

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

**Morfofisiologia da cultura de batata submetida a
diferentes regimes hídricos**

MESTRADO

Sebastián Casanova Fernández

Santa Maria, RS, Brasil

2008

Morfofisiologia da cultura de batata submetida a diferentes regimes hídricos

por

Sebastián Casanova Fernández

Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Área de Concentração em Engenharia de Água e Solo, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS) como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Engenharia Agrícola.**

Orientador: Prof. Reimar Carlesso

Santa Maria – RS, Brasil.
2008

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

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Dissertação de
Mestrado

**MORFOFISIOLOGIA DA CULTURA DE BATATA SUBMETIDA A
DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS**

elaborada por
Sebastián Casanova Fernández

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

COMISSÃO EXAMINADORA:

Reimar Carlesso, PhD.
(Presidente / Orientador)

Francisco Vilaró, PhD. (INIA)

Mario García Petillo, Dr. (UDELAR)

Santa Maria, 22 de fevereiro de 2008.

A meus pais, Miguel e Graciela pelo apoio e incentivo.
A meus irmãos Ignácio e Diego pela sua amizade.
A minha mulher Fernanda, pelo caminho percorrido juntos.
A minha filha Lara, por seu sorriso...

DEDICO este trabalho

AGRADECIMENTOS

Ao Programa bolsista PEC-PG da CAPES – CNPq pela concessão da bolsa que permitiu realizar meus estudos no Brasil.

À Universidade Federal de Santa Maria (pública e gratuita), Centro de Ciências Rurais, Programa de Pos-Graduação em Engenharia Agrícola pela possibilidade de realização deste curso.

Ao professor Reimar Carlesso, pela importante contribuição a minha formação científica e, principalmente pela sua amizade.

Ao Instituto Nacional de Investigação Agropecuária (INIA), Estação experimental Las Brujas pela possibilidade de realização do trabalho de dissertação. Aos colegas de trabalho da Secção de Solos, irrigação e agroclimatologia do INIA Las Brujas e, ao bolsista Mauricio García pelo apoio no desenvolvimento do experimento.

Agradeço especialmente à Roberto Docampo pelo apoio e colaboração de tantos anos, e à Cláudio García por seu ensino e estímulo para realizar esse curso.

Ao colega Ramón Méndez pela invalorável colaboração no início do mestrado, assim como no decorrer da moradia no Brasil.

Ao professor Dalván José Reinert pela sua amizade e apoio no início da moradia no Brasil.

Aos colegas da Universidade da República - Faculdade de Agronomia do Uruguai, Alejandra Borges e Pablo Morales pelo apoio brindado no decorrer do experimento.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola
Universidade Federal de Santa Maria

MORFOFISIOLOGIA DA CULTURA DE BATATA SUBMETIDA A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

Autor: Sebastián Casanova

Orientador: Reimar Carlesso

Data e local da Defesa: Montevideu, 22 de fevereiro de 2008.

O presente trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar as modificações morfofisiológicas e de produtividade de duas variedades de batata (Chieftain e Iporá) submetidas a diferentes manejos da água de irrigação e determinar a evapotranspiração real da batata. Dois experimentos foram conduzidos no ano agrícola 2006/2007 em uma rainout shelter instalada no Instituto Nacional de Investigação Agropecuária (INIA), Uruguai. Um experimento foi desenvolvido em um conjunto de 12 lisímetros de drenagem onde foram avaliados quatro manejos de irrigação (em todos os tratamentos foram aplicadas as chuvas do ano agrícola 2003/04), assim distribuídos: (i) chuvas 2003/04 + 216 mm (irrigações a partir da evapotranspiração máxima diária); (ii) chuvas 2003/04; (iii) chuvas 2003/04 mais uma irrigação de 25 mm (quando a evapotranspiração máxima diária acumulada atingia o valor de 90 mm) e; (iv) chuvas 2003/04 + 143 mm de irrigações aplicadas a partir da evapotranspiração máxima diária, depois do estágio de tuberização da cultura. Os tratamentos foram distribuídos no delineamento experimental inteiramente casualizado. A evapotranspiração máxima foi estimada pelo método FAO Penman-Monteith. Um segundo experimento foi desenvolvido em uma área de aproximadamente 90 m², onde as variedades Chieftain e Iporá foram submetidas a dois manejos da água de irrigação: (i) chuvas 2003/04 + 246 mm (irrigado) e; (ii) chuvas 2003/04 mais uma irrigação de 25 mm (quando a evapotranspiração máxima diária acumulada atingia 90 mm). O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em parcelas sub-divididas, onde a parcela principal era o

manejo de irrigação e na subparcela as variedades. Os resultados indicaram que, dos parâmetros morfofisiológicos avaliados, a área foliar, a transpiração e a fotossíntese total da planta melhor quantificam as adaptações da cultura de batata em relação ao déficit hídrico, apresentando relação direta com o rendimento da cultura. As variedades de batata Chieftain e Iporá apresentaram modificações na duração do ciclo de desenvolvimento, na área foliar, no número de talos principais, na altura máxima das plantas e, na transpiração. As plantas de batata cultivadas em lisímetros não apresentaram diferenças nos componentes de rendimento, no entanto, diferenças foram observadas na distribuição das categorias comerciais da batata. No segundo experimento, todos os componentes de rendimento foram afetados pelos tratamentos de irrigação. Entre as variedades Chieftain e Iporá foram observadas diferenças no rendimento comercial e no número total de tubérculos produzidos por planta. Os valores de evapotranspiração real observados nos tratamentos de irrigação: chuvas 2003/04 + 216 mm e chuvas 2003/04 estão diretamente relacionados à área foliar do dossel vegetativo das plantas e ao conteúdo de água no perfil do solo.

Palavras-chave: lisímetros, morfofisiologia, batata, evapotranspiração.

ABSTRACT

Master of Science Dissertation
Graduated Program in Agricultural Engineer
Federal University of Santa Maria

MORFOFISIOLOGIA DA CULTURA DE BATATA SUBMETIDA A DIFERENTES REGIMES HÍDRICOS

Author: Sebastián Casanova

Advisor: Reimar Carlesso

Place and date: Montevideo, February 22nd, 2008.

The objective of this work was: (i) to study morpho-physiological and yield modifications in two potato cultivars (Chieftain and Iporá) under different irrigation managements and; (ii) to determine the actual crop evapotranspiration. Two experiments were carried out during 2006/07 growth season in a rainout shelter located at INIA (National Institute of Agricultural Research) in Uruguay. One of these experiments was carried out in a set of 12 drainage lysimeters with four irrigation managements: (i) 2003/04 rainfall + 216 mm (irrigation from the maximum daily crop evapotranspiration), (ii) 2003/04 rainfall, (iii) 2003/04 rainfall + one irrigation of 25 mm (when the accumulated maximum daily crop evapotranspiration reached 90 mm), and (iv) 2003/04 rainfall + 143 mm of irrigation applied from the maximum daily crop evapotranspiration, after the crop tuberization stage. The maximum daily crop evapotranspiration was estimated using the FAO Penman-Monteith equation. A second experiment was carried out in an area of 90 m², where the Chieftain and Iporá were studied under two irrigation managements: (i) 2003/04 rainfall + 246 mm (irrigated treatment) and (ii) 2003/04 rainfall + one irrigation of 25 mm (when the accumulated maximum daily crop evapotranspiration reached 90 mm). The results indicated that based on the morpho-physiological parameters studied, the leaf area, the transpiration and the total plant photosynthesis are better correlated with adaptations of potatoes crops to the water deficit and resulted in a direct relationship with the crop yield. The two potatoes cultivars (Chieftain and Iporá) showed modifications in: length of growth duration, leaf area, number of principal stems, plant

height, and plant transpiration. The potatoes plants developed in lysimeters did not show differences in yield components but differences were observed in potato commercial classes. In the second experiment all the yield components were modified by the irrigation managements. Differences in commercial yield and total number of plant tubers were observed between the Chieftain and Iporá cultivars. The actual crop evapotranspiration values observed in the rainfall 2003/04 + 216 mm and rainfall 2003/04 treatments are directly related to leaf area and water content of soil.

Key words: lysimeters, morpho-physiological, potato, evapotranspiration.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estádios de desenvolvimento no ciclo da cultura de batata, segundo HACK et al. 1993.....	30
Figura 2. Definição do rendimento na cultura de batata, segundo ALDABE & DOGLIOTTI (1998).....	32
Figura 3. Curvas características de água no solo ajustadas pelo modelo van Genuchten (linhas) e valores observados (símbolos), para as camadas do perfil do solo no experimento 1. INIA Las brujas, 2007.....	58
Figura 4. Curvas características de água no solo ajustadas pelo modelo van Genuchten (linhas) e valores observados (símbolos), para as camadas do perfil do solo no experimento 2. INIA Las brujas, 2007.....	59
Figura 5. Média mensal de dezembro a março, das chuvas no período 1974/04, 1999/06 e, no ano agrícola 2003/04, registradas na estação experimental do INIA. INIA Las Brujas, 2007.....	61
Figura 6. Lâmina de água acumulada aplicada e distribuição das chuvas durante o ciclo de desenvolvimento na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	62
Figura 7. Evolução do índice de área foliar na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. As barras verticais representam o desvio padrão. INIA Las Brujas, 2007.....	66
Figura 8. Médias e desvio padrão do rendimento total na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	74
Figura 9. Relação entre a transpiração com o rendimento total e comercial para cada lisímetro, na batata var. Chieftain. INIA Las Brujas, 2007.....	78
Figura 10. Evapotranspiração real da cultura de batata cultivada em lisímetros, submetida a dois manejos da água de irrigação e, evapotranspiração máxima da cultura segundo a equação FAO Penman-Monteith. INIA Las Brujas, 2007.....	79
Figura 11. Distribuição da água aplicada (chuva e irrigação) e lâmina acumulada de água aplicada (mm) durante o ciclo de desenvolvimento da batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	81
Figura 12. Evolução do índice de área foliar na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. As barras verticais representam o desvio padrão. INIA Las Brujas, 2007.....	85

Figura 13. Relação entre o índice de área foliar máximo com o rendimento total e comercial, na batata var. Chieftain e Iporá desenvolvidas nos dois experimentos. INIA Las Brujas, 2007.95

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise química do solo do experimento. INIA Las Brujas, 2007.	47
Tabela 2. Valores médios de porosidade total, macro e microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), densidade de partícula e, densidade do solo (g cm^{-3}), nas diferentes camadas do perfil do solo, nos experimentos 1 e 2. INIA Las Brujas, 2007.....	56
Tabela 3. Resultado da análise granulométrica e classe textural de três camadas do perfil do solo. INIA Las Brujas, 2007.....	57
Tabela 4. Valores da umidade de saturação e residual do solo, coeficientes das equações ajustadas ao modelo van Genuchten (1980), nas diferentes camadas do perfil do solo dos experimentos 1 e 2. INIA Las Brujas, 2007.....	60
Tabela 5. Total de água aplicada (chuva + irrigação) para três subperíodos de desenvolvimento na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	63
Tabela 6. Déficit hídrico acumulado em relação ao tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm, para três subperíodos de desenvolvimento na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	63
Tabela 7. Estádios de desenvolvimento de plantas de batata var. Chieftain, conduzida em lisímetros e submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	64
Tabela 8. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	67
Tabela 9. Resultado do índice de área foliar na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	67
Tabela 10. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o número de talos principais e a altura máxima das plantas, na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	69
Tabela 11. Resultados do quadrado médio da análise da variância para a transpiração e a fotossíntese total da planta na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	70
Tabela 12. Média da taxa de transpiração ($\text{mmoles de H}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$) na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	71

Tabela 13. Média da fotossíntese total da planta ($\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	72
Tabela 14. Resultados do quadrado médio da análise da variância para os componentes do rendimento na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	73
Tabela 15. Resultados do quadrado médio da análise da variância para as quatro categorias de classificação da batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	75
Tabela 16. Resultados do quadrado médio da análise da variância para a incidência da Sarna comum (<i>Streptomyces scabies</i>), na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	76
Tabela 17. Déficit hídrico acumulado para o tratamento de chuva 03/04 + 25 mm em relação ao tratamento irrigado (chuva 03/04 + 246 mm), na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	82
Tabela 18. Estádios de desenvolvimento de plantas de batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	83
Tabela 19. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar na batata var. Chieftain e Iporá, submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	86
Tabela 20. Resultado do índice de área foliar na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	86
Tabela 21. Média do índice de área foliar para a interação irrigação x variedade, na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	87
Tabela 22. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o número de talos principais e a altura máxima das plantas, na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	88
Tabela 23. Resultados do quadrado médio da análise da variância para a fotossíntese total da planta na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.	90
Tabela 24. Resultados do quadrado médio da análise da variância para os componentes do rendimento da batata variedade Chieftain e Iporá, submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	91
Tabela 25. Componentes do rendimento na batata variedade Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....	92

Tabela 26. Resultados do quadrado médio da análise da variância para as quatro categorias de classificação do rendimento na batata var. Chieftain e Iporá, submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.....94

LISTA DE ANEXOS E APÊNDICES

Anexo A.	Equação FAO Penman Monteith utilizada para o cálculo da evapotranspiração de referência (ET _o).....	104
Anexo B.	Tabela de conversão do peso específico dos tubérculos da batata para o percentagem de massa seca.....	105
Apêndice A.	Imagem de satélite do experimento.....	106
Apêndice B.	Distribuição dos tratamentos	107
Apêndice C.	Datas de aplicação de defensivos durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata.	108
Apêndice D.	Equação de ajuste da área foliar para as variedades de batata Chieftain e Iporá.....	109
Apêndice E.	Classificação por categorias da batata segundo o peso dos tubérculos.	110
Apêndice F.	Escala para avaliar a severidade do dano ocasionado por Sarna Comum (<i>Streptomyces scabies</i>).....	111

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1	Sistema solo – planta – atmosfera.....	20
2.1.1	Água no solo	21
2.1.2	Água nos vegetais	22
2.1.3	Demanda evaporativa da atmosfera.....	24
2.2	Determinação do consumo de água das plantas	24
2.2.1	Evapotranspiração determinada em lisímetros	25
2.2.2	Evapotranspiração calculada a partir de dados meteorológicos	26
2.3	Características da cultura de batata.....	28
2.3.1	Definição do rendimento.....	31
2.3.2	Principais fatores ambientais que afetam o ciclo de desenvolvimento da batata.....	33
2.3.2.1	Temperatura.....	34
2.3.2.2	Fotoperíodo.....	35
2.3.2.3	Manejo da irrigação e adaptações morfofisiológicas.....	36
2.3.2.3.1	Efeitos sobre o rendimento e seus componentes.....	39
2.3.2.3.2	Efeitos sobre a qualidade	42
2.3.3	Características varietais	44
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	47
3.1	Adaptações morfofisiológicas e rendimento da batata sob diferentes manejos da água de irrigação (experimento 1).....	49
3.1.1	Determinações morfofisiológicas.....	50
3.1.2	Avaliação do conteúdo de água no solo.....	52
3.2	Avaliação de variedades de batata sob dois manejos da água de irrigação (experimento 2)	53
3.2.1	Determinações morfofisiológicas.....	54
3.3	Análise estatística	54
4	RESULTADOS.....	56

4.1	Parâmetros físico-hídricos do solo.....	56
4.2.	Adaptações morfofisiológicas e rendimento da batata sob diferentes manejos da água de irrigação (experimento 1).....	61
4.2.1	Resultados dos parâmetros morfofisiológicos.....	64
4.2.1.1	Escala fenológica.....	64
4.2.1.2	Área foliar.....	65
4.2.1.3	Número de talos e altura máxima das plantas.....	68
4.2.1.4	Fotossíntese e trocas gasosas.....	70
4.2.2	Componentes do Rendimento.....	72
4.2.3	Adaptações morfofisiológicas relacionadas com o rendimento.....	77
4.2.4	Evapotranspiração real.....	79
4.3	Avaliação de variedades sob dois manejos de água de irrigação (experimento 2).....	80
4.3.1	Resultados dos parâmetros morfofisiológicos.....	82
4.3.1.1	Escala fenológica.....	82
4.3.1.2	Área foliar.....	84
4.3.1.3	Número de talos e altura máxima das plantas.....	88
4.3.1.4	Fotossíntese e trocas gasosas.....	89
4.3.2	Componentes de Rendimento.....	91
4.3.3	Adaptações morfofisiológicas relacionadas com o rendimento.....	94
5	CONCLUSÕES.....	56
6	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	98

1 INTRODUÇÃO

As características químicas, físicas e biológicas do solo, e os parâmetros culturais (variedade, estado sanitário, fertilidade e manejo entre outras) interagindo com os fatores climáticos, determinam o consumo de água das culturas. O limite superior de produção de uma cultura depende das condições climáticas e do potencial genético do material (DOOREMBOS & KASSAM, 1979). Portanto, a utilização da água do solo deve atender em termos quantitativos e num período de tempo dado, as necessidades hídricas das plantas para atingir pleno crescimento e desenvolvimento.

Diversos trabalhos (De LIS, 1964; LINCH & TAI, 1989; HSIAO, 1990 e; LIMA BEZERRA, 1999) têm sido conduzidos para avaliar qualitativamente a influência dos principais fatores de produção no crescimento e desenvolvimento das plantas, no entanto, reduzido número de experimentos quantifica-os. Fatores climáticos, especialmente a radiação solar incidente e o déficit de pressão de vapor da água na atmosfera afetam a demanda evaporativa e, com isso, a quantidade de água transpirada pelas plantas. Conseqüentemente, as necessidades hídricas de uma cultura variam de uma localidade para outra e dentro uma mesma região, entre as distintas estações do ano.

O estabelecimento lento e gradual do déficit hídrico permite o acionamento de adaptações morfofisiológicas das plantas, minimizando os efeitos deletérios do déficit (CARLESSO & SANTOS, 1999). A primeira linha de defesa dos vegetais ao déficit hídrico é a redução da área foliar (através da redução da expansão celular) o que foi confirmado na cultura de batata por HSIAO (1993); a segunda o aprofundamento do sistema radicular e; a terceira é o fechamento estomático (hidro-passivo e hidro-ativo) com a conseqüente diminuição da taxa fotossintética (FLEXAS & MEDRANO, 2002).

