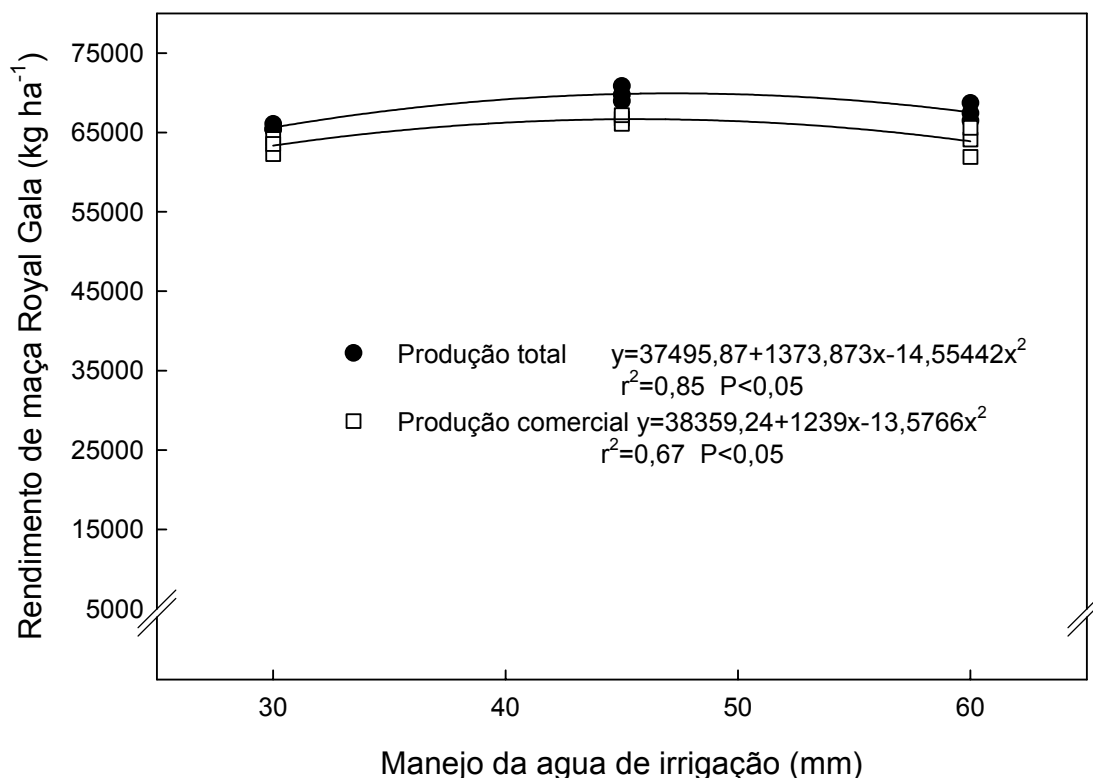


Figura 47. Produção de frutos de maçã para os diferentes tratamentos de manejo de água de irrigação.

Observa-se um rendimento total máximo de aproximadamente 70 ton ha⁻¹ com uma aplicação de água via irrigação de 240 mm. A porcentagem de frutos de maçã com o padrão comercial foi de 98% da produção total, considerando os diferentes manejos de irrigação. Resultados similares foram encontrados por NAOR et al. (1995), trabalhando com maçã com diferentes tratamentos de irrigação. Os autores verificaram resposta para 210 mm de água aplicada no pomar de maçã via irrigação, não obtendo diferenças significativas acima dessa lâmina de água. IRVING & DROST (1987) obtiveram aumento significativo na produção de maçã, conseguindo a máxima eficiência técnica (74 ton ha⁻¹) com a aplicação de 194 mm da água de irrigação.

5. CONCLUSÕES

O manejo da água de irrigação para a cultura da batata com aplicação de lâminas de 13 mm a 28 mm quanto a evapotranspiração máxima da cultura acumulava 35 mm de lâmina não ocasionaram diferenças significativas na altura de plantas e no índice de área foliar. A aplicação de lâminas de irrigação 25 mm toda vez que a evapotranspiração máxima acumulava atingia 35 mm resultou em maior altura de plantas e índice de área foliar aos 62 e 70 dias após a emergência das plantas.

O manejo da água de irrigação para a cultura da batata com aplicação de lâminas de 13 mm a 28 mm quanto a evapotranspiração máxima da cultura acumulava 35 mm de lâmina aumentou a produção total de batata em 42% em relação ao tratamento não irrigado. A máxima eficiência técnica (48 ton ha^{-1}) para a produção total de batata foi verificada com a aplicação de uma lâmina total de irrigação de 137 mm.

A utilização do manejo de irrigação no cultivo de pêra, com aplicação de lâmina de irrigação após a evapotranspiração máxima da cultura acumulava lâmina de 30, 45 e 60 mm, não ocasionaram diferenças significativas no diâmetro de frutos, seção transversal da área do tronco, altura de planta e volume de copa.

A máxima eficiência técnica ($58,8 \text{ ton ha}^{-1}$) para a produção total de frutos de pêra foi verificada com a aplicação de irrigação de 8 mm sempre que a evapotranspiração máxima acumulada da cultura atingia valores superiores a 35 mm de lâmina acumulada.

A utilização da irrigação com aplicação de irrigação no cultivo de maçã, com aplicação de lâmina de irrigação após a evapotranspiração máxima da cultura

6. REFERÊNCIAS

- ASSAF, R.; LEVIN, I.; BRAVDO, B. Effect of dripi irrigation on the yield and quality of Golden Delicious and Jonathan apples. **Journal of Hort. Sci.**, v.59, n.4, p.493-499, 1984.
- BATTILANI, A. Regulated Deficit of Irrigation (RDI) Effects on Growth and Yield of Plum Tree. **Acta Hort.**, v.664,n.1, p.55-62, 2004.
- BATTILANI, A. & MANNINI P. Effects of water table on potato crop growth and yield. **Acta Hort.** v.335, n.1, p. 405-412, 1993.
- BERGAMASCHI, H.**et al. Agrometeorologia aplicada à irrigação.** Porto Alegre: Editora da Universidade, 1992. 125p.
- BERNARDO, S. **Manual de Irrigação e Drenagem.** Viçosa, UFV,1982. 463p.
- BLAKE, C.R. Particle density. In: BLACK, C.A (ed.). **Methods of soil analysis – Part 1. Madison, Wisconsin.** Michigan: ASA. p. 371-390, 1965, (Agronomy 9).
- BOUWER, H. **Methods of Soil Analysis. Part I. Physical and Mineralogical Methods.** 2nd. Ed. Michigan: ASA, 1997. cap.32, p. 825-844, (Agronomy Monograph, n. 9).
- BOX, J.E.et al. Effect of soil moisture, temperature and fertility on yields and quality of irrigated potatoes in the Southern Plains. **Agronomy Journal**, v. 55, n. 5, p. 492-494, 1963.
- BRUN, C.; RAESE, J.T.; STABLY, E.A. Seasonal Response of ‘Anjou’ Pear Trees to Different Irrigation Regimes. I. Soil Moisture, Water Relations, Tree and Fruit Growth. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 6, n.110, p. 830-834, 1985.
- CARDELINO, G. & GARCÍA, F. Relaciones Agua– Crecimiento y Producción del Cultivo de Papa. **Revista do Ministério de Agricultura y Pesca (MGAP)**, n.2, p.1-10, 1983.
- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas:água disponível versus extraível e a produtividade das culturas. **Ciência Rural**, v. 25, n. 1, p. 183-188, 1995.
- DEBLONDE, P.M.K.; LEDENT, J.F. Effects of moderate drought conditions on green leaf number, stem height, leaf length and tuber yield of potato cultivars. **European Journal of Agronomy**, v. 14, n. 1, p. 31-41, 2001.
- de JONG VANLIER, Q. & DOURADO NETO, D. **Programa CURVARET, (c) 1991-1995**, versão 2.16, Depto. de Física e Meteorologia / Depto de Agricultura-ESALQ-USP, 1991
- DOORENBOS, J. & KASSAN, A. H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 1979. 306p. (Irrigation and Drainage, Paper 33).

ELDREDGE, E.P.; SCHOCK, C.C.; STIEBER, T.D. Plot Sprinklers for irrigation Research. **Agronomy Journal**, v. 84, n. 6, p.1081-1084, 1992.

EPSTEIN, E. & GRANT, W.J. Water stress relations of the potato plant under field conditions. **Agronomy Journal**, v. 65, n. 3, p. 400-404, 1973.