Para estudar as relações no sistema solo-planta-atmosfera, a utilização de lisímetros é uma excelente alternativa para quantificar a interação dos processos físicos, químicos, fisiológicos e biológicos em condições reguladas e controladas de cultivo (HILLEL et al., 1969). Os lisímetros são ferramentas importantes no estudo

da evapotranspiração e consumo de água pelas plantas, assim como para ajustar os métodos empíricos de estimativa (ABOUKHALED et al., 1996).

No Uruguai, devido ao fato das precipitações pluviais serem relativamente mal distribuídas ao longo do ano, é mais difícil quantificar com precisão as modificações fisiológicas e morfológicas das plantas em relação à disponibilidade de água no solo, assim como para controlar doses e momentos das irrigações. Segundo CARLESSO et al. (2000) é mais importante a distribuição das precipitações pluviais durante o ciclo de desenvolvimento que o total de água precipitado.

As deficiências hídricas que ocorrem freqüentemente a partir da primavera afetam negativamente o desenvolvimento da cultura de batata, limitando a duração do período vegetativo e do crescimento dos tubérculos, reduzindo o rendimento. Baseado nisso, e levando em consideração o elevado custo de produção da cultura da batata, tem-se considerado a aplicação de irrigações deficitárias (irrigar somente em um determinado período), visando a elevação da produção com maior estabilidade dos rendimentos.

Nos últimos anos verifica-se incrementos na aquisição de equipamentos de irrigação e com isso, maior preocupação pela utilização racional dos recursos hídricos. Na região Sul do Uruguai (principal produtora de batata, com 60% da área cultivada do país), segundo o MINISTERIO DE GANADERÍA, AGRICULTURA E PESCA-MGAP (2007), no último ano agrícola, a superfície irrigada correspondeu a 30% do total, sendo responsável por 60% da produção total.

A cultura de batata é de grande importância econômica no Uruguai, com aproximadamente 10.000 hectares cultivadas anualmente (MGAP, 2007), sendo a principal hortaliça em volume de comercialização. O período produtivo está limitado pela ocorrência de geadas, tendo dois períodos principais de cultivo (primavera e outono). No segundo ciclo (janeiro - abril) a probabilidade de deficiência hídrica é maior, sendo necessário a complementação das precipitações pluviais através da irrigação, para atender as necessidades hídricas da cultura. Por outra parte, o manejo de irrigações deficitárias vem sendo empregado com grande sucesso para várias culturas e, em muitos locais, tem-se mostrado uma alternativa promissória para a cultura de batata. Trabalhos conduzidos por DE LIS (1964), HSIAO (1993) e SHOCK et al. (1998) demonstram que, a cultura de batata pode tolerar irrigações deficitárias antes do começo da tuberização sem comprometer o rendimento e a sua qualidade.

Na safra de outono de 2007 foram semeados 3.800 hectares, sendo 78% na região Sul do país. A variedade preponderante foi a Chieftain representando 86% do total e a variedade Iporá com menos de 3% (MGAP, DIEA, 2007).

O fato de o Uruguai importar anualmente enormes quantidades de sementes acarreta grandes inconvenientes, principalmente pelos elevados custos e dispô-la em adequado estágio fisiológico e no momento apropriado à época de semeadura. O Programa de Melhoramento Genético do INIA Las Brujas vem trabalhando há décadas na obtenção de materiais nacionais que substituam as variedades importadas, procurando variedades adaptadas às condições agroclimáticas do Uruguai (VILARÓ et al., 2000). Neste sentido, o programa introduziu há cinco anos variedades promissórias dentro das quais se destaca a INIA-Iporá, porém é necessário gerar resultados experimentais que quantifiquem as suas respostas sob diferentes disponibilidades de água no solo.

Segundo VILARÓ et al. (2000) o objetivo do programa é obter variedades que permitam antecipação na colheita, através de um rápido início da tuberização e formação da pele. Variedades de tipo semi-tardio e que admitam colheita precoce são mais estáveis em termos de produtividade e permitem realizar dois cultivos anuais. Além disso, a característica de dormência reduzida permite aproveitar mais eficientemente esses dois ciclos, adaptando-se a um esquema de produção e multiplicação (outono-primavera-outono), diminuindo significativamente o custo de multiplicação e armazenamento da semente.

As informações geradas neste experimento visam contribuir para o conhecimento da morfofisiológica da cultura de batata irrigada, estudando as interações no sistema solo-planta-atmosfera nas condições de cultivo no Uruguai. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é avaliar as modificações morfofisiológicas e de produtividade de duas variedades de batata (Chieftain e Iporá) submetidas a diferentes manejos da água de irrigação e determinar a evapotranspiração real da cultura de batata.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Sistema solo – planta – atmosfera

As relações existentes no sistema solo-planta-atmosfera determinam a extração de água pelas plantas durante seu ciclo de desenvolvimento, sendo explicada pela demanda evaporativa da atmosfera, propriedades físicas do solo e características da cultura (BERGAMASCHI et al., 1992 e PEREIRA et al., 1997). A extração depende, por um lado, da habilidade da cultura em utilizar a água armazenada no solo e por outro, pela combinação dos fatores meteorológicos interagindo com o dossel vegetativo (CARLESSO, 1995). A ocorrência de um possível déficit hídrico depende da habilidade das plantas em extraírem a água do solo e da demanda evaporativa da atmosfera (CARLESSO, 1999). À medida que o solo seca começam a influenciar as propriedades físico-hídricas, a condutividade hidráulica não saturada decresce até um ponto crítico onde se torna menor que o fluxo de água necessário para manter a taxa transpiratória, ou seja, a transpiração fica dependente das características físico-hídricas do solo mais que da demanda evaporativa da atmosfera (DENMED & SHAW, 1962).

Do total da água que é consumida por uma cultura, aproximadamente 95% passa pela planta para a atmosfera pelo processo de transpiração. Esse fluxo de água é necessário para o desenvolvimento vegetal e, por tal motivo, sua taxa deve ser mantida dentro de limites ótimos para cada cultura (REICHARDT, 1978). Existe uma estreita relação entre transpiração, abertura estomática, fotossínteses e rendimento, que engloba tanto modificações fisiológicas como adaptações morfológicas das plantas frente a uma situação de déficit (NETO de ASSIS et al., 1999). Vários pesquisadores, entre os que se destacam DOORENBOS & KASSAM (1979), TANNER (1981), ROSENTHAL et al. (1987) e ÜNLÜ et al. (2006) afirmam que, sob adequado fornecimento de água, à transpiração tem uma relação direta com a produtividade e determina o rendimento em condições ótimas de crescimento.

2.1.1 Água no solo

O solo é o reservatório de água às plantas e todas as práticas de manejo de solo e cultura visam a manutenção em um valor adequado de umidade no perfil do solo para o desenvolvimento ótimo das plantas (REICHARDT, 1990). O armazenamento e retenção de água no solo resultam das forças atrativas entre as fases líquida e sólida, sendo os mecanismos responsáveis a adsorção e a capilaridade (FORSYTHE, 1972). A quantidade de água disponível às plantas foi definida por VEIMEHYER & HENDRIKSON (1949) como, o conteúdo de água no solo entre a capacidade de campo e ponto de murcha permanente. Usualmente, a capacidade de campo é definida como sendo o conteúdo de água no solo aos potenciais entre -0,03 e -0,01 Mpa para solos de textura argilosa e arenosa respectivamente e, o ponto de murcha permanente é o conteúdo de água no solo determinado no potencial matricial de -1,5 Mpa. Portanto, a quantidade de água no solo é função de seu volume e da energia com que a água está retida (potencial matricial), descrito por RITCHARDS (1949) através da curva característica de água determinada em laboratório.

Essa caracterização clássica foi criticada por vários pesquisadores, entre eles Marshal citado por REICHARDT (1990) e HILLEL (1980), afirmando que não existe método de laboratório que possa ser utilizado como substituto da capacidade de campo determinada a campo.

Com o intuito de substituir o tradicional conceito de água disponível, RITCHIE (1981) propôs o emprego do conceito de água extraível, definido para uma combinação particular solo-cultura, pela diferença entre o conteúdo de água no solo após a ocorrência de drenagem a partir de um umedecimento completo (limite superior) e, a quantidade de água retida no perfil do solo após as plantas desenvolvidas normalmente, tenham extraído toda a água possível do perfil do solo (limite inferior). HILLEL (1980) concorda com isso, afirmando que diferentes espécies vegetais têm a capacidade de absorver água a distintas tensões e, por sua vez, cada solo tem a habilidade de transmitir a água, determinada por suas propriedades físico-hídricas. RITCHIE (1981), RATCLIFF et al. (1983) e CARLESSO (1995) indicam que, para solos arenosos os limites superior e inferior estão subestimados, porém em solos argilosos, o limite superior está superestimado.

2.1.2 Água nos vegetais

A água é o componente mais abundante nas plantas representando entre 80 a 90% do peso fresco na maioria das espécies herbáceas; além disso, somente 5% do total que é absorvida permanece nos tecidos, sendo o restante 95% transpirado para a atmosfera (TAIZ & ZEIGER, 1994). As plantas requerem enormes quantidades de água para produzir um grama de matéria seca (HSIAO, 1993). A água atua em funções básicas do metabolismo celular, como: (i) solvente na maioria das reações celulares; (ii) turgescência celular; (iii) transporte e translocação de solutos; (iv) controle estomático e; (v) consumo de uma porção considerável da energia solar incidente pela evaporação nas folhas, evitando o aumento excessivo da temperatura foliar.

A redução da área foliar é uma estratégia que as plantas utilizam para reduzir a perda de água, diminuindo a interceptação de energia. O efeito do déficit hídrico sobre a formação de biomassa vegetal depende do estágio de desenvolvimento em que ocorrer (ROSENTHAL et al., 1987 e HSIAO, 1993). Quando o dossel for incompleto interceptando só uma parte da radiação fotosinteticamente ativa, déficits hídricos moderados limitam o desenvolvimento da área foliar e a absorção de energia, reduzindo drasticamente o acúmulo de biomassa.

Para o incremento do déficit hídrico, HARRIS (1992), SASSAKI & MACHADO (1999), LEDENT (2002), MEDRANO et al (2002), FLEXAS & MEDRANO (2002) e AMER & HATFIELD (2004) observaram que, o fechamento dos estômatos na cultura de batata ocorre a potenciais hídricos na folha menores a -0,6 Mpa, conseqüência de um inadequado suplemento hídrico do solo ou elevada demanda evaporativa da atmosfera. Semelhantes resultados foram reportados por HSIAO (1993) e VAN der ZAAG (1992) afirmando que, o crescimento vegetal é severamente afetado pelo déficit hídrico, sendo o fechamento de estômatos uma das primeiras respostas ao déficit, limitando a concentração interna de CO₂. Experimentos conduzidos por IERNA & MAUROMICALE (2006) quantificaram a taxa fotossintética e a resistência à difusividade, encontrando uma relação linear entre ambas. Além disso, obtiveram uma correlação positiva e significativa entre a taxa fotossintética e a acumulação aérea de biomassa, porém sem correlação com o rendimento da cultura.

LEDENT (2002) encontrou que, sob déficit hídrico moderado, ocorre desidratação dos tecidos. A célula vegetal encolhe, aumentando a concentração de magnésio (Mg^{2+}). A fotossíntese é muito sensível à concentração desse cátion nos cloroplastos, devido ao efeito que o Mg^{2+} tem no acoplamento do transporte de elétrons com a produção de ATP; porém, para provocar danos nos constituintes do aparelho fotossintético são necessários déficits muito severos, com folhas que estejam muito secas. Esses resultados estão alinhados com o sugerido por MEDRANO et al (2002) e FLEXAS & MEDRANO (2002), que avariaram o comportamento da fotossíntese em espécies C3 em resposta ao déficit hídrico, concluindo que, com o avanço do déficit hídrico, começam a preponderar as limitantes não estomáticas (transporte de elétrons e geração de ATP, regeneração da Ribulosa 1,5 bifosfato, atividade da RubisCO) frente as limitantes estomáticas, que são mais importantes sob condições de déficit hídrico leve a moderado.

A indução da senescência foliar frente ao déficit hídrico foi confirmada nos trabalhos de ROSENTHAL et al. (1987), HSIAO (1993) e AGUIAR NETTO et al. (2000), que afirmam ser mais pronunciada a queda na área foliar ativa em estádios avançados do ciclo de desenvolvimento.

Por outro lado, alguns processos fisiológicos são relativamente insensíveis ao déficit hídrico (TAIZ & ZEIGER, 1994). A translocação no floema é um desses, sendo afetada quando outros processos como a fotossíntese já foi fortemente inibida (HSIAO, 1993). Essa baixa sensibilidade da translocação permite as plantas mobilizarem e utilizar reservas, mesmo que o déficit hídrico seja severo; sendo esse um fator chave em quase todos os aspectos da resistência das plantas ao déficit hídrico. Experimentos conduzidos por MUNNS & PEARSON (1974) confirmam que, a insensibilidade da translocação de assimilados, semelhante ao processo de carregamento do floema e o movimento pelos vasos condutores.

Vários pesquisadores estudaram os efeitos do déficit hídrico sobre as mudanças na fisiologia e morfologia vegetal tentando identificar o melhor indicador da situação hídrica da planta. Em todos os casos, existe coincidência em quantificar alterações no crescimento da área foliar como indicador de déficit hídrico. Vários autores, entre os que se destacam HSIAO (1993), HARRIS (1992), VAN der ZAAG (1992), SASSAKI & MACHADO (1999), FLEXAS & MEDRANO (2002), MEDRANO et al. (2002), LEDENT (2002), AMER & HATFIELD (2004) e IERNA & MAUROMICALE (2006) sugerem que, medir a condutância estomática e/ou a

fotossíntese total da planta (taxa vezes a área foliar ativa) são fatores relacionados ao rendimento das culturas.

Segundo LEDENT (2002) a seleção de materiais visando elevar a produtividade de culturas irrigadas e desenvolvidas em ambientes com elevadas temperaturas, deve basear-se em incrementos na condutância estomática, que reduz a temperatura foliar e, assim, os efeitos deletérios do estresse térmico nos estádios fenológicos críticos como florescimento e frutificação. Em várias culturas irrigadas e sob condições de altas temperaturas, constata-se uma relação direta entre condutância estomática e rendimento; porém a taxa fotossintética medida nas mesmas folhas não está associada ao rendimento. Esses resultados indicam que, um aumento na fotossíntese líquida não implica em maior rendimento, devendo-se analisar a fotossíntese total da planta (HARRIS, 1992; FERREIRA & CARLESSO, 1998 e; IERNA & MAUROMICALE, 2006).

2.1.3 Demanda evaporativa da atmosfera

O clima é um dos fatores mais importantes na determinação das exigências hídricas das culturas. Quando não existe limitação hídrica no solo para a transpiração vegetal, os principais fatores climáticos que atuam regulando a demanda evaporativa da atmosfera são: (i) radiação solar incidente; (ii) temperatura do ar; (iii) umidade relativa do ar e; (iv) vento. Condições de elevada demanda evaporativa da atmosfera ocorrem na presença de vento, com a radiação solar e a temperatura alta e, baixa umidade do ar, transportando-se enormes quantidades de água (REICHARDT, 1990).

2.2 Determinação do consumo de água das plantas

Considerando que, em geral, é difícil separar os processos de evaporação e transpiração, por serem mutuamente dependentes, ambos são reunidos e tratados

como se fosse um único processo, chamado de evapotranspiração (da SILVA et al., 2005). Porém, diversos modelos foram utilizados com êxito para calculá-los separadamente (RITCHIE, 1972; TANNER & JURY, 1976). A evapotranspiração é função das condições meteorológicas, das características da planta (arquitetura foliar e índice de área foliar) e, do conteúdo de água na superfície do solo. Desta forma, são definidos vários parâmetros, como: evapotranspiração de referência (ET_o), evapotranspiração máxima (ET_m) e, evapotranspiração real (ET_r).

A evapotranspiração das culturas pode ser determinada através de lisímetros, calculada a partir de observações micrometeorológicas do sistema solo-planta-atmosfera ou estimada a partir de observações meteorológicas. O modelo Penman-Monteith utiliza dados de observações meteorológicas e parâmetros da cultura para estimar a evapotranspiração.

2.2.1 Evapotranspiração determinada em lisímetros

Os lisímetros são grandes recipientes enchidos de solo, imitando um perfil natural, onde as condições do sistema solo - planta - atmosfera podem ser convenientemente reguladas e controladas (HILLEL et al., 1969). A lisimetria destaca-se pela precisão, confiabilidade e simplicidade das determinações da evapotranspiração (ABOUKHALED et al., 1986).

Os lisímetros têm sido utilizados desde a metade do século XIX em diversos programas de pesquisa, principalmente para estudar a dinâmica da água no perfil do solo (HOWELL et al., 1991), em estudos micro-meteorológicos, em medidas diretas da evapotranspiração, na avaliação do sistema radicular, na lixiviação de nutrientes e, no ajuste das equações utilizadas para estimação da demanda evaporativa da atmosfera (ABOUKHALED et al., 1986). Mais recentemente, CORWIN et al. (1999) citam que, pode ser utilizado na modelagem de transporte de solutos e monitoramento de poluentes.

Os desenhos e dimensionamentos dos lisímetros utilizados até hoje são inúmeros e, é função de vários parâmetros, como: o objetivo da pesquisa, o solo, a cultura, o clima, a tecnologia empregada e, os custos (TRIPATHI et al., 1987 e

KHAN et al., 1993). Existem várias classificações para os lisímetros, segundo o mecanismo de medida, existência e tipo de drenagem, via de abastecimento de água e grau de perturbação do solo (ABOUKHALED et al., 1986).