FABEIRO, C.; de SANTA OLALLA, F. M.; de JUAN, J. A. Yield and size of deficit irrigated potatoes. **Agricultural Water Management**, v. 48, n. 3, p. 255-266, 2001.

GANDAR, P.W. & TANNER, C.B. Leaf Growth, Tuber Growth, and Water Potential in Potatoes. **Crop Science**, v.16, n. 4, p.534-538, 1976.

GARCIA, C. et al. Resultados Experimentales de Riego y Fertilización en Pera William's. In: **Resultados Experimentales de Riego en Frutales de Hoja Caduca**, p. 17-25, junio 1997, (Serie de Actividades de Difusión de INIA).

GARCÍA, M. et al. Respuesta al riego de duraznero, manzano y peral en montes comerciales. **Agrociencia**, v. 7, n. 2, p.49-61, 2003.

GREEN, S.R.; CLOTHIER, B.E.; McLEOD, D.J. The response of sap flow in apple roots to localised irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 33, n. 1, p. 63-78, 1997.

HAGAN, R.M. et al. Relationships of soil moisture stress to different aspects of growth in Ladino Clover. **Proc. Soil Sci. Am.**, v.21, n. 3, p. 360-365, 1957.

HANG, A. N. & MILLER, D. E. Yield and physiological responses of potatoes to deficit, high frequency sprinkler irrigation. **Agronomy Journal**, v.78, n. 3, p.436-440, 1986.

HEERMANN, D.F. et al. Irrigation Scheduling Controls and Techniques. In: **Irrigation of Agricultural Crops**. Ed.: B. A. Stewart & D.R. Nielsen, 1990. Cap. 17 p. 509-535, (Agronomy n. 30).

HSIAO, T.C. Plant responses to water stress. **Ann. Rev. Plant Physiol.** v. 24, p. 519-570, 1973.

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIÓN AGROPECUARIA. INIA. Disponível em: <http://www.inia.org.uy/clima>. Acesso em janeiro de 2005.

IRVING, D.E. & DROST, J. H. Effects of water deficit on vegetative growth, fruit growth and fruit quality in Cox's Orange Pippin apple. **Journal of Horticultural Science**, v.62, n. 4, p.427-432, 1987.

JEFFERIES, R.A. Physiology of crop response to drought. In: **Potato Ecology and Modelling of Crops under Conditions Limiting Growth**. HAVERKORT, A.J. & MACKERRON, D.K.L. (ed.). p. 61-74, 1995.

JEFFERIES, R.A. Water-stress and leaf growth in field-grown crops of potato (*Solanum tuberosum* L.) **Journal of Experimental Botany**, v. 40, n. 12, p. 1375-1381, 1989.

JENSEN, M.E. Introduction. In: JENSEN, M.E. **Design and Operation of Farm Irrigation Systems**. Michigan; ASAE, 1980, p. 3-9, (Monograph n. 3).

KRAMER, P. J. Plant and soil water relationships; a modern synthesis. New York: **McGraw-Hill Publishing**, 481p. 1975.

KLEINKOPF, G.E. Potato. In: TEARE, J.D.; and PEET, M.M. (ed). **Crop water relations**. Wiley & Sons. New York, p.287-305, 1983.

LIS, B.R.de; PONCE, I.; TIZIO, R. Studies on water requirement of horticultural crops. I. Influence of drought at different growth stages of potato on the tuber's yield. **Agronomy Journal**, v.56, n. 4, p.377-381, 1964.

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da Água no Solo**, 2 ed., Piracicaba: P.L. Libardi, 2000, 509p.

LÖTER, J. DE V.; BEUKES, D.J.; WEBER, H.W. Growth and quality of apples as affected by different irrigation treatments. **Journal of Hort. Science**, v. 2, n. 60, p. 181-192, 1985.

LYNCH, D.R. & TAI, G.C.C. Yield and Yield Component Response of Eight Potato Genotypes to Water Stress. **Crop Sci.**, v.29, n. 5, p.1207-1211, 1989.

MackERRON, D.K.L.; WAISTER, P.D. A simple model of potato growth and yield. I. Model development and sensitivity analysis. **Agric. For. Meteorol.**, v. 34, n. 2-3, p. 241-252, 1985.