Considerando a primeira categoria de classificação, que é a mais geral, tem-se: (i) lisímetros de pesagem e; (ii) de drenagem. Os primeiros têm maior precisão, registrando direta e independentemente o conteúdo de água, a evapotranspiração e a drenagem por diferença de peso, com uma precisão de 0,03-0,05 mm (YOUNG, 1996; TRIPATHI et al., 1987; ABOUKHALED et al., 1986; KHAN et al., 1993; COWIN, 1999 e XINGFA et al., 1999). Por sua vez, os lisímetros de drenagem permitem calcular a evapotranspiração durante um determinado período de tempo, recolhendo a água de drenagem durante esse período; recomendando-se seu uso para avaliar evapotranspiração, movimento da água no solo e, manejo de irrigação para períodos semanais (ABOUKHALED et al.1986).

2.2.2 Evapotranspiração calculada a partir de dados meteorológicos

A escolha e a precisão do método de cálculo da ETo depende fundamentalmente dos dados climáticos disponíveis. Em localidades com disponibilidade de informações de temperatura do ar, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, ALLEN et al. (1998) recomendam a utilização do método combinado FAO Penman-Monteith (FAO_{P-M}), que proporciona resultados satisfatórios para prever os efeitos do clima nas necessidades de água das culturas, realizando estimativas confiáveis e consistentes da ETo, com melhor desempenho tanto em climas áridos ou úmidos, sendo recomendado como o método padrão.

O método FAO_{P-M} foi selecionado pela FAO para o cálculo da ETo por ser capaz de fornecer resultados semelhantes aos observados em nível de campo. Esse método é uma representação simplificada e aproximada dos fatores físicos e fisiológicos que regulam o processo evapotranspirativo, permitindo considerar o efeito das variáveis climáticas na evapotranspiração da cultura de referência. A definição de cultura de referência, hipotética, que utiliza o método FAO_{P-M} representa

a evapotranspiração de uma superfície extensa de grama verde de altura uniforme, crescendo ativamente e adequadamente irrigada, que tem uma altura assumida de 12 cm, resistência superficial de 70 s m^{-1} e albedo de 0,23 (ALLEN et al., 1989).

Para obter a ET_c , deve-se relacionar a ET_o com o coeficiente de cultura (K_c), de cada estágio de desenvolvimento da cultura. Portanto, a ET_c faz referência a evapotranspiração de uma cultura isenta de doenças, crescendo num campo extenso (uma ou mais hectare) sob condições ótimas de solo, fertilidade e água, atingindo-se o máximo rendimento (DOOREMBOS & PRUITT, 1977). O K_c é função de vários fatores, como: (i) características da cultura; (ii) data de semeadura; (iii) velocidade de desenvolvimento e duração do período vegetativo; (iv) condições climáticas (especialmente durante a fase de crescimento) e; (v) frequência de precipitações pluviais e irrigações (SOARES et al., 2001).

A equação FAO_{P-M} (ANEXO A) é composta por dois termos, um de energia (radiação líquida na superfície da cultura e fluxo de calor do solo) e outro aerodinâmico (vento e umidade do ar), com importância relativa em função das condições climáticas do local. O termo aerodinâmico refere-se ao processo de intercâmbio gasoso com a vegetação, identificando duas resistências, a aerodinâmica e a superficial. A resistência superficial descreve a resistência ao fluxo de vapor através dos estômatos, considerando a área foliar total da cultura, porém, engloba também a resistência aos fluxos de vapor relativos à evaporação direta da água do solo e aos fluxos não turbulentos de vapor, que ocorrem no interior do dossel vegetativo. A resistência aerodinâmica é a resistência na parte imediatamente superior à vegetação, e inclui o atrito que o ar sofre quando se desloca sobre as superfícies vegetadas, associada à correspondente transferência vertical de calor sensível.

Deste modo, a equação FAO_{P-M} inclui todos os parâmetros que governam o intercâmbio de energia e o fluxo de calor de grandes extensões uniformes de vegetação. Essa equação pode ser utilizada para o cálculo direto da evapotranspiração de qualquer cultura, já que ambas as resistências (aerodinâmica e superficial) são específicas para cada cultura. O seu uso é rescrito a condições neutras, ou seja, onde a temperatura do ar, a pressão atmosférica e a distribuição da velocidade do vento seguem condições quase adiabáticas (sem intercâmbio de calor). O uso da equação em períodos curtos (horários ou menores) pode necessitar

a inclusão de correções. Na superfície de referência (irrigada) o intercâmbio de calor é pequeno e, portanto, normalmente não necessita de correção.

2.3 Características da cultura de batata

A cultura de batata é cultivada em todo o mundo, predominantemente nas regiões de clima temperado. A produção mundial é de 316 milhões de toneladas anuais, procedentes de 19 milhões de hectares (FAO, 2007), sendo a quarta cultura em volume depois do milho, arroz e trigo.

Originária da Cordilheira dos Andes (do norte do Chile até a Venezuela) e América Central, regiões tropicais de elevada altitude. A batata (*Solanum tuberosum* L.) é uma espécie herbácea com metabolismo C3, perene por seus tubérculos, mas comercialmente utilizada como anual. As flores características da família das Solanáceas são actinomorfas e pentâmeras, localizadas em inflorescências cimosas, situadas sempre na extremidade de um talo. As condições ambientais, principalmente horas e intensidades de luz e a temperatura do ar têm grande influencia na floração. A aparição do fruto é geralmente rara devido ao fato que mais de 70% das variedades apresentam andro esterilidade. A semente botânica é utilizada principalmente como ferramenta para a obtenção de novos materiais nos programas de melhoramento genético.

O sistema radicular da batata é pouco desenvolvido. Assim, geralmente 70% da absorção de água ocorre nos primeiros 30 cm de profundidade no perfil e, o 100% até 40 cm (DOORENBOS & KASSAM 1979); dependendo das características físico hídricas do solo como a textura e a estrutura (MEYER & MARCUM, 1998 e ÜNLÜ et al., 2006).

O tubérculo (talo modificado e adaptado para a reserva de carboidratos) é utilizado na multiplicação vegetativa da cultura. Entre 75 a 85% da massa seca total produzida pela planta é acumulada nos tubérculos. Desde o ponto de vista anatômico, o tubérculo é um talo modificado com entrenós curtos e engrossados e, ao seu redor, tem cicatrizes (gemas axilares) dispostas em forma helicoidal que

darão origem a novos brotos. A tuberização inicia com o engrossamento por crescimento radial do primeiro entrenó situado embaixo da gema apical do estolão.

No momento da colheita os tubérculos encontram-se em dormência, cuja duração depende de vários fatores, como: (i) variedade; (ii) condições durante o ciclo da cultura e; (iii) características do armazenamento. Vários autores, entre eles HARRIS (1992), VAN der ZAAG (1992) e, ROUSSELLE et al. (1999) ressaltam a importância da semente na definição da duração do ciclo de crescimento, em função da idade fisiológica e do tamanho. Utilizar semente fisiologicamente velha ocasiona maior taxa de emergência, assegurando uma rápida instalação da cultura, podendo aumentar o rendimento (HARRIS, 1992). Vários trabalhos confirmam a estreita correlação entre a idade fisiológica e o número de talos produzidos (VAN der ZAAG, 1992).

A duração do ciclo de desenvolvimento varia entre 90 e 150 dias, dependendo da fisiologia da semente, do conjunto de fatores agro-climáticos e da variedade utilizada (VAN der ZAAG, 1992 e ROUSSELLE et al., 1999). Existem diversos trabalhos que estudaram a fenologia da cultura, caracterizando os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Por um lado, KLEINKOPF (1983) e OJALA et al. (1990) diferenciam quatro estádios no ciclo de desenvolvimento da cultura: vegetativo, início dos tubérculos, enchimento dos tubérculos e maturação; com uma duração aproximada de 15 a 30, 10 a 14 e, 60 a 120 dias, respectivamente. Nas condições agroclimáticas do Uruguai, VILARÓ et al. (2000) identificaram três estádios: desenvolvimento das folhas, início da tuberização e, maturação, com uma duração aproximada de 45 a 60 dias, 30 a 40 e 25 dias, respectivamente. MOORBY & MILTHORPE (1975) identificaram três estádios no ciclo: (i) da semeadura até uma área foliar de 200-300 cm² por planta (dependendo do tubérculo mãe); (ii) o primeiro estágio autótrofo, predominando a produção de talos e; (iii) crescimento dos tubérculos, com gradual senescência da parte aérea. Por outro lado, HACK et al. (1993) identificam nove estádios de desenvolvimento da cultura e sua relação com a iniciação e enchimento dos tubérculos. Na figura 1 são apresentados os estádios de desenvolvimento segundo esses autores; os estádios 2, 3 e 4 encontram-se dentro do subperíodo de desenvolvimento foliar (Estádio 1).

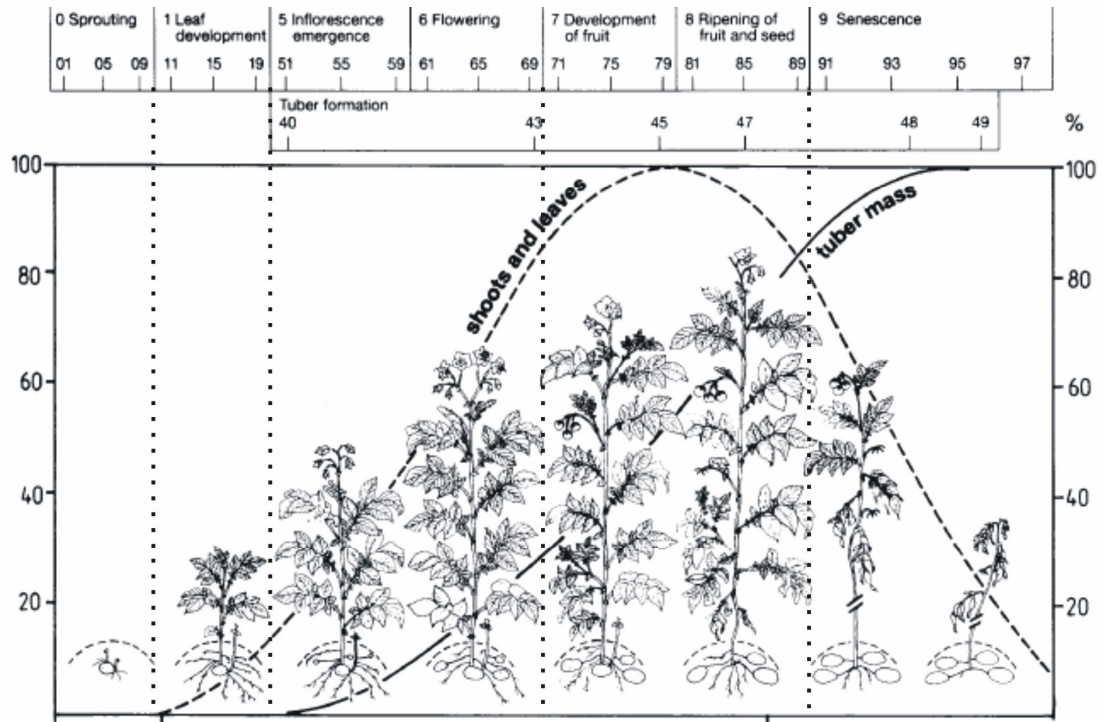


Figura 1. Estádios de desenvolvimento no ciclo da cultura de batata, segundo HACK et al. 1993.

O consumo da água acompanha o desenvolvimento da cultura, aumentando do estágio vegetativo para a tuberculização, atingindo o valor máximo no início do desenvolvimento e enchimento dos tubérculos, diminuindo no estágio de maturação (NELSON & HWANG, 1975; DOORENBOS & KASSAM, 1979; OJALA et al., 1990; LIMA BEZERRA et al., 1998 e; AGUIAR NETO et al., 2000). A lâmina total de água aplicada deve atender as exigências hídricas das plantas em todos os estádios de desenvolvimento e, segundo DOORENBOS & KASSAM (1979) em média uma variedade de batata de ciclo médio (120 a 150 dias) necessita de 500 a 700 mm dependendo do clima do local. Em condições de clima semi-árido, na Espanha, FABEIRO et al. (2001) observaram que para atingir rendimentos superiores a 40 Mg ha⁻¹ ha necessidade de 520 a 570 mm durante todo o ciclo da cultura. ÜNLÜ et al. (2006) trabalhando na Turquia (clima semi-árido, com uma evaporação do tanque classe A de 1025 mm, e chuvas de 108 mm totais durante toda a estação de desenvolvimento da cultura) também encontraram valores anuais da ETm entre 630

e 830 mm e, observaram reduções no rendimento da cultura quando a lâmina de irrigação foi inferior a 70% da ET_m.

Vários pesquisadores, entre os quais DOORENBOS & KASSAM (1979), TANNER (1981), ROSENTHAL et al. (1987), LEDENT (2002) e, ÜNLÜ et al. (2006), observaram uma relação linear entre o rendimento e a transpiração da cultura, determinado por fatores do ambiente e da planta (principalmente as características do dossel vegetativo). Desta forma, a evapotranspiração máxima de uma cultura cultivada em condições hídricas não limitantes para o desenvolvimento vegetal está diretamente relacionada com o índice de área foliar (IAF).

O IAF máximo que as plantas de batata podem atingir está entre 3,5 e 6,0 dependendo da variedade (DOORENBOS & KASSAM, 1979; WRIGHT & STARK, 1990 e; BATTILANI & MANNINI, 1993). No estágio de desenvolvimento vegetativo verifica-se uma relação linear entre o crescimento da cultura e o IAF, até valores de 5,0; ultrapassar esse valor (através da densidade de talos ou adubação nitrogenada) interfere na interceptação da radiação solar e na absorção de nutrientes (MOORBY & MILTHORPE, 1975). No Uruguai, CARDELLINO & GARCIA (1983) obtiveram IAF máximos de 3,6 e 1,6 no tratamento irrigado (374 mm de água aplicada) e chuva de 214 mm, respectivamente. Resultados semelhantes do IAF para a batata var. Chieftain foram observados por GARCIA (2004), irrigando sempre que a ET_m acumulava valores de 22, 25 e 28 mm. Nas condições do Uruguai, um IAF entre 3,0 e 4,5 garante uma porcentagem de 87 a 96% na interceptação da radiação incidente ALBADE & DOGLIOTTI (1998).

2.3.1 Definição do rendimento

O rendimento da cultura de batata é função: (i) da acumulação da radiação solar interceptada; (ii) da eficiência do dossel em utilizar a radiação fotosinteticamente ativa e transformá-la em massa seca; (iii) do índice de colheita e; (iv) da matéria seca contida nos tubérculos (VAN der ZAAG, 1992). Desta forma, o rendimento depende da duração do subperíodo de enchimento dos tubérculos e da

taxa de crescimento dos mesmos, que por sua vez, é função da taxa de assimilação líquida (Figura 2).

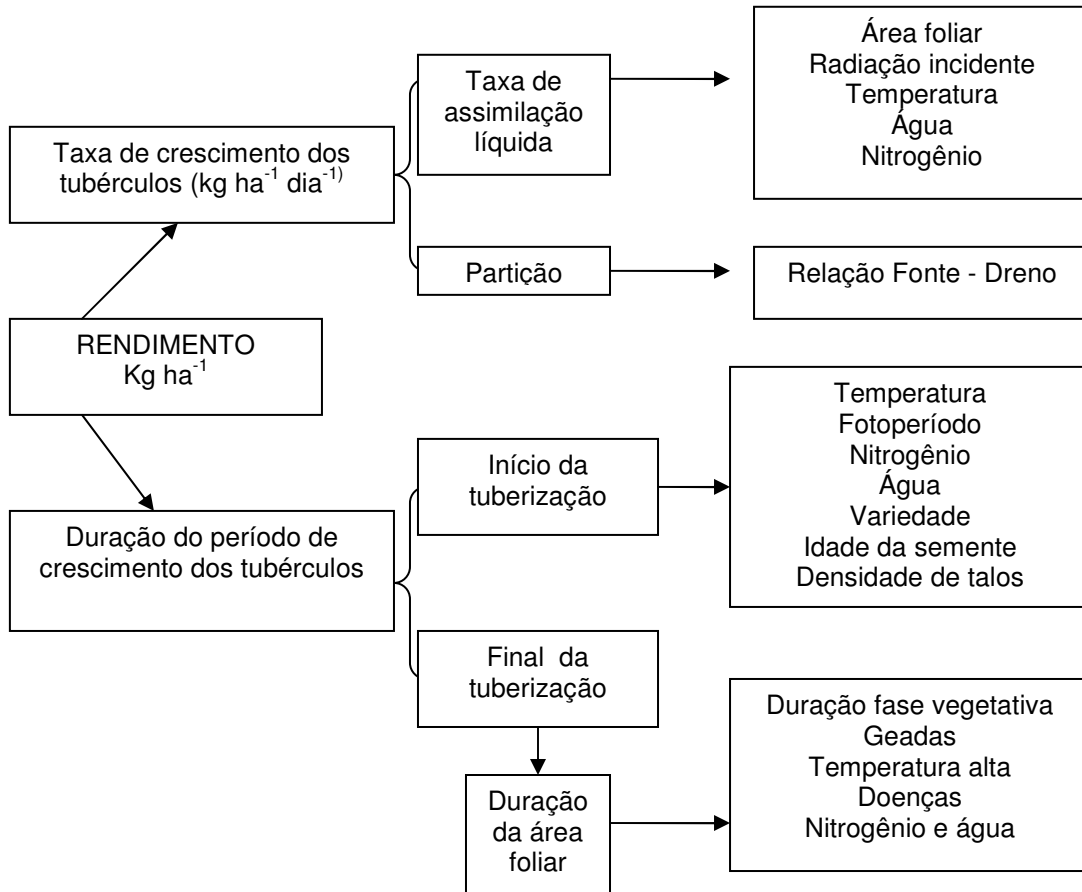


Figura 2. Definição do rendimento na cultura de batata, segundo ALDABE & DOGLIOTTI (1998).

Em condições não limitantes, a taxa de assimilação líquida varia com a radiação interceptada, a temperatura do ar e a concentração de CO_2 interna. A taxa diária de crescimento dos tubérculos é função da taxa fotossintética, da respiração e da distribuição da matéria seca na planta, portanto, depende da radiação solar e da temperatura do ar, considerando um dossel vegetativo e disponibilidade hídrica ótimos. A duração do estágio de enchimento de tubérculos depende da duração da área foliar ativa. Nesse sentido, MOORBY & MILTHORPE (1975) observaram uma estreita relação entre o desenvolvimento foliar e a duração do ciclo de crescimento com o rendimento. Essa resposta é função do ambiente e da variedade. Assim,

condições de manejo ou ambiente que atrasem o início da tuberização favorecem a formação de uma maior área foliar, aumentando a duração do ciclo da cultura e elevando o rendimento (CLUTTERBUCK & SIMPSON, 1978). Por outro lado, HARRIS (1992) e JEFFERIES & MACKERRON (1993) observaram que, com maior IAF aumenta a interceptação da radiação solar resultando em um maior rendimento. Portanto, essa resposta no rendimento deve-se à maior interceptação da radiação solar e não a um aumento na eficiência de conversão da radiação, isto é, a taxa fotossintética é menos afetada que a área foliar da cultura (Millard & Marshall citados por HARRIS, 1992 e HSIAO, 1993). Mesmo assim, o aumento da área foliar através de um maior número de talos por superfície acarreta uma diminuição no tamanho médio dos tubérculos, descrevendo uma função parabólica entre o rendimento e a densidade de talos (MOORBY & MILTHORPE, 1975).

2.3.2 Principais fatores ambientais que afetam o ciclo de desenvolvimento da batata

Na ontogenia do ciclo, a primeira característica determinante de seu desenvolvimento, objeto de numerosos estudos, HARRIS (1992); VAN der ZAAG (1992) e ROUSSELLE et al. (1999) é a idade fisiológica da semente. A dormência é uma característica determinada geneticamente, sendo influenciada pelos fatores climáticos. A temperatura do ar, a umidade relativa do ar e, a luminosidade, tanto durante o período de campo como no armazenamento tem um efeito direto na dormência.

A duração do período de repouso varia de uma a 15 semanas, em função das condições de temperatura no armazenamento (MOORBY & MILTHORPE (1975). Tubérculos mãe armazenados a 15°C apresentaram uma importante dominância apical inibindo as gemas de menor tamanho. No entanto, a 1°C várias gemas continuam seu desenvolvimento, reduzindo a dominância apical. Temperaturas entre 8 e 10 °C são as mais recomendáveis, uma vez que nesta faixa as perdas por respiração são mínimas. Geralmente, no armazenamento procura-se prevenir a brotação múltipla, mantendo os tubérculos mãe em condições semelhantes à colheita. Esse objetivo é atingível manejando o tamanho dos tubérculos, a

temperatura e duração de armazenagem, controlando assim o número, o tamanho e o grau de diferenciação dos brotos no momento da semeadura.

Depois de superada a dormência, o crescimento dos brotos é função de fatores ambientais como, temperatura, umidade do solo e concentração de nutrientes, variando a sua duração desde alguns dias até um mês. Ao mesmo tempo, aspectos de manejo como a profundidade de semeadura, compactação do solo e a infecção de doenças podem acarretar problemas, provocando atraso na emergência e/ou enrolamento dos brotos, resultando em um estabelecimento desuniforme da cultura (MOORBY & MILTHORPE, 1975).

O estágio vegetativo é afetado tanto pela temperatura do ar como pela radiação solar, sendo em geral, tanto mais extenso quanto maior forem esses parâmetros. O início da tuberização é fortemente influenciado pelos fatores do ambiente. O fotoperíodo curto e as baixas temperaturas são promotores da iniciação, assim como os altos níveis de radiação solar e o moderado suplemento de nutrientes minerais (ROUSSELLE et al., 1999).

2.3.2.1 Temperatura

A batata é uma cultura que responde qualitativamente a temperatura. Valores ótimos diurnos encontram-se entre 18°C a 20°C (DOORENBOS & KASSAM, 1979). O zero biológico para a vegetação da batata está entre 5 e 7°C. Quando submetidas a temperaturas inferiores a -2°C, os tubérculos correm risco de congelar; porém, em temperaturas elevadas (ao redor de 29°C) comprometem a tuberização e provocam o rebrote.

Em clima temperado, o crescimento e formação dos tubérculos são favorecidos por noites moderadamente frias (menores que 15°C) e temperaturas médias durante o dia entre 20 a 24°C (VAN der ZAAG, 1992 e ROUSSELLE et al., 1999). Nessas condições de temperatura do ar, entre 25 a 30% do total de carboidratos são respirados, aumentando consideravelmente com o incremento da temperatura (Winkler citado por VAN der ZAAG, 1992). A respiração é influenciada tanto pela temperatura do ar como pela radiação solar, essa última afeta

principalmente a quantidade de substratos disponíveis a serem respirados, mas o efeito maior é produzido pela temperatura.

A quantidade de fotossíntese líquida disponível para o crescimento diminui com a elevação da temperatura e pelo aumento na fotorespiração (VAN der ZAAG, 1992). Cada aumento de 5°C ou diminuição de 10°C da faixa ótima de temperatura provocam uma perda no rendimento fotossintético em aproximadamente 25% (ROUSSELLE et al., 1999). A fotossíntese líquida é reduzida sob temperaturas menores de 18°C e maiores que 31°C, associada com uma diminuição na condutividade estomática que provoca uma queda na concentração interna de CO₂ (Dwelle et al. citados por VAN der ZAAG, 1992).

A temperatura do ar aumenta o total de matéria seca foliar, provavelmente por um maior índice de área foliar (IAF) por planta, particularmente sob altos níveis de radiação solar. A variação diurna de temperatura reduz a relação entre folhas e talos. As folhas individuais diminuem sua duração sob altas temperaturas, mas novas folhas são formadas rapidamente e por um período mais longo (Menzel citado por VAN der ZAAG, 1992).

2.3.2.2 Fotoperíodo

A batata é definida como uma cultura de fotoperíodo curto, com resposta quantitativa, porém, existe uma grande diversidade em função da adaptabilidade das diferentes variedades às condições climáticas do local de cultivo. A intensidade de luz afeta o crescimento e desenvolvimento das plantas de batata através da produção de carboidratos e sua partição entre os diferentes órgãos. Além de ter influência sobre a produção de carboidratos, mediante modificações na atividade fotossintética e no IAF, o fotoperíodo afeta a indução da tuberização. Os dias mais curtos ou mais exatamente, as noites de maior duração, favorecem a indução precoce da tuberização (MOORBY & MILTHORPE, 1975). Essa resposta deve ser considerada para cada variedade, já que existe para cada uma delas um comprimento crítico do dia. A maior parte das variedades utilizadas nas regiões de clima temperado tem fotoperíodos críticos compreendidos entre 13 e 16 horas, com certas modificações produzidas pela temperatura.

O fotoperíodo curto por um lado, estimula a rápida iniciação dos tubérculos, mas por outro, reduz o tamanho e a duração da área foliar. Essa resposta está diretamente relacionada com as condições do local (MOORBY & MILTHORPE, 1975); variedades melhoradas sob condições de fotoperíodo curto, quando submetidas a dias longos, atrasam o início da tuberização, reduzindo o rendimento.

2.3.2.3 Manejo da irrigação e adaptações morfofisiológicas

O efeito do déficit hídrico sobre a maioria das culturas varia de acordo com a sua duração e intensidade e, com o estágio de desenvolvimento das plantas. O estabelecimento lento e gradual do déficit hídrico permite o acionamento de mecanismos morfofisiológicos nos vegetais, minimizando os efeitos deletérios do déficit (CARLESSO & SANTOS, 1999).

A intensidade do déficit hídrico pode classificar-se como: (i) leve, quando a ET_m acumulada atingir 70 mm; (ii) moderado, quando esse valor atingir 100-150 mm e; (iii) severo quando a E_{tm} ultrapassar os 150 mm; sendo função do estágio de desenvolvimento da cultura.

A cultura de batata é caracterizada na literatura como sensível ao déficit hídrico, tanto em termos de rendimento como de qualidade (DOOREMBOS & KASSAM 1979; HARRIS, 1992; VAN der ZAAG, 1992; OJALA et al., 1990; HSIAO, 1993 e; IERNA & MAUROMICALE, 2006). Diferentemente de outras espécies, a batata fecha seus estômatos com a ocorrência de déficits hídricos leves, acarretando várias mudanças nas atividades fisiológicas que condicionam seu rendimento e qualidade (OJALA et al., 1990; PEREIRA & SHOCK, 2006). ACKERSON et al. (1977) explicam que, a extrema sensibilidade da batata ao déficit hídrico deve-se a dificuldade do potencial da água da folha em responder a aumentos no potencial da água do solo e, pela estreita relação entre o déficit hídrico e os processos fisiológicos. Por outro lado, OJALA et al. (1990) e HARRIS (1992) afirmam que, a batata é sensível ao déficit hídrico devido a sua baixa densidade de comprimento de raízes, além de apresentar menor proporção de raízes nas camadas de solo mais seco. Este último é importante nas condições de Uruguai, onde os solos da principal região produtora de batata apresentam um horizonte B

argiloso de origem aluvial, na camada de 20 a 40 cm (CARDELLINO & GARCIA, 1983).

Nesse sentido, para atingir altos rendimentos deve-se manter o solo com elevado conteúdo de água na zona de atividade radicular com valores entre 50 e 70% da água disponível para qualquer solo, podendo atingir o limite inferior de disponibilidade água no solo (50% da água disponível) somente durante o estágio vegetativo e de maturação (DOOREMBOS & KASSAM, 1979). Por outro lado, o manejo da irrigação deficitária tem proporcionado grande sucesso em diversas culturas, em várias partes do mundo (SHOCK & FEIBERT, 2006). Entretanto, segundo ELDREDGE et al. (1992) e SHOCK et al. (1998), na batata é difícil a implementação de um manejo de irrigações deficitárias, devido ao fato que a ocorrência de curtos períodos de déficit hídrico após a tuberização da cultura provocam perdas em rendimento e qualidade. Por isso, HARRIS (1992) e, SHOCK & FEIBERT (2006) afirmam que, variedades de batata cultivadas em determinados locais, podem tolerar irrigações deficitárias antes do início do enchimento dos tubérculos, sem acarretar reduções significativas no rendimento e qualidade.

Vários pesquisadores, entre os quais HANG & MILLER (1986), ROSENTHAL et al. (1987), HARRIS (1992), JEFFERIES & MACKERRON (1993), HSIAO (1993), HEUER & NADLER (1995) e DEBLONDE & LEDENT (2001) estudaram as modificações morfológicas para diferentes variedades de batata verificando que, o tamanho da planta, a expansão foliar e o número de folhas verdes (indicando senescência) são os parâmetros mais sensíveis ao déficit hídrico. A duração da área foliar tem o mesmo comportamento que o IAF em relação ao déficit hídrico, confirmando que a redução da taxa de crescimento da área foliar representa uma estratégia de defesa dos vegetais.

Pesquisadores avaliaram o desempenho da altura máxima de planta em relação ao déficit hídrico, encontrando diferenças significativas entre os tratamentos de irrigação quando o déficit hídrico foi imposto durante o subperíodo vegetativo (HANG & MILLER, 1986; OJALA et al., 1990; HEUER & NADLER, 1995 e; DEBLONDE & LEDENT, 2001). Porém, a altura máxima de planta não apresentou relação consistente com o rendimento, mesmo assim, foram observadas diferenças entre variedades, sendo as mais precoces as que atingiram menor altura de planta e menor rendimento. De forma geral, para que o déficit hídrico comprometer o

rendimento deve acontecer no início do ciclo de desenvolvimento (OJALA et al., 1990 e; DEBLONDE & LEDENT, 2001).

Em referência as modificações ocasionadas pelo déficit hídrico nos processos fisiológicos do vegetal, vários trabalhos indicam que a condutância estomática é um bom indicador do estado hídrico da planta, melhor que o potencial hídrico foliar, já que é mais sensível e responde melhor as rápidas diminuições no conteúdo de água no solo (MOORBY & MILTHORPE, 1975; DWELLE et al., 1981; HARRIS 1992; SASSAKI & MACHADO, 1999 e; AMER & HATFIELD, 2004). Tal comportamento sugere que, a medida que o déficit hídrico avance, as raízes podem agir diretamente sobre o controle estomático por meio da síntese de ABA nas próprias raízes.

A relação entre condutância estomática e potencial hídrico na folha é altamente empírica, porque a abertura estomática responde a vários fatores de desenvolvimento, como: temperatura do ar, umidade do ar e, radiação solar (HARRIS, 1992). Estudos com diferentes manejos da água de irrigação, relacionando condutância estomática, potencial hídrico na folha e fotossíntese com o rendimento, verificaram que existe uma relação estreita entre alguns parâmetros fisiológicos e o rendimento, porém, recomendam a utilização da condutância estomática como indicador do estado hídrico das plantas (SHIMSHI et al., 1983; LEDENT, 2002 e; IERNA & MUROMICALE 2006).

Sob condições de déficit hídrico leve a moderado, a eficiência do uso da água pode aumentar devido o fechamento dos estômatos ter maior influencia na inibição da transpiração do que na diminuição das concentrações intercelulares de CO₂ (AGUIAR NETO et al., 2000; SASSAKI & MACHADO, 1999 e; FLEXAS & MEDRANO, 2002). Essas limitações na fotossíntese podem desaparecer quando aumenta a concentração de CO₂, mas os efeitos diretos do déficit hídrico sobre o metabolismo do mesofilo não desapareceram com maiores concentrações de anidrido carbônico.

Existe uma grande correlação entre a condutividade estomática e os níveis de fotossínteses, quando as plantas desenvolvem-se sob condições de alta intensidade de radiação solar e temperaturas do ar ótimas (SHIMSHI et al., 1983; MEDRANO et al., 2002; FLEXAS & MEDRANO, 2002; LEDENT, 2002 e; IERNA & MUROMICALE, 2006). Segundo esses autores, a concentração interna de CO₂ governa o processo de fotossíntese nessas condições. IERNA & MUROMICALE (2006) encontraram que, as maiores taxas fotossintéticas aconteciam aos 40 dias após a emergência

das plantas (DAE), com valores entre 8,0 a 13,6 $\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$. Experimentos conduzidos durante dois anos por SHIMSHI et al. (1983) com o intuito de avaliar a fotossíntese líquida na cultura de batata reportaram valores de 0,8 mg de $\text{CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ (equivalente a 34,0 mg de $\text{CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Resultados semelhantes foram observados por SCHAPENDONK et al. (1989) trabalhando com cinco variedades de batata, com valores na faixa de 20,6 a 25,1 mg de $\text{CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$; porém, Dwelle et al. citados por VAN der ZAAG (1992), avaliando a fotossíntese líquida em nove variedades de batata, observaram valores entre 40 a 70 mg de $\text{CO}_2 \text{ dm}^{-2} \text{ h}^{-1}$.

MUNNS & PEARSON (1974) e VAN der ZAAG (1992), confirmaram o efeito do dreno sobre os níveis de fotossíntese líquida por planta, através de inúmeros experimentos onde removiam os tubérculos ou reduziam suas taxas de crescimento aplicando baixas temperaturas. A taxa de assimilação líquida foi duplicada durante a iniciação da tuberização e, no início do crescimento dos tubérculos, reduzindo-se durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

2.3.2.3.1 Efeitos sobre o rendimento e seus componentes

O rendimento da batata é determinado por três fatores: (i) o número de talos; (ii) o número de tubérculos por talo principal e; (iii) a media de massa dos tubérculos (LYNCH & TAI, 1989). O número de talos por planta é determinado geneticamente e pela idade fisiológica da semente, portanto, não é afetado pela ocorrência de déficit hídrico. Segundo LYNCH & TAI (1989) somente quando o déficit hídrico ocorre no início do ciclo da cultura ocasiona diminuições no número de talos por planta. Para a Holanda, VAN der ZAAG (1992) afirma que, o número de talos por metro quadrado ótimo está entre 20 a 25, desenvolvendo cada um deles não mais de 2 a 4 tubérculos.

Quanto ao número de tubérculos por planta e sua sensibilidade ao déficit hídrico, existem controvérsias na literatura. MacKerron & Jeferris citados por HARRIS (1992), HEUER & NADLER (1995) e, LAILOU et al. (2003) afirmam que, o número de tubérculos por planta é determinado no início da ontogenia do rendimento, sendo modificado quando o déficit hídrico foi imposto quando ocorrer

50% da emergência das plantas. Resultados obtidos por MILLER & MARTIN (1980) e DEBLONDE & LEDENT (2001) demonstram que, o número de tubérculos por talo principal foi inconsistente entre as variedades e entre os anos de avaliação. JEFERRIES & MACKERRON (1993) trabalhando com 19 variedades e suas respostas ao déficit hídrico, observaram uma interação significativa entre variedade e irrigação para o número de tubérculos produzidos por talo principal. Por outro lado, CLUTTERBUCK & SIMPSON (1978), LYNCH & TAI (1989), Salter & Goode citados por MEYER & MARCUM (1998), BOUJELBEN & M'BAREK (1997) e, LIMA BEZERRA et al. (1998) afirmam que, o adequado fornecimento da água as plantas antes e durante o início da tuberização, incrementa o número de tubérculos por planta; porém uma adequada disponibilidade de água após a iniciação dos tubérculos aumenta o tamanho dos mesmos. Segundo Cavagnaro et al. citado por DEBLONDE & LEDENT (2001) o déficit hídrico no começo da tuberização induz a um aumento na duração dessa fase, além de diminuir o número de tubérculos e o rendimento.

Existe consenso na literatura que o déficit hídrico durante os subperíodos de início da tuberização e formação dos tubérculos tem o efeito mais negativo sobre o rendimento (De LIS et al, 1964; LYNCH & TAI, 1989 e; LIMA BEZERRA et al., 1998); sendo que, os subperíodos vegetativo inicial e de maturação dos tubérculos os menos comprometedores. Quando o déficit hídrico ocorre nos primeiros estádios do ciclo, observa-se a maior eficiência do uso da água combinado com máximos rendimentos (FABEIRO et al., 2001).