MEYER, R.D. & MARCUM, D.B. Potato Yield, Petiole Nitrogen, and Soil Nitrogen Response to Water and Nitrogen. **Agronomy Journal**, v.90, n. 3, p. 420-429, 1998.

MITCHELL, P.D.; JERIE, P.H.; and CHALMERS, D.J. The Effects of Regulated Water Deficits on Pear Tree Growth, Flowering, Fruit Growth, and Yield. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.** v. 109, n. 2, p. 604-606, 1984.

MILLER, D.E. & MARTIN, M.W. Effect Of Daily Irrigation Rate And Soil Texture On Yield And Quality Of Russet Burbank Potatoes. **American Potato Journal**, v.60, n. 10, p.745-751, 1983.

MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA – URUGUAY. **Carta de Reconocimiento de Suelos**, T.1. Clasificación de suelos, Montevideo: Ed. MGAP, 1976.

MINISTERIO DE GANADERIA, AGRICULTURA Y PESCA – URUGUAY. **Censo Agropecuario**, 2001, Montevideo: Dirección de Estadística Agropecuaria, (Censo Frutícola).

NAOR, A.; KLEIN, I.; DORON, I. Stem Water Potential and Apple Size. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v. 4, n. 120, p. 577-582, 1995.

NELSON, S.H. & HWANG, K.E. Water usage by potato plant at different stages of growth. **American Potato Journal.**, v.52, n. 11, p. 331-339, 1975.

O'CONNELL, M.G. & GOODWIN, I. Pear Water Relations Under Partial Rootzone Drying. **Acta Hort. (ISHS)**, v.664, p. 453-459, 2004.

OJALA, J.C.; STARK, J.C.; KLEINKOPF, G.E. Influence of Irrigation and Nitrogen Management on Potato Yield and Quality. **American Potato Journal**, v.67, n. 1, p.29-43, 1990.

PHENE, C. J. & SANDERS, D. C. High-frequency Trickle Irrigation and Row Spacing Effects on Yield and Quality of Potatoes. **Agronomy Journal**, v.68, n. 4, p.602-607, 1976.

PORTER, G.A.; OPENA, G. B.; BRADBURY, W.B.; McBURNIE, J.C.; SISSON, J. A. Soil Management and Supplemental Irrigation Effects on Potato: I. Soil Properties, Tuber Yield, and Quality. **Agronomy Journal**, v.91, n. 3, p.416-425, 1999.

PUPPO, L. et al. Manejo de Riego en Frutales de Hoja Caduca. In: **Resultados Experimentales de Riego en Frutales de Hoja Caduca**, Montevideo: Ed.: INIA, p.26-37, 1997, (Serie de Actividades de Difusión de INIA).

REICHARDT, K. **A água na Produção Agrícola**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1978, p. 1-4.

RICHARDS, L.A. Physical conditions of water in soil. In: **Methods of soil Analysis I**. Michigan: ASA, 1965, p. 128-151, (Monography, n.9).

RITCHIE, J.T. Soil water availability. **Plant and Soil**. v. 58, n. 1-3, p.327-338, 1981.

RITCHIE, J.T.; BURNETT, E.; HENDERSON, R.C. Dryland evaporative flux in a subumid climate. Soil water influence. **Agronomy Journal**. v. 64, n. 2, p.168-173, 1972.

ROSSI PISA, P. & VENTURA, F. Water Relations In Sub-Irrigated Peach Trees. **Acta Horticulturae**, v. 335, p.183-189, 1993.

SALTER, P.J. & GOODE, J.F. Crop responses to water at different stages of growth. Londres: **Commonwealth Agricultural Bureaux**, 1967, p. 93-99.

SAMMIS, T.W. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface, and furrow irrigation methods for row crops. **Agronomy Journal**, v.72, n. 5, p. 701-704, 1980.

SCALOPI, J.E.; SCARDUR, R. Variação do regime de umidade do solo durante o ciclo fenológico de plantas de batata. In: **Anais da ESALQ/USP**. Ed: ESALQ/USP, v. 32; p. 33-46, 1975.

SEPASKHAH, A.R.; KASHEFIPOU, S.M. Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 25, n. 1, p. 13-22, 1994.

SHAE, J.B.; STEELE, D.D.; GREGOR, B.L. Irrigation Scheduling Methods for Potatoes in the Northern Great Plains. **Transactions of the ASAE**, v.42, n. 2, p. 351-360, 1999.

SHOCK, C.C.; ZALEWSKI, J.C.; STOEBER, T.D. Impact of Early-season Water Deficits on Russet Burbank Plant Development, Tuber Yield and Quality. **American Potato Journal**, v. 69, n. 12, p. 793-803, 1992.

SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G.; SAUNDERS, L.D. Potato Yield and Quality Response to Deficit Irrigation. **HortScience**, v. 33, n. 4, p.655-659, 1998.

SINGH, G. A review of the soil moisture relationship in potatoes. **American Potato Journal**, v.46, n. 10, p. 396-403, 1969.

Soil Conservation Service. **Soil Survey Investigations**. Washington, Ed: USDA, 1972, 63p, (Report n. 1).

VAN GENUCHTEN, M.T.H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Sci. Soc. Am. Journal**, v.44, n. 5, p.892-898, 1980.

VAN LOON, C.D. The effect of water stress on potato growth, development, and yield. **American Potato Journal**, v.58, n. 1, p.51-69, 1981.

VEIHMAYER, F.J & HENDRICKSON, A.H. Does transpiration decrease as the soil moisture decreases. **Trans. Am Geophys. Union**, v. 36, n. 4, p. 425-448, 1955.

VILARÓ, F.; RODRIGUEZ, G. PEREIRA, G. Mejoramiento de Papa. **Actividades de Difusión**, n. 221, 2000.

WADDELL, J.T. Irrigation and Nitrogen Management Effects on Potato Yield, Tuber Quality, and Nitrogen Uptake. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 6, p.991-997, 1999.

WRIGHT, J.L.; STARK, J.C. Potato. In: **Irrigation of Agricultural Crops**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1990, (Agronomy Monograph, n. 30).

XILOYANNIS, C; URIU, K.; MARTIN, G.C. Seasonal and Diurnal Variations in Abscisic Acid, Water Potential, and Diffusive Resistance in Leaves from Irrigated and Non-irrigated Peach Trees. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v.105, n. 3, p. 412-415, 1980.

SEPASKHAH, A.R.; KASHEFIPOU, S.M. Relationships between leaf water potential, CWSI, yield and fruit quality of sweet lime under drip irrigation. **Agricultural Water Management**, v. 25, n. 1, p. 13-22, 1994.

SHAE, J.B.; STEELE, D.D.; GREGOR, B.L. Irrigation Scheduling Methods for Potatoes in the Northern Great Plains. **Transactions of the ASAE**, v.42, n. 2, p. 351-360, 1999.

SHOCK, C.C.; ZALEWSKI, J.C.; STOEBER, T.D. Impact of Early-season Water Deficits on Russet Burbank Plant Development, Tuber Yield and Quality. **American Potato Journal**, v. 69, n. 6, p. 793-803, 1992.

SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G.; SAUNDERS, L.D. Potato Yield and Quality Response to Deficit Irrigation. **HortScience**, v. 33, n. 4, p.655-659, 1998.

SINGH, G. A review of the soil moisture relationship in potatoes. **American Potato Journal**, v.46, n. 4, p. 396-403, 1969.

Soil Conservation Service. **Soil Survey Investigations**. Washington, Ed: USDA, 1972, 63p, (Report n. 1).

VAN GENUCHTEN, M.T.H. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soil. **Soil Sci. Soc. Am. Journal**, v.44, p.892-898, 1980.

VAN LOON, C.D. The effect of water stress on potato growth, development, and yield. **American Potato Journal**, v.58, n. 1, p.51-69, 1981.

VEIHMEYER, F.J & HENDRICKSON, A.H. Does transpiration decrease as the soil moisture decreases. **Trans. Am Geophys. Union**, v. 36, n. 4, p. 425-448, 1955.

VILARÓ, F.; RODRIGUEZ, G. PEREIRA, G. Mejoramiento de Papa. **Actividades de Difusión**, n. 221, 2000.

WADDELL, J.T. Irrigation and Nitrogen Management Effects on Potato Yield, Tuber Quality, and Nitrogen Uptake. **Agronomy Journal**, v. 91, n. 6, p.991-997, 1999.