Experimentos conduzidos na Argentina para estudar o efeito do déficit hídrico em oito subperíodos no ciclo de desenvolvimento da batata, indicaram que, com exceção do subperíodo de estabelecimento da cultura (definido como aparecimento da primeira folha em mais de 50% das plantas), a ocorrência de déficit hídrico em qualquer outro subperíodo reduz o rendimento. Os dois subperíodos de maior susceptibilidade ao déficit hídrico foram a estolonização e o início da tuberização, que ocorrem aos 21 e 40 dias após emergência respectivamente (De LIS, 1964).

Curtos períodos de déficit hídrico durante o início do enchimento dos tubérculos induzem perdas no rendimento e na qualidade interna dos mesmos (ELDREDGE et al., 1996). Segundo LYNCH & TAI (1989) os subperíodos de maior sensibilidade ao déficit hídrico são o início da tuberização e o enchimento dos

tubérculos, esse último quantitativamente mais importante, porém com maior variabilidade.

O rendimento total da batata, e especialmente, a categoria de maior tamanho é muito sensível a curtos períodos de déficit hídrico durante a formação e crescimento dos tubérculos (OJALA et al., 1990). MILLER & MARTIN (1983) trabalhando com a variedade Russet Burbank, cultivada em dois tipos de solo, observaram aumentos significativos no rendimento comercial no tratamento irrigado. Portanto, para atingir elevados rendimentos e qualidade de tubérculos é necessária uma boa disponibilidade de água desde início da tuberização até maturação (VAN LOON, 1981; WRIGHT & STARK 1990 e; LYNCH et al., 1995). Vários trabalhos, entre os quais se destacam DOORENBOS & KASSAM (1979), GARCIA & CARDELINO (1983), HANG & MILLER (1986), BOŠNJAK & PEJIĆ (1997), FABEIRO et al. (2001) e, ÜNLÜ et al. (2006) observaram sob inúmeras condições ambientais, a relação direta entre a lâmina total de água aplicada e o rendimento total da cultura.

A eficiência da irrigação na cultura de batata (kg de tubérculos produzidos em relação a um metro cúbico de água aplicada por hectare) em climas úmidos e semi-tropicais, é da ordem de 4,0 a 7,0 kg m⁻³ (DOOREMBOS & KASSAM, 1979). Valores semelhantes em clima árido foram reportados por ÜNLÜ et al. (2006), onde a eficiência do uso da água foi de 4,8 e 7,4 kg m⁻³ para sistemas de irrigação por gotejamento e aspersão respectivamente. FABEIRO et al. (2001) avaliando dez tratamentos de irrigação em batata sob diferentes porcentagens da ET_m, observaram aumentos de 8,5 kg na produção por hectare para cada metro cúbico de água aplicada. Nas condições de Uruguai, CARDELLINO & GARCIA (1983) encontraram uma resposta média no rendimento da batata variedade Kennebec de 5,05 kg m⁻³ até a aplicação de 500 mm de água no total do ciclo da cultura, porém, no tratamento irrigado (494 mm de água aplicada) a eficiência da irrigação foi de 12,3 kg m⁻³.

O manejo da irrigação pode aumentar o rendimento comercial, conservar a água e a energia, diminuir a ocorrência de doenças e a adubação nitrogenada; resultando na diminuição de custos e dos riscos de contaminação dos aquíferos (DOOREMBOS & KASSAM, 1979; GARCIA et al., 2004 e; PEREIRA & SHOCK, 2006).

Devido à sensibilidade desta cultura ao déficit hídrico, as pesquisas têm sido conduzidas nessa área, porém os excessos de água no solo ocasionam grandes perdas no rendimento e qualidade dos tubérculos. Segundo Hill et al. e Holder & Cary citados por PEREIRA & SHOCK (2006) o rendimento dos tubérculos diminuiu sob irrigações excessivas, principalmente a categoria comercial, devido à inadequada disponibilidade de oxigênio no solo. Confirmando o anterior, BATTILANI & MANNINI (1993) reportam uma diminuição do rendimento quando as plantas foram submetidas a excessos de água durante o subperíodo vegetativo, condição que determinou o menor desenvolvimento da cultura, com a conseqüente perda de rendimento. A magnitude dos efeitos deletérios da falta de oxigênio no solo está influenciada pela temperatura do solo. A parte central do tubérculo rodeado de água pode atingir a anaerobiose em 6 horas a 10 °C ou em 2 horas a 21 °C (Hooker citado por CARDELLINO & GARCIA, 1983).

2.3.2.3.2 Efeitos sobre a qualidade

O déficit hídrico ou variações no conteúdo de água no solo podem ocasionar diversos problemas na qualidade dos tubérculos, associados a: (i) detrimento do crescimento e/ou crescimento secundário; (ii) malformações nos tubérculos (embonecamento); e (iii) desarranjos fisiológicos como coração preto, coração oco (OJALA et al., 1990 e; ELDREDGE et al., 1992).

A proporção de tubérculos deformados está diretamente relacionada com o aumento do potencial hídrico do solo (Corey & Myers citados por PEREIRA & SHOCK, 2006). PEREIRA & VILLA NOVA (2002) investigaram o efeito de três níveis de potencial hídrico do solo sobre o rendimento e qualidade dos tubérculos em Botucatu (SP) observaram que, as batatas irrigadas a -15,0 kpa aplicando 100% da ETc apresentaram os melhores valores de produção e qualidade comparadas com -33,0 e -53,0 kpa. Da mesma forma, ELDREDGE et al. (1992) observaram que, valores no potencial hídrico no solo menores a -50,0 kpa aumentam diretamente a incidência de tubérculos deformados.

O momento da ocorrência do déficit hídrico é fator importante. Se ocorrer antes do início da tuberização não tem efeito significativo sobre a qualidade dos

tubérculos, porém quando o déficit hídrico ocorrer no final desse estágio e durante o subperíodo de enchimento dos tubérculos causa redução no peso específico (ELDREDGE et al., 1992).

O déficit hídrico no início da tuberização aumenta a aparição de malformações nos tubérculos, sendo mais acentuado nas variedades de tubérculos cilíndricos. A aplicação de irrigações freqüentes diminuiu a aparição de tubérculos que sofram fissuras ou a aparecimento de coração preto. Jefferies & MacKerron citados por HARRIS (1992) citam que existem duas formas para que ocorram fissuras nos tubérculos, uma associada à rehidratação do solo quando o crescimento encontrasse temporariamente parado, e a outra quando ocorre um rápido crescimento dos tubérculos.

Da mesma forma, HANG & MILLER (1986) e MILLER & MARTIN (1987) observaram que, quando o déficit hídrico ocorrer depois da tuberização (durante a metade e final do ciclo de desenvolvimento da cultura) produz tubérculos com menor peso específico, parâmetro estreitamente relacionado com a porcentagem de matéria seca nos tubérculos. Porém, em experimentos conduzidos por SCHOCK et al. (1998), o déficit hídrico não modificou o peso específico dos tubérculos. MILLER & MARTIN (1983) trabalhando com a variedade Russet Burbank em dois tipos de solos (siltoso e arenoso) sob diferentes tratamentos de irrigação, não encontraram modificações significativas no peso específico dos tubérculos.

O conteúdo de massa seca nos tubérculos pode aumentar levemente com disponibilidade limitada de água às plantas durante o subperíodo de maturação (DOOREMBOS & KASSAM, 1979). O peso específico dos tubérculos tende a aumentar quando se aplicam restrições na quantidade de água disponível (PHENE & SANDERS, 1976). Em ensaio com 19 variedades de batata, JEFFERIES & MACKERRON (1993) observaram que, existe uma grande variabilidade entre variedades, porém, a tendência é aumentar o conteúdo de massa seca nos tubérculos sob déficit hídrico.

Ao mesmo tempo em que o déficit hídrico provoca diversos problemas na qualidade interna e externa dos tubérculos, os excessos de água no solo também ocasionam perdas na qualidade dos tubérculos. O excesso de água no solo no final do subperíodo de enchimento dos tubérculos pode provocar fissuras, ocasionado por um novo engrossamento (Grison citado por ROUSSELLE et al., 1999). Hiller & Koller citado por PEREIRA & SHOCK (2006) encontraram que o sintoma de necrose

interna dos tubérculos aumenta com irrigações excessivas durante o início do desenvolvimento dos tubérculos.

2.3.3 Características varietais

As variedades de batata são classificadas segundo a duração de seu ciclo de desenvolvimento como precoces, intermediárias e tardias; característica essa definida geneticamente. Nas variedades precoces, o período de formação de folhas é curto e o dreno para os tubérculos inicia-se rapidamente; porém, as variedades tardias desenvolvem maior número de folhas, potencializando a fotossíntese e retardando o início da tuberização (KOOMAN, 1996). Portanto, o início da tuberização é mais importante na determinação da longevidade das folhas nas variedades precoces porque têm intrinsecamente menor duração. Nestes casos, há uma competição interna entre os diferentes órgãos da planta, sendo o tubérculo a maior força de dreno. As raízes e folhas diminuem o crescimento com o início da tuberização, pela realocação de fotoassimilados e nutrientes, principalmente nitrogênio (HARRIS, 1992).

As diferenças entre variedades submetidas a um adequado manejo são explicadas fundamentalmente pela interceptação da radiação solar, que por sua vez, é função do IAF (HARRIS, 1992 e VAN der ZAAG, 1992). Portanto, variedades precoces com menor duração do ciclo de desenvolvimento interceptam menos radiação solar, atingindo menores rendimentos. SILVA (2004) quantificou as diferenças entre variedades no rendimento, observando que as variedades tardias produziram 71% a mais que as variedades precoces.

As variedades apresentam diversas estratégias e mudanças morfofisiológicas principalmente no desenvolvimento do dossel vegetativo, no tempo de iniciação da tuberização e, nos níveis de fotossíntese. Desta forma, a resposta vegetal ao déficit hídrico apresenta resultados variáveis, principalmente pelas características genéticas (VAN der ZAAG 1992 e LINCH & TAI, 1989). Nos processos fisiológicos afetados pelo déficit hídrico em diferentes variedades, MOORBY & MILTHORPE (1975) não encontraram diferenças consistentes nas taxas de fotossíntese e

respiração. IERNA & MAUROMICALE (2006) avaliando o comportamento de duas variedades de batata em relação a aplicação de um déficit hídrico moderado, observaram reduções nos rendimentos de 21% e 3% para a variedade caracterizada como sensível e tolerante respectivamente; porém a primeira teve maior IAF e rendimento quando foi cultivada sob condições de adequada disponibilidade hídrica.

A variedade INIA-Iporá apresenta grande desenvolvimento vegetativo, explicado pelo vigoroso crescimento foliar e numerosos talos compridos com folhas de folíolos pequenos, hábito semi-prostrado e floração abundante. O ciclo de desenvolvimento é médio a longo (110 dias), e a dormência de oito semanas (VILARÓ et. al., 2000). Produz um elevado número de tubérculos por planta (mais de dez) de tamanho mediano, forma redonda ovalada, pele lisa brilhante e polpa branca (VILARÓ et. al., 2000 e ALDABE, 2000). Apresenta grande facilidade para multiplicação de semente. Possui um elevado rendimento, especialmente durante o ciclo de primavera, onde, com boa disponibilidade de água, pode superar as 40 Mg ha⁻¹ (VILARÓ et. al., 2000). Além de boa qualidade comercial e condições para o consumo direto, em particular fervido.

A variedade Chieftain, originado na Califórnia, tem um ciclo de desenvolvimento médio (100 dias), e a dormência de 14 a 16 semanas (ALDABE, 2000). Produz elevados rendimentos, com vários tubérculos por planta de grande tamanho, forma redondo-ovalada, pele vermelha e polpa branca (VILARÓ et al., 2000 e ALDABE, 2000). Possui boa qualidade para o armazenamento e comercialização no mercado in natura, principalmente para cozimento (ALDABE, 2000).

Quanto ao manejo agrônômico destas variedades no Uruguai, a Iporá é recomendada para plantações no início da estação de desenvolvimento (setembro), permitindo assim semeaduras contínuas no outono-primavera-outono, já a variedade Chieftain devido sua extensa dormência, é possível realizar dois ciclos por ano (ALDABE, 2000). Quanto ao manejo da semente, a variedade Chieftain é rústica e a Iporá é caracterizada como sensível, devendo-se utilizar semente inteira principalmente no ciclo de outono. Recomenda-se ainda para a variedade Iporá a utilização de sementes em estádios incipientes de brotação, classificá-la por tamanho no momento da semeadura e, não utilizar densidades superiores as três plantas por metro linear no camalhão.

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi desenvolvido durante o ano agrícola de 2006/07, em uma rainout shelter (com orientação norte-sul) localizada na Estação Experimental Las Brujas (34°40' 19" S, 56°20'24" W, altitude de 45 m) do Instituto Nacional de Investigación Agropecuária (INIA), município de Canelones, Uruguai (APÊNDICE A).

O solo do local é classificado como Typic Argiudoll (USDA, 1972) predominante na região Sul e Centro Sul do Uruguai; caracterizado por apresentar cor escura (pardo a preta), alto conteúdo de matéria orgânica (mais de 2%), elevada saturação de bases, textura média a pesada e drenagem moderadamente boa. A seqüência de horizontes mais freqüente é A, B e C, sendo o B um horizonte argilúvico e, o C apresenta acumulação secundária de carbonato de cálcio. A análise química do solo do experimento (efetuado o dia 03/08/06) é apresentada na tabela 1.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo do experimento. INIA Las Brujas, 2007.

pH		M.O (%)	Nitrogênio (%)	Fósforo (ppm)	Potássio (ppm)
H ₂ O	KCl				
7,5	6,1	2,1	0,10	5,0	195

pH em suspensão solo-água (H₂O) e cloreto de potássio (KCl) 1N = 1:2,5; matéria orgânica (M.O) analisada pelo método Walkley-Black; nitrogênio segundo Kjeldahl; fósforo determinado pelo método Bray 1 e; potássio em acetato de amônio 1 N a pH 7,0.

Os parâmetros físico-hídricos do solo, como: curva característica de água; densidade do solo; porosidade total; macro e microporos foram determinados a partir de amostras não deformadas, coletadas em anéis volumétricos de 100 cm³, com duas repetições para cada camada do perfil. Simultaneamente, coletou-se aproximadamente 1000 gramas de solo na porção média de cada camada, para a análise granulométrica e de densidade de partícula. Essas amostras foram coletadas após o término do experimento, para não alterar as características do perfil do solo dentro dos lisímetros, tentando restabelecer as condições do perfil original. Para a semeadura, o solo foi preparado até 20 cm de profundidade, revolvendo e realizando

o preparo do camalhão, portanto, as condições físicas no início e no final do experimento diferem.

As curvas características de água no solo foram determinadas utilizando o método descrito por RICHARDS (1965). As tensões utilizadas no laboratório foram equivalentes a 0, 30, 100, 300, 1000, 5000 e 15000 cm de H₂O. As duas primeiras foram realizadas em coluna de areia, e as restantes em painéis de pressão. As curvas características de água foram ajustadas segundo o modelo de VAN GENUCHTEN (1980) utilizando o programa SWRC (DOURADO NETO et al., 2001) através do seguinte modelo:

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (a\psi_m)^n\right]^b} \quad (1)$$

Onde, θ = conteúdo volumétrico de água no solo; θ_r = umidade volumétrica residual; θ_s = umidade volumétrica de saturação do solo; ψ_m = potencial matricial de água no solo; a, n e b = coeficientes empíricos.

A porosidade total foi calculada utilizando os valores da densidade de solo e da densidade de partícula; a microporosidade obteve-se a partir da curva característica de água para cada camada do perfil, com o valor de umidade correspondente a uma tensão de 60 cm de água; sendo a macroporosidade calculada pela diferença entre a porosidade total e a microporosidade. A densidade do solo foi determinada utilizando o método do anel volumétrico, descrito em BLAKE (1965). A análise de textura foi realizada pelo método da pipeta (Soil Conservation Service USDA, 1972) e a densidade de partícula pelo método do picnômetro (BLAKE, 1965).

O clima do local é caracterizado pela classificação de Köppen (MORENO, 1961), como sendo da categoria Cfa, definido como temperado e úmido, com precipitações pluviais durante todo o ano e com verões quentes. A precipitação pluvial média anual do local é de 1100 mm (registros da estação meteorológica INIA Las Brujas). As condições meteorológicas foram registradas utilizando uma estação meteorológica automática, Campbell Scientific Inc. UK, instalada na estação experimental a aproximadamente um quilômetro de distancia da área experimental.

Registros meteorológicos horários de: (i) temperatura do ar, (ii) umidade relativa do ar, (iii) velocidade do vento, (iv) insolação e, (v) radiação solar foram utilizados para o cálculo da evapotranspiração diária da cultura, através do método FAO_{P-M} (descrito por ALLEN et al., 1998). É importante salientar que o termo ET_c utilizado pela FAO corresponde à ET_m no Brasil, sendo a evapotranspiração máxima da cultura.

O ensaio constou de duas áreas experimentais, ambas de aproximadamente 90 m^2 de área superficial, conduzidas simultaneamente dentro da rainout shelter. Cultivou-se uma área de bordadura de 200 m^2 ao redor da rainout shelter, utilizando as duas variedades avaliadas.

3.1 Adaptações morfofisiológicas e rendimento da batata sob diferentes manejos da água de irrigação (experimento 1)

Utilizou-se um conjunto de 12 lisímetros de drenagem, construídos com fibra de vidro com dimensões de 1,90 m de comprimento, 0,90 m de largura e 1,45 metros de profundidade. Na parte inferior de cada lisímetro foram instaladas tubulações de 32 mm direcionadas a uma caixa coletora para receber separadamente a água da drenagem. Acima da drenagem de cada lisímetro foi colocada uma geomembrana de PVC de 0,4 mm de espessura a fim de evitar o entupimento da tubulação. Sobre a geomembrana foi colocada uma camada de brita de 8-10 cm para facilitar a drenagem.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com quatro tratamentos de irrigação em três repetições (APÊNDICE B). Os tratamentos avaliados foram: (i) aplicação das chuvas do ano agrícola de 2003/04, mais irrigações a partir da ET_m diária; (ii) aplicação somente das chuvas do ano agrícola de 2003/04; (iii) chuvas do ano agrícola de 2003/04 mais uma irrigação de 25 mm (quando a ET_m diária acumulada atingia o valor de 90 mm) e; (iv) chuvas do ano agrícola de 2003/04 complementada com irrigações aplicadas a partir da ET_m diária, depois do estágio de tuberização da cultura.

A variedade de batata empregada foi a Chieftain. Para a semeadura foram selecionadas sementes homogêneas (de tamanho entre 8 a 10 cm de diâmetro), sem indícios de brotação (estádio 00-01 na escala proposta por HACK et al., 1993);

armazenada em câmara frigorífica a 2°C, durante cinco meses, até uma semana anterior da data de semeadura. A semeadura foi realizada manualmente no dia 28 de novembro de 2006, em sulcos simples distanciados 0,9 metros (m) e 0,25 m entre plantas (densidade 44.500 pl ha⁻¹), a uma profundidade de 20 cm em referencia á superfície do camalhão. Desta forma, cada lisímetro teve um sulco central com um total de oito plantas.

Imediatamente após a instalação da cultura, colocou-se uma linha de gotejadores em cada camalhão, com uma vazão de 5,1 litros hora⁻¹ por metro linear. As parcelas foram homogeneizadas elevando-se a umidade do solo ao limite superior de disponibilidade, para garantir uma boa emergência e estabelecimento inicial do experimento.

O manejo agrônômico da cultura com relação a adubações, sanidade, controle de ervas invasoras, entre outras, foi baseado nas recomendações do Programa de Horticultura do INIA Las Brujas. No momento da semeadura, efetuou-se uma adubação de base, no sulco, com 110 kg ha⁻¹ de nitrogênio (na forma de amônio) e 275 kg ha⁻¹ de fósforo (P₂O₅). Aos 15 dias após da emergência das plantas (DAE) foram aplicados 100 kg ha⁻¹ de uréia (46% de nitrogênio), imediatamente antes da realização da amontoa. O controle de fungos fitopatógenos foi realizado seguindo uma estratégia preventiva mediante aplicações calendário cada quinze dias (APÊNDICE C), porém aplicações de inseticidas foram baseadas no monitoramento e caracterização das diferentes pragas.

3.1.1 Determinações morfofisiológicas

Em cada parcela experimental (lisímetro), aos 10 DAE foram selecionadas e marcadas três plantas para determinações não destrutivas (com freqüência decenal) de: área foliar, número de talos, altura de planta, fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática. A área foliar foi determinada a partir dos 11 DAE medindo o comprimento e a largura das folhas. Calculou-se a área foliar de cada planta pela soma das áreas individuais correspondentes a cada folha. No estágio do florescimento foi avaliado o IAF de uma amostra de 10 plantas por variedade da

área de bordadura, com o auxílio de um escâner de mesa marca HAYASHI DENKO CO. LTD. Desta forma, foram ajustadas equações entre os dados do comprimento e largura de cada folha medidas no campo, com a área foliar efetiva por planta (APÊNDICE D). O IAF foi determinado pela razão entre a área foliar fotossinteticamente ativa e a área superficial de solo ocupada pela planta. A senescência foliar foi determinada pela diferença entre o IAF máximo e os IAF subsequentes. O número de talos e a altura máxima das plantas foram determinados no momento de florescimento. As medições de fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática foram realizadas utilizando o sensor CYRAS-1 (PP SYSTEMS), em folhas novas totalmente expandidas (terceiras ou quartas), levando em consideração aspectos meteorológicos como, a hora do dia (próximo ao meio dia solar) e ausência de nebulosidade, além de características das folhas como, ângulo de inclinação, pigmentação, etc.

A escala fenológica utilizada foi a proposta por HACK et al. (1993). A data considerada para a ocorrência de cada estágio de desenvolvimento foi a data média quando 50% das plantas encontraram-se no determinado estágio. Calculou-se o acúmulo de graus dia (para temperaturas entre 10 a 30°C) em cada estágio de desenvolvimento.

O momento de colheita foi definido quando a totalidade das plantas estavam senescentes, sendo realizada manualmente no dia 9 de abril de 2007, com o auxílio de uma pá de dentes. Foram avaliadas as seis plantas centrais de cada lisímetro, quantificando: número, peso médio e peso total dos tubérculos nas seguintes categorias (APÊNDICE E): (i) Grande: maior a 250 gramas; (ii) Mediana: entre 80 e 250 gramas; (iii) Pequena: menor a 80 gramas e; (iv) Descarte: principalmente por batatas deformes.

O rendimento total foi determinado pelo somatório das três primeiras categorias e, o rendimento comercial pelos tubérculos maiores que 80 gramas. Calculou-se o número total de tubérculos por talo principal, pela relação entre o número de batatas totais e o número de talos principais por planta. Calculou-se a eficiência da irrigação como o peso dos tubérculos produzidos na categoria comercial em relação ao consumo de água aplicada por hectare.

A qualidade dos tubérculos foi determinada na colheita, através de uma amostragem de dez tubérculos da categoria comercial em cada lisímetro. Determinou-se o peso específico dos tubérculos utilizando uma balança marca KIYA

SEISAKUYO LTD. e, a partir desse parâmetro, estimou-se a massa seca dos tubérculos (ANEXO B).

A qualidade externa dos tubérculos foi determinada, na colheita, pela incidência e severidade da Sarna comum (*Streptomyces scabies*). Utilizou-se o número de tubérculos afetados por esse patógeno (incidência), e uma escala baseada na porcentagem da área do tubérculo (severidade) com sintomatologia desta enfermidade (APÊNDICE F). Essa avaliação foi realizada em cada lisímetro e no total de tubérculos da categoria comercial.

3.1.2 Avaliação do conteúdo de água no solo

As medições do conteúdo volumétrico de água no solo (θ) foram realizadas duas vezes por semana, utilizando sensores de TDR (Time Domain Reflectometry) da SOIL MOISTURE CORP., instalados em cada lisímetro nas profundidades de 15, 20 e 30 cm.

Calculou-se a lâmina de água (em milímetros) armazenada até a profundidade de 30 cm, no intervalo de tempo entre duas leituras consecutivas (considerando os valores de umidade volumétrica em $\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$ e a espessura de cada horizonte em cm), conforme o descrito por REICHARDT (1990):

$$A_L = \int_0^L \theta \cdot dz \quad (2)$$

Onde, A_L = água armazenada na camada considerada (mm); θ = conteúdo volumétrico de água ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$); z = profundidade da camada (cm).

A evapotranspiração real (ET_r) de cada parcela foi determinada pela metodologia do balanço hídrico, descrita por REICHARDT (1990), que considera entradas e saídas de água (medindo água aplicada via chuva e/ou irrigação, drenagem e variação do armazenamento de água no solo).

3.2 Avaliação de variedades de batata sob dois manejos da água de irrigação (experimento 2)

A área superficial deste experimento foi distribuída em 12 camalhões de 10 m de comprimento. Foram avaliados dois manejos de irrigação e duas variedades de batata. Os tratamentos de irrigação estudados foram: (i) aplicação das chuvas do ano agrícola 2003/04 mais irrigações a partir da ET_m diária e; (ii) chuvas do ano agrícola 2003/04 mais uma irrigação de 25 mm (quando a ET_m diária acumulada atingia 90 mm). As variedades de batata empregadas foram Chieftain e Iporá. No momento da semeadura, a variedade Chieftain não apresentava indícios de brotação (estádios 00-01 na escala de HACK et al., 1993). A Iporá apresentava brotação apical (estádio 02 segundo HACK et al., 1993). Os tubérculos mãe foram armazenados em câmara frigorífica a 2°C durante 5 meses, até uma semana antes da data de semeadura. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado em parcelas sub-divididas, onde a parcela principal era o manejo de irrigação e na subparcela localizou-se as variedades (APÊNDICE B). Cada parcela principal teve 5 m de comprimento e quatro camalhões de largura, avaliando-se os dois centrais.

A semeadura foi realizada manualmente no dia 29 de novembro de 2006, classificando-se previamente a semente por tamanho homogêneo. Utilizou-se uma distancia entre camalhões de 0,7 metros, porém a distância entre plantas foi diferente entre variedades, resultando em 43.200 pl ha⁻¹ (0,7 x 0,33 m) para Iporá e 57.000 pl ha⁻¹ (0,7 x 0,25 m) para Chieftain. As batatas sementes foram colocadas a uma profundidade de 10 cm em referencia à superfície do camalhão.

Imediatamente após a instalação da cultura, colocou-se uma linha de gotejadores por camalhão, com uma vazão de 4,7 litros hora⁻¹ por metro linear. Todas as parcelas foram irrigadas elevando a umidade do solo até o limite superior de disponibilidade hídrica, para garantir uma boa emergência e estabelecimento inicial da cultura.

O manejo agrônômico da cultura foi realizado seguindo as recomendações detalhadas no experimento anterior, diferindo unicamente na aplicação de defensivos no momento da semeadura (APÊNDICE C).

3.2.1 Determinações morfofisiológicas

Em cada subparcela, aos 10 DAE foram selecionadas e marcadas três plantas para determinações não destrutivas de: área foliar, número de talos, altura máxima das plantas, fotossíntese líquida, transpiração e condutância estomática. Essas determinações foram realizadas conforme a metodologia descrita no experimento anterior.

A fenologia foi avaliada segundo HACK et al. (1993), os estádios de desenvolvimento eram identificados quando mais do 50% das plantas atingiam o referido estágio.

O momento da colheita foi definido conforme o descrito no experimento anterior, sendo realizada no dia 10 de abril de 2007. O rendimento foi quantificado em cada planta individual, nos dois camalhões centrais de cada subparcela. Avaliações de qualidade externa e interna foram realizadas segundo a metodologia detalhada no experimento 1.

3.3 Análise estatística

A análise estatística dos resultados dos experimentos foi realizada em nível de 5% de probabilidade de erro, utilizando o programa Statistical Analysis System (SAS V.9.1).

No experimento 1, com delineamento experimental inteiramente casualizado, o modelo estatístico utilizado (sendo todas as variáveis contínuas, ou porcentagem proveniente de variáveis contínuas) foi o apresentado abaixo:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij} + \delta_{ijk} \quad (3)$$

Onde, y_{ij} é o valor da variável de resposta; μ é a média da população; α_i efeito do i ésimo tratamento; ϵ_{ij} é o erro experimental; e, δ_{ijk} é o erro correspondente à amostragem.

Os dados foram submetidos à análise de variância de acordo com a seguinte decomposição para os graus de liberdade: tratamento (3); erro (8); subtotal (11); unidade de amostragem (60) e; total (71).

No experimento 2 utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em parcelas sub-divididas, com o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + R_i + \epsilon_R + V_j + RV_{ij} + \epsilon_V \quad (4)$$

Onde, y_{ij} é o valor da variável de resposta; μ é a média da população; R_i efeito do i ésimo nível de aplicação de irrigação; ϵ_V é o erro experimental no fator irrigação; V_j efeito do j ésimo nível de aplicação da variedade; RV_{ij} efeito da interação entre o i ésimo nível de irrigação e o j ésimo nível de variedade e; ϵ_{ij} é o erro experimental no fator variedade.

Os dados foram submetidos à análise de variância de acordo com a seguinte decomposição para os graus de liberdade: manejo de irrigação (1); erro (4); subtotal (5); variedade (1); interação (1); erro (4); subtotal (6); total (11).

4 RESULTADOS

4.1 Parâmetros físico-hídricos do solo

Na tabela 2 são apresentados os valores médios da porosidade total, macro e microporosidade, densidade do solo e, densidade de partícula, para as camadas do perfil do solo nos experimentos 1 e 2.

Tabela 2. Valores médios de porosidade total, macro e microporosidade ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), densidade de partícula e, densidade do solo (g cm^{-3}), nas diferentes camadas do perfil do solo, nos experimentos 1 e 2. INIA Las Brujas, 2007.

Profundidade (cm)	Porosidade total	Macro-porosidade	Micro-porosidade	Densidade	
				partícula	solo
Experimento 1*					
0 – 20	0,455	0,035	0,420	2,35	1,28
20 – 40	0,451	0,029	0,422	2,40	1,32
40 – 60	0,426	0,012	0,414	2,44	1,40
Experimento 2*					
0 – 20	0,471	0,011	0,460	2,42	1,28
20 – 40	0,412	0,005	0,407	2,26	1,33
40 – 60	0,404	0,003	0,401	2,45	1,46

*Experimento 1: adaptações morfofisiológicas e rendimento da batata sob diferentes manejos de irrigação e; Experimento 2: avaliação de variedades de batata sob dois manejos de irrigação.

A porosidade total encontra-se dentro da faixa de 0,404 a 0,471 $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$, o que confere com os limites relatados por HILLEL (1980) para a maioria dos solos minerais. Observa-se uma estreita relação entre esse parâmetro e a microporosidade, porém a microporosidade manteve-se constante. Conforme aumenta a profundidade, a porosidade total diminui relacionada com a redução no número e tamanho dos macroporos.

A densidade do solo aumenta nas camadas mais profundas do perfil, devido a iluviação das argilas, obstrução dos poros, e a menor atividade biológica. Esses resultados estão em conformidade com a análise granulométrica das camadas do perfil do solo de ambos os experimentos (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados da análise granulométrica e classe textural de três camadas do perfil do solo. INIA Las Brujas, 2007.

Profundidade (cm)	Fração textural (%)			Classificação
	Areia	Silte	Argila	
0 – 20	24,0	49,3	26,7	Franco
20 – 40	12,2	54,4	32,4	Franco argilo siltoso
40 – 60	12,7	57,5	29,8	Franco siltoso

Areia: partículas maiores a 0,05 mm; silte: entre 0,05-0,002 mm e; argila: partículas menores a 0,002 mm.

Os resultados concordam com os limites para as diferentes frações granulométricas propostos por ALTAMIRANO (1976). O aumento do conteúdo de argila na camada de 20-40 cm confirma a presença de um horizonte B mais argiloso, característico dessa classe de solos.

Na figura 3 e 4 são apresentadas as curvas características de água para as camadas do perfil do solo do experimento 1 e 2 respectivamente, ajustadas ao modelo van Genuchten (1980). Os coeficientes das equações ajustadas pelo modelo, para cada curva característica de água são apresentados na tabela 4.

Analisando as curvas características de água das camadas do solo de ambos os experimentos, observa-se que nos primeiros 20 cm é maior a quantidade total de água retida em tensões menores, diminuindo nas camadas mais profundas do perfil. A medida que o solo seca, o incremento no potencial matricial causou uma redução gradual no conteúdo de água nas camadas com maior porcentagem de argila (20-40 e 40-60 cm de profundidade).

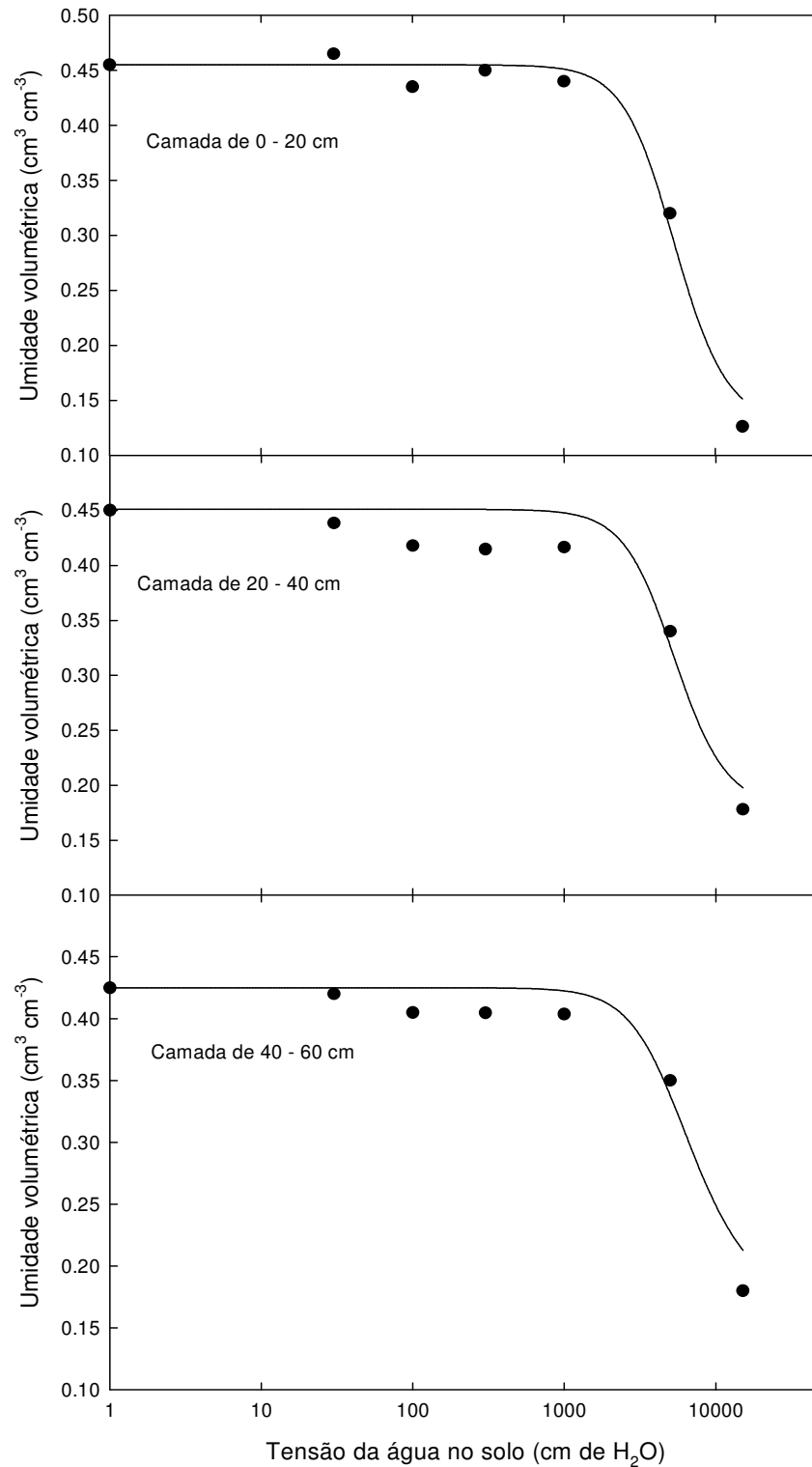


Figura 3. Curvas características de água no solo ajustadas pelo modelo van Genuchten (linhas) e valores observados (símbolos), para as camadas do perfil do solo no experimento 1. INIA Las brujas, 2007.

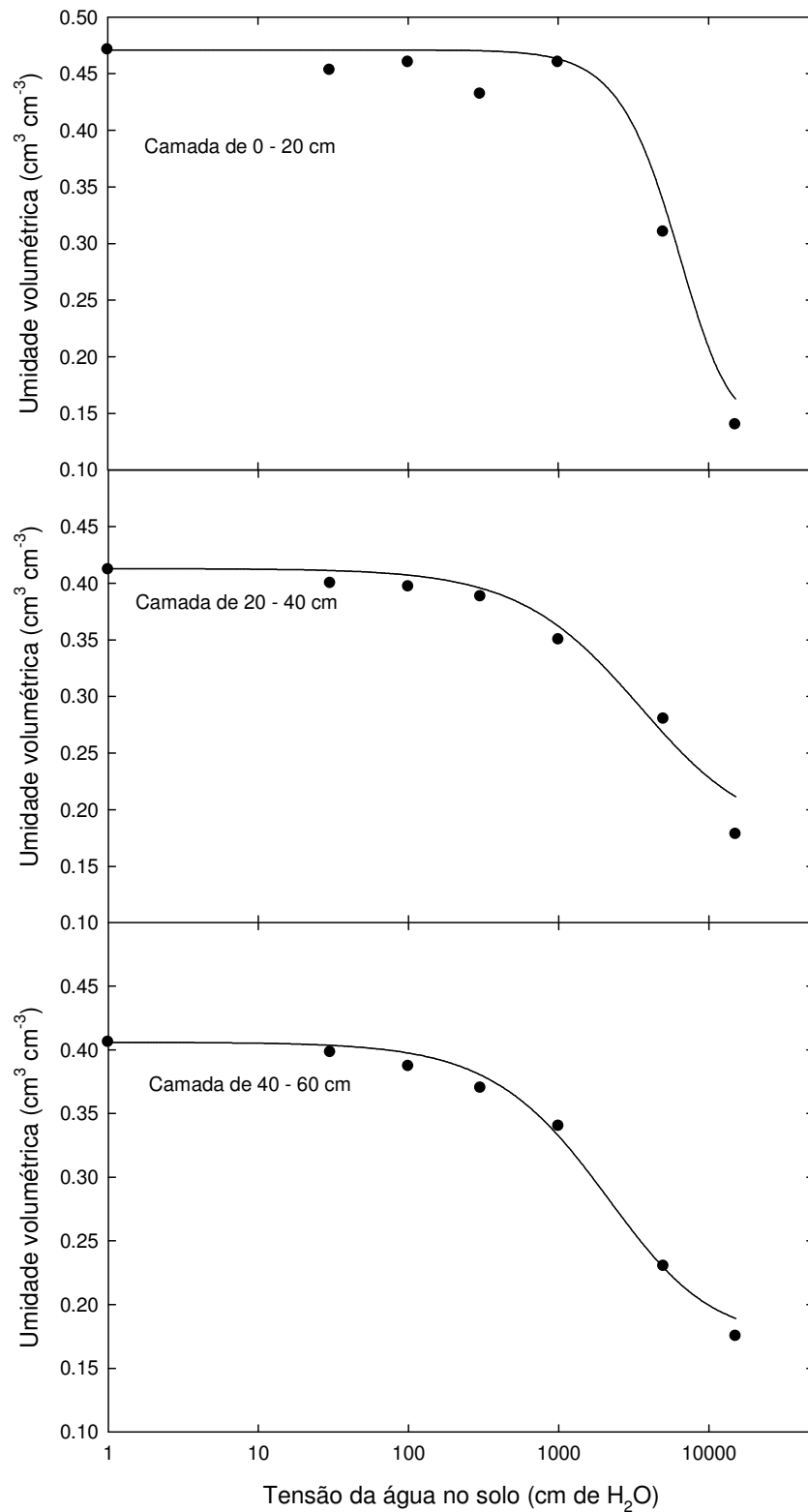


Figura 4. Curvas características de água no solo ajustadas pelo modelo van Genuchten (linhas) e valores observados (símbolos), para as camadas do perfil do solo no experimento 2. INIA Las Brujas, 2007.

Foram observadas diferenças nas curvas características de água dos experimentos 1 e 2, porém, tratava-se do mesmo tipo de solo. Essas diferenças podem ser explicadas pela modificação do perfil original do solo dentro dos lisímetros.

Tabela 4. Valores da umidade de saturação e residual do solo, coeficientes das equações ajustadas ao modelo van Genuchten (1980), nas diferentes camadas do perfil do solo dos experimentos 1 e 2. INIA Las Brujas, 2007.

Profundidade (cm)	θ_s ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	θ_r ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$)	b	n	a	Coeficiente de ajuste
Experimento 1*						
0 – 20	0,455	0,126	0,860	2,648	0,0002	0,93
20 – 40	0,451	0,178	0,873	2,662	0,0002	0,95
40 – 60	0,426	0,163	0,582	2,527	0,0002	0,87
Experimento 2*						
0 – 20	0,471	0,140	0,991	2,427	0,0002	0,92
20 – 40	0,412	0,178	0,300	2,350	0,0013	0,93
40 – 60	0,404	0,175	1,578	1,057	0,0002	0,99

Onde, θ_s = umidade volumétrica de saturação do solo; θ_r = umidade volumétrica residual; b, n e a = coeficientes empíricos. *Experimento 1: adaptações morfofisiológicas e rendimento da batata sob diferentes manejos de irrigação e; Experimento 2: avaliação de variedades de batata sob dois manejos de irrigação.

A quantidade total de água armazenada no solo depende das características físicas, principalmente textura e estrutura. A água retirada no limite superior de água disponível depende da estrutura e distribuição dos poros, porém, no ponto de murcha permanente são mais importantes a textura e a superfície específica das partículas do solo (HILLEL, 1980). Assim, a água retida a potenciais menores depende da superfície específica das partículas de argila, sendo maior a capacidade de retenção de água dos solos argilosos em relação aos solos arenosos.

4.2 Adaptações morfofisiológicas e rendimento da batata sob diferentes manejos da água de irrigação (experimento 1)

Na figura 5 são apresentadas as médias mensais das chuvas registradas na estação meteorológica do INIA Las Brujas, para os meses de dezembro até março. Foram consideradas para a análise as chuvas ocorridas na série histórica 1974/04, no período 1999/06 e, no ano agrícola 2003/04.

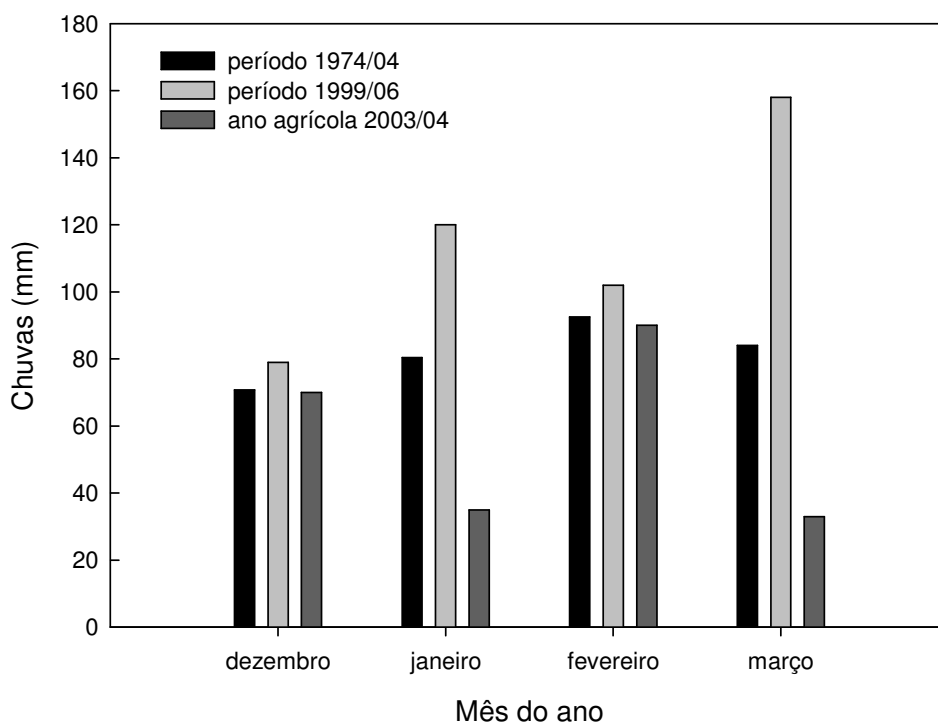


Figura 5. Média mensal de dezembro a março, das chuvas no período 1974/04, 1999/06 e, no ano agrícola 2003/04, registradas na estação experimental do INIA. INIA Las Brujas, 2007.

As chuvas do ano agrícola 2003/04 foram inferiores a média da série histórica de 30 anos, principalmente nos meses de janeiro e março. O total das chuvas entre dezembro e março no ano agrícola 2003/04 (228 mm) foi menor que as registradas no período 1999/06 (459 mm), porém com grande variabilidade entre anos. Por exemplo, nos anos agrícolas 1999/00 e 2002/03 para o período dezembro - março,

as chuvas registradas foram semelhantes ao ano agrícola 2003/04, totalizando 281 e 330 mm, respectivamente.

Em todos os tratamentos avaliados foram aplicadas as chuvas do ano agrícola 2003/04. Desta forma, a lâmina total de água recebida em cada tratamento, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foi: (i) chuvas 2003/04 + 216 mm (irrigado), totalizando 373 mm de água aplicada; (ii) somente chuvas do ano agrícola de 2003/04, totalizando 157 mm; (iii) chuvas 2003/04 mais uma irrigação de 25 mm, resultando em 182 mm e; (iv) chuvas 2003/04 + 143 mm de irrigações aplicadas depois do estágio de tuberização da cultura, resultando em uma lâmina total de água acumulada de 300 mm. Na figura 6 são apresentadas as lâminas de água acumulada (mm) aplicada por tratamento e, a distribuição das chuvas (mm) do ano agrícola 2003/04, contabilizadas a partir da emergência das plantas.

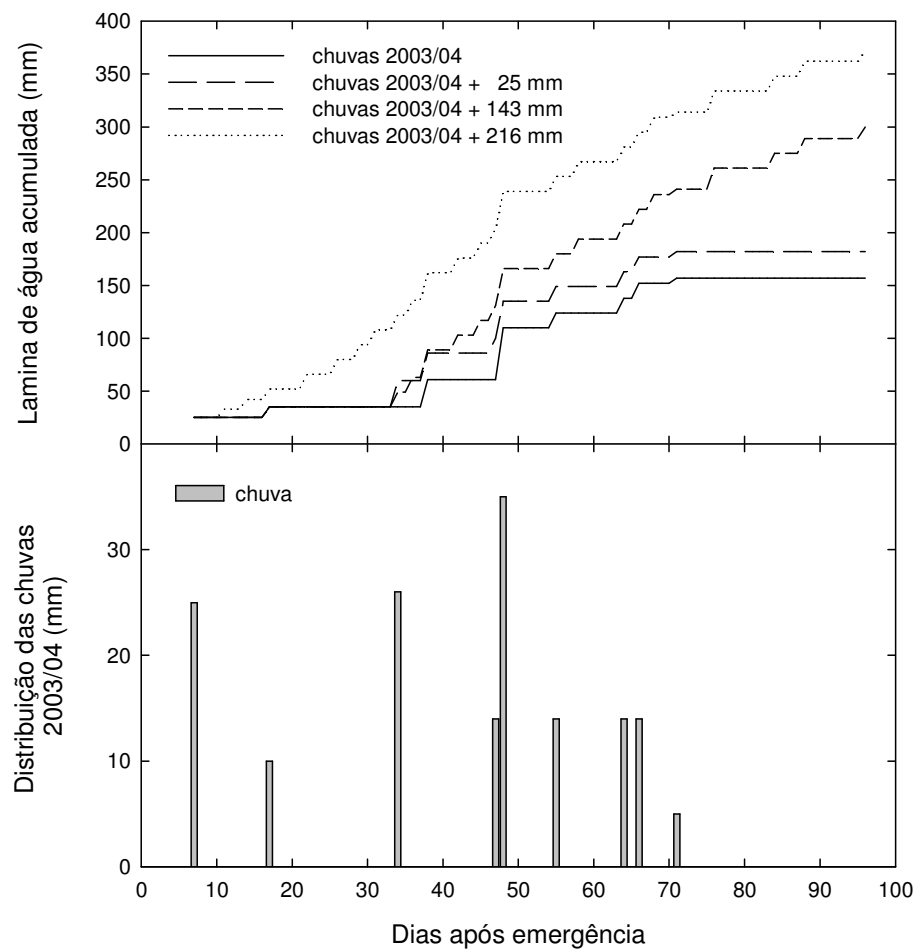


Figura 6. Lâmina de água acumulada aplicada e distribuição das chuvas durante o ciclo de desenvolvimento na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Os tratamentos de irrigação deferiram tanto no total das lâminas de água de irrigação, como nos momentos dentro do ciclo de desenvolvimento da cultura em que foram aplicadas. Nas tabelas 5 e 6 são apresentados para cada tratamento, o total de água aplicada e, o déficit hídrico acumulado (mm), esse último determinado em relação ao tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm, nos diferentes subperíodos de desenvolvimento da cultura.

Tabela 5. Total de água aplicada (chuva + irrigação) para três subperíodos de desenvolvimento na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Tratamento	Subperíodo de desenvolvimento			Lâmina total aplicada
	Vegetativo	Início tuberização	Enchimento tubérculos	
chuvas 2003/04	35,0	0,0	122,0	157,0
chuvas 2003/04 + 25 mm ^a	35,0	25,0	122,0	182,0
chuvas 2003/04 + 143 mm ^b	35,0	28,0	237,0	300,0
chuvas 2003/04 + 216 mm	66,0	70,0	237,0	373,0

"a" irrigação de 25,0 mm realizada aos 34 DAE. "b" irrigações a ETm diária a partir dos 34 DAE (começo do estágio de início de tuberização).

Tabela 6. Déficit hídrico acumulado em relação ao tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm, para três subperíodos de desenvolvimento na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Tratamento	Subperíodo de desenvolvimento		
	Vegetativo	Início tuberização	Enchimento tubérculos
chuvas 2003/04	31,0	101,0	216,0
chuvas 2003/04 + 25 mm	31,0	76,0	191,0
chuvas 2003/04 + 143 mm	31,0	73,0	73,0

4.2.1 Resultados dos parâmetros morfofisiológicos

4.2.1.1 Escala fenológica

Na tabela 7 é apresentado o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata e os diferentes estádios de desenvolvimento, em termos de DAE.

Tabela 7. Estádios de desenvolvimento da batata var. Chieftain, conduzida em lisímetros e submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

DAE	Duração da fase (dias)	Graus dia acumulados*	Estádio desenvolvimento	Escala HACK et al. (1993).
0	27	-	emergência	0
23	23	318	vegetativo	1 – 4
34	11	453	botão floral	5
46	12	619	florescimento ^a	6
56	10	735	frutificação ^b	7
84	28	1056	maturação	8
89	5	1107	senescência	9

* Graus dia acumulados a partir da emergência das plantas. "a" corresponde ao início de formação dos tubérculos; "b" início do estágio de enchimento dos tubérculos.

A duração total do ciclo de desenvolvimento da cultura não foi modificada pelos tratamentos de irrigação, encerrando aos 89 DAE. Resultados similares na duração total do ciclo de desenvolvimento na variedade Chieftain, cultivada nas condições agroclimáticas do Uruguai, foram reportados por CARDELLINO & GARCIA (1983), VILARÓ et al. (2000) e, GARCIA (2004). Existem controvérsias na literatura em relação ao efeito do déficit hídrico na duração do ciclo de desenvolvimento. Por um lado, Van LOON (1981) afirma que, o déficit hídrico reduz a duração do ciclo antecipando a maturação da cultura, como um mecanismo de escape da planta ao déficit hídrico. Por outro lado, em um experimento conduzido no Uruguai, CARDELLINO & GARCIA (1983) observaram que, o total do ciclo de

desenvolvimento foi de 110 e 90 dias no tratamento sequeiro (349 mm) e irrigado (494 mm), respectivamente. De uma forma geral, o déficit hídrico afeta a duração do ciclo de desenvolvimento das plantas em função, das características do déficit (intensidade e duração) e, do estágio de desenvolvimento em que ocorrer o déficit.

Neste experimento foram determinados três estádios no ciclo de desenvolvimento da cultura de batata: (i) crescimento vegetativo; (ii) início da tuberização e; (iii) enchimento dos tubérculos até maturação e senescência das plantas, seguindo o registro apresentado por VILARÓ et al. (2000).

A emergência das plantas foi retardada devido à elevada profundidade de semeadura (20 cm), limitando a duração do subperíodo vegetativo a 34 dias. A redução do subperíodo vegetativo pode ser explicada, pelo tardio estabelecimento da cultura e, pelo desenvolvimento da cultura ocorrer com temperaturas mais elevadas, acelerando a aparição de novas folhas. A duração dos subperíodos de início da tuberização e início de enchimento dos tubérculos confere com os limites reportados por VILARÓ et al. (2000).

4.2.1.2 Área foliar

Na figura 7 é apresentada a evolução do IAF medido decenalmente como a área foliar fotossinteticamente ativa, dados médios e desvio padrão de três plantas por lisímetro. Os resultados no IAF conferem com CARDELLINO & GARCIA (1983), para o tratamento irrigado (374 mm de água aplicada) e de sequeiro (214 mm), nas condições agroclimáticas do Uruguai. Na primeira data de avaliação (11 DAE) não foram observadas diferenças entre tratamentos, devido ao fato que o manejo da irrigação foi o mesmo para todos os tratamentos, visando uma boa emergência e estabelecimento do ensaio. O menor desenvolvimento das plantas no tratamento de chuva 2003/04 + 143 mm, em duas das três repetições, determinou a grande variabilidade em relação à média do experimento.

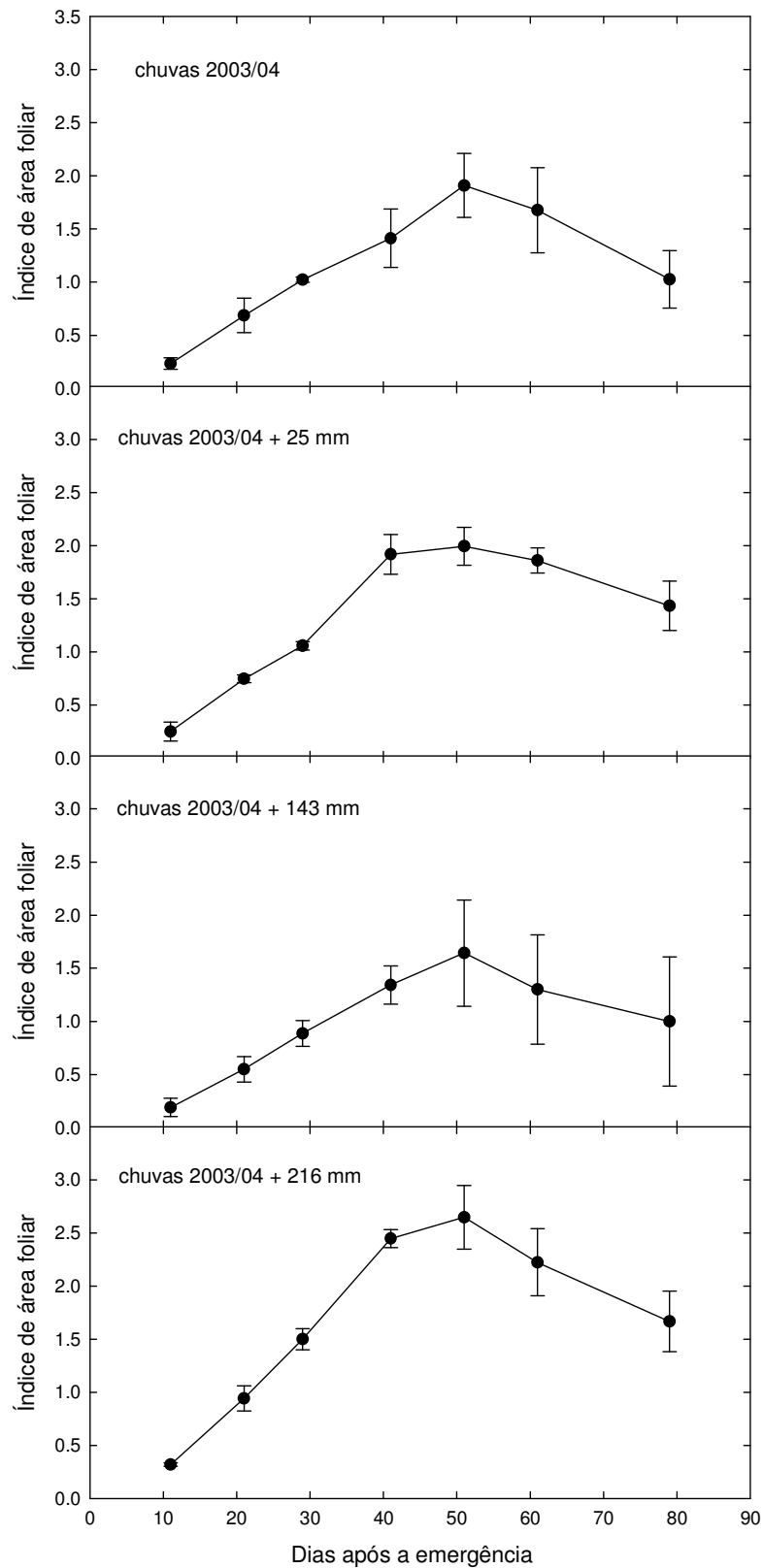


Figura 7. Evolução do índice de área foliar na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. As barras verticais representam o desvio padrão. INIA Las Brujas, 2007.

Foram registradas diferenças no IAF entre os tratamentos de irrigação. Nas tabelas 8 e 9 são apresentadas respectivamente, a análise da variância, e as médias do IAF por tratamento (para as data de avaliação que apresentaram diferenças entre tratamentos). Os resultados obtidos concordam com ROSENTHAL et al. (1987), HSIAO (1993) e, HEUER & NADLER (1995). Segundo eles, déficits hídricos leves a moderados reduzem a área foliar da cultura de batata.

Tabela 8. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas da Variação	Dias após a emergência						
	11	21	29	41	51	61	79
Tratamento	0,009 ^{ns}	0,087*	0,210*	0,767*	0,541 ^{ns}	0,525 ^{ns}	0,375 ^{ns}
Erro	0,005	0,022	0,003	0,038	0,212	0,193	0,182
CV(%)	27,6	20,9	5,2	11,0	22,4	25,1	33,8
DMS	0,13	0,28	0,11	0,37	0,87	0,83	0,80

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$. Erro: erro experimental; CV(%): coeficiente de variação e; DMS: diferença mínima significativa.

Tabela 9. Resultado do índice de área foliar médio na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Tratamento	Dias após a emergência		
	21	29	41
chuvas 2003/04	0,64 b	1,05 b	1,40 c
chuvas 2003/04 + 25 mm	0,71 ab	1,05 b	1,92 b
chuvas 2003/04 + 143 mm	0,55 b	0,90 b	1,35 c
chuvas 2003/04 + 216 mm	0,95 a	1,50 a	2,60 a

Valores seguidos pelas mesmas letras, nas colunas, são semelhantes em nível de probabilidade $\leq 0,05$.

Quando o déficit hídrico (calculado a partir da ETm acumulada) atingiu 30 mm (21 DAE) foram observadas diferenças entre os tratamentos, concordando com os resultados apresentados por ROSENTHAL et al. (1987), HSIAO (1993) e, HEUER &

NADLER (1995). O maior IAF no tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm continuou até os 41 DAE. Aos 51 DAE foi atingido o máximo valor de IAF em todos os tratamentos, no entanto, sem diferenças entre eles.

Um ótimo desenvolvimento foliar durante o final do subperíodo vegetativo e no início da tuberização é fundamental para atingir elevados rendimentos. O IAF aos 50 DAE e o desenvolvimento radicular definem o rendimento (Geraldine citado por LAILOU et al., 2003). Neste experimento, as maiores diferenças no IAF entre o tratamento de chuva 2003/04 + 216 mm e os restantes foram apresentadas entre 21 até 41 DAE, correspondendo ao final do subperíodo vegetativo e início da tuberização.

A senescência foliar foi calculada a partir do máximo registro de área foliar (medido aos 51 DAE). Observou-se maior senescência (menor duração da área foliar ativa) no tratamento somente com chuva, confirmando o reportado na literatura (ROSENTHAL et al., 1987; HSIAO, 1993; HEUER & NADLER, 1995 e; AGUIAR NETTO et al., 2000). JEFERRIES & MACKERRON (1993) trabalhando com 19 variedades de batata encontraram que, o déficit hídrico ocasiona diminuição no IAF, com maior velocidade na senescência. Existe estreita relação entre a duração da área foliar ativa e o rendimento final (CLUTTERBUCK & SIMPSON, 1978), o qual foi confirmado neste experimento. No tratamento de chuvas 2003/04, a redução na área foliar foi da ordem de 46% (até os 79 DAE); por outra parte, os tratamentos de chuvas 2003/04 + 25 mm e chuvas 2003/04 + 216 mm mostraram reduções na área foliar de 27 e 37%, respectivamente. No tratamento de chuva 2003/04 + 143 mm observou-se em média, uma diminuição na duração da área foliar de 45% para o mesmo período, relacionado a grande variabilidade neste tratamento.

4.2.1.3 Número de talos e altura máxima das plantas

O número de talos principais e a altura máxima das plantas não foram influenciados pelos tratamentos de irrigação (Tabela 10). O tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm apresentou em média 2,5 talos principais por planta, porém, o tratamento de chuvas 2003/04 + 143 mm teve em média 1,6 talos por planta. Vários pesquisadores afirmam que, o déficit hídrico não afeta a quantidade de talos

principais por planta, por ser uma característica determinada fundamentalmente pela idade fisiológica, tamanho da semente e, duração do período antes da semeadura (VAN der ZAAG, 1990; BOUJELBEN & M'BAREK, 1997 e; LAILOU et al. 2003). Por outro lado, a altura máxima das plantas foi de 62 cm para o tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm e, 54 cm no tratamento de chuvas 2003/04 + 143 mm. Vários pesquisadores, entre os que se destacam HANG & MILLER (1986), ROSENTHAL et al. (1987), OJALA et al. (1990), HEUER & NADLER (1995), AGUIAR NETTO et al. (2000) e, DEBLONDE & LEDENT (2001) afirmam que, o déficit hídrico durante o subperíodo vegetativo afeta negativamente a altura máxima das plantas de batata, não observado neste experimento.

Tabela 10. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o número de talos principais e a altura máxima das plantas, na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causa de variação	Número de talos principais	Altura máxima das plantas
Tratamento	0,306 ^{ns}	32,55 ^{ns}
Erro	0,500	24,58
CV (%)	34,0	8,7
DMS	1,3	9,3

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$. Erro: erro experimental; CV(%): coeficiente de variação e; DMS: diferença mínima significativa.

A discrepância entre os resultados obtidos neste experimento e os reportados pela literatura em relação à altura máxima das plantas, pode ser explicada pela intensidade do déficit hídrico aplicado neste experimento durante o subperíodo vegetativo (31 mm para os três tratamentos com déficit hídrico) e, possivelmente, não sendo suficiente para ocasionar diminuição na altura máxima das plantas. Neste sentido, Nielsen & Nelson citados por CARLESSO et al. (2000) afirmam que, quando o déficit hídrico ocorrer durante o crescimento vegetativo das plantas, o IAF responde mais prontamente à reposição da água no solo do que a altura de planta; portanto, o déficit hídrico afeta mais a área foliar do que a altura de plantas.

4.2.1.4 Fotossíntese e trocas gasosas

Observou-se estreita relação entre a transpiração e a condutância estomática, apresentando diferenças entre os tratamentos de irrigação. Os valores obtidos na taxa de fotossíntese líquida concordam com o observado por SHIMSHI et al (1983), SCHAPENDONK et al (1989) e, IERNA & MAUROMICALE (2006), porém, os mesmos não foram sensíveis as modificações no estado hídrico das plantas, apresentando diferenças entre os tratamentos somente em uma das avaliações. HARRIS (1992); FERREIRA & CARLESSO (1998) e; IERNA & MAUROMICALE (2006), recomendam o uso da fotossíntese total da planta, que tem relação direta com o rendimento das culturas, para avaliar as modificações morfofisiológicas nos vegetais produzidas pelo déficit hídrico.

Na tabela 11 são apresentados os resultados da análise da variância da transpiração e da fotossíntese total da planta. É importante salientar que aos 50 DAE aplicou-se uma chuva de 50 mm em todos os tratamentos, uniformizando-os. Na última data de avaliação (72 DAE) não foram verificadas diferenças entre os tratamentos, possivelmente pela avançada idade fisiológica das folhas.

Tabela 11. Resultados do quadrado médio da análise da variância para a transpiração e a fotossíntese total da planta na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas de variação	Dias após a emergência					
	20	29	50	62	68	72
Transpiração						
Tratamento	0,702*	0,612 ^{ns}	0,139 ^{ns}	0,734*	0,294*	0,110 ^{ns}
Erro	0,161	0,166	0,207	0,111	0,052	0,259
CV (%)	11,6	15,9	12,3	16,1	8,9	17,4
DMS	0,75	0,83	1,12	0,75	0,43	1,14
Fotossíntese total da planta						
Tratamento	38,52*	31,87*	56,96 ^{ns}	180,49*	89,27 ^{ns}	29,22 ^{ns}
Erro	5,872	6,263	60,510	33,45	60,569	8,913
CV (%)	31,2	29,5	31,1	35,2	60,3	39,8
DMS	4,56	5,13	19,11	14,22	14,64	6,67

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$. Erro: erro experimental; CV(%): coeficiente de variação e; DMS: diferença mínima significativa.

Na variável transpiração foram observadas diferenças entre os tratamentos em três datas de avaliação (Tabela 12). Aos 29 DAE, o DMS foi de 0,83, sendo a média do tratamento irrigado (chuvas 2003/04 + 216 mm) de 3,07 e, a média do tratamento de chuvas 2003/04 de 2,02 mmoles de H₂O m⁻² h⁻¹. Os resultados obtidos são concordantes com VAN der ZAAG (1992); LEDENT (2002) e; AMER & HATFIELD (2004), que observaram maior transpiração e, portanto, menor resistência estomática em condições de ótima disponibilidade hídrica. Segundo AMER & HATFIELD (2004), em situações onde os fatores de crescimento vegetal encontram-se próximo do ótimo, existe uma relação direta ($r^2=0,86$) entre a transpiração e a radiação solar, sendo essa última quem governa o processo de evapotranspiração.

Tabela 12. Média da taxa de transpiração (mmoles de H₂O m⁻² h⁻¹) na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Tratamento	Dias após a emergência		
	20	62	68
chuvas 2003/04	3,2 b	1,4 b	2,2 b
chuvas 2003/04 + 25 mm	3,2 b	2,3 a	2,4 b
chuvas 2003/04 + 143 mm	3,2 b	2,3 a	2,5 b
chuvas 2003/04 + 216 mm	4,2 a	2,5 a	3,0 a

Valores seguidos pelas mesmas letras, nas colunas, são semelhantes em nível de probabilidade $\leq 0,05$.

Os maiores valores de transpiração foram observados no tratamento de chuvas 2003/03 + 216 mm. Aos 62 DAE todos os tratamentos com aplicação de irrigação foram semelhantes, resposta possivelmente devida às chuvas de 50 mm aplicadas aos 50 DAE.

Desta forma, quantificando a transpiração e, portanto, a condutância estomática pode-se conhecer o estado hídrico da planta, conforme o citado por vários pesquisadores (HSIAO, 1990; HARRIS 1992; VAN der ZAAG, 1992; SASSAKI & MACHADO, 1999; FLEXAS & MEDRANO, 2002; MEDRANO et al., 2002; LEDENT, 2002; AMER & HATFIELD, 2004 e; IERNA & MAUROMICALE, 2006). A fotossíntese total da planta diferiu entre os tratamentos de irrigação (Tabela 13),

concordando com HARRIS (1992) e IERNA & MAUROMICALE (2006). Diferenças entre o tratamento de chuva 2003/04 + 216 mm e os restantes foram observadas durante o subperíodo vegetativo (20-30 DAE) e no início de enchimento dos tubérculos (60 DAE). Esses subperíodos são citados pela literatura como fundamentais na determinação do rendimento (MEYER & GREEN, 1980; ROSENTHAL, 1987; HARRIS 1992; LEDENT, 2002 e; IERNA & MAUROMICALE, 2006).

Tabela 13. Média da fotossíntese total da planta ($\mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$) na batata var. Chieftain, submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Tratamento	Dias após a emergência		
	20	29	62
chuvas 2003/04	6,0 b	6,1 b	8,1 b
chuvas 2003/04 + 25 mm	6,1 b	7,5 b	18,9 a
chuvas 2003/04 + 143 mm	5,1 b	6,8 b	11,4 b
chuvas 2003/04 + 216 mm	13,4 a	13,3 a	23,8 a

Valores seguidos pelas mesmas letras, nas colunas, são semelhantes em nível de probabilidade $\leq 0,05$.

Os resultados da fotossíntese total da planta estão em concordância com os observados para a transpiração e a condutância estomática. Desta forma, e entre os parâmetros fisiológicos avaliados, a transpiração e a fotossíntese total da planta melhor quantificam as adaptações morfofisiológicas das plantas de batata em relação ao déficit hídrico, podendo ser utilizados como indicadores do estado hídrico das plantas.

4.2.2 Componentes do Rendimento

Na tabela 14 é apresentado o resultado da análise da variância para os componentes do rendimento. Não houve diferenças nos componentes de rendimento em função dos tratamentos de irrigação.

Tabela 14. Resultados do quadrado médio da análise da variância para os componentes do rendimento na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas de variação	Rendimento total	Rendimento comercial	Número total de tubérculos ^a	Número comercial de tubérculos ^a
Tratamento	0,4841 ^{ns}	0,6043 ^{ns}	1,1973 ^{ns}	0,2853 ^{ns}
Erro	0,3678	0,4374	1,6842	0,5783
CV (%)	19,2	24,2	19,9	19,5
DMS	1,10	1,24	2,4	1,4

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$ e; "a" dados médios de seis plantas. Erro: erro experimental; CV(%): coeficiente de variação e; DMS: diferença mínima significativa.

O rendimento total do tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm foi em média 3,7 kg m⁻², sendo 27% maior que o tratamento de chuvas 2003/04 (2,7 kg m⁻²). No rendimento comercial as diferenças entre os tratamentos mencionados representaram 32%, sendo 3,3 e 2,2 kg m⁻², respectivamente. Esses resultados concordam com o observado por CLUTTERBUCK & SIMPSON (1978), OJALA et al. (1990), LIMA BEZERRA (1998), FABEIRO et al., 2001 e, LAILOU et al. (2003). De LIS (1964) em Mendoza (Argentina) trabalhando com a variedade White Rose, obtiveram reduções no rendimento entre 38 até 43%, dependendo do estágio de desenvolvimento em que acontecia o déficit hídrico.

Os resultados da análise da variância dos componentes de rendimento podem ser explicados pela alta variabilidade entre lisímetros, tamanho das parcelas, com um reduzido número de plantas por lisímetro e, limitado número de repetições por tratamento. Na figura 8 é apresentada a média e o desvio