WRIGHT, J.L.; STARK, J.C. Potato. In: **Irrigation of Agricultural Crops**. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1990, (Agronomy Monograph, n. 30).

XILOYANNIS, C; URIU, K.; MARTIN, G.C. Seasonal and Diurnal Variations in Abscisic Acid, Water Potential, and Diffusive Resistance in Leaves from Irrigated and Non-irrigated Peach Trees. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, v.105, n. 3, p. 412-415, 1980.

Apêndice A

Parâmetros da equação de Van Genuchten nos diferentes locais onde foram instalados os diferentes tratamentos de manejo de irrigação no Uruguai, 2005.

	Pontos	Repetições	Profundidade (cm)	Parâmetros da equação de Van Genuchten					
				α (cm ⁻¹)	n	m	θ_r	θ_s	
Libertad (Unidade Albolls)	1	1	0-20	0,001	0,5638	2,2925	0,347	0,357	
			20-40	0,0007	0,5955	2,4721	0,31	0,405	
			40-60	0,0018	0,4897	1,9598	0,269	0,293	
		2		0-20	0,2058	0,1884	1,2322	0,341	0,45
				20-40	0,0011	0,5553	2,249	0,347	0,424
				40-60	0,001	0,5792	2,3755	0,323	0,423
		2	1	0-20	0,001	0,5913	2,4455	0,315	0,465
				20-40	0,0008	0,5158	2,5093	0,305	0,355
				40-60	0,0005	0,55	2,491	0,302	0,355
			2	0-20	0,3215	0,1831	1,2242	0,325	0,445
				20-40	0,0007	0,5043	2,5274	0,28	0,337
				40-60	0,0007	0,7511	4,1857	0,309	0,351
Colônia Galland (Unidade Argudolls)	3		0-20	0,0372	0,2893	1,407	0,169	0,394	
			20-40	0,0311	0,48	1,9232	0,22	0,416	
			40-60	0,0065	0,355	1,5505	0,202	0,366	
Rincón del Pino (Unidade Albolls)	4	1	0-20	0,095	0,3286	1,4894	0,287	0,478	
			20-40	0,0987	0,3011	1,4308	0,285	0,436	
			40-60	0,0415	0,2823	1,3933	0,303	0,445	
			0-20	0,0579	0,2633	1,3575	0,245	0,437	
			20-40	0,0547	0,2992	1,4269	0,311	0,49	
			40-60	0,0039	0,4287	1,7505	0,346	0,426	

continuação...								
		2	0-20	0,0574	0,3133	1,4563	0,233	0,471
			20-40	0,0226	0,3053	1,4395	0,312	0,416
			40-60	0,0021	0,4701	1,8872	0,317	0,358
		3	0-20	0,0503	0,316	1,4619	0,249	0,474
			20-40	0,0267	0,2979	1,4243	0,286	0,422
			40-60	0,0241	0,3283	1,4887	0,308	0,343
Kasek	5	1	0-20	0,0011	0,5532	2,2384	0,269	0,304
			20-40	0,0009	0,5478	2,2115	0,275	0,299
			40-60	0,0012	0,5337	2,1444	0,325	0,458
		2	0-20	0,0008	0,6029	2,5185	0,353	0,418
			20-40	0,0013	0,5645	2,2964	0,275	0,299
			40-60	0,0011	0,3864	1,6297	0,352	0,363
Arocena	6	1	0-20	0,0406	0,3490	1,5361	0,350	0,443
			20-40	0,0301	0,2897	1,4079	0,321	0,398
			40-60	0,0193	0,2938	1,4160	0,293	0,384
		2	0-20	0,0245	0,3337	1,5008	0,283	0,382
			20-40	0,0428	0,2734	1,3763	0,305	0,388
			40-60	0,0333	0,2883	1,4051	0,275	0,378
Pattarino	7	1	0-20	0,0029	0,4533	1,829	0,333	0,423
			20-40	0,0015	0,5606	2,2758	0,316	0,415
			40-60	0,0012	0,642	2,7932	0,309	0,396
		2	0-20	0,0213	0,3982	1,6618	0,276	0,403
			20-40	0,0211	0,3196	1,4698	0,258	0,40
			40-60	0,0493	0,3035	1,4357	0,341	0,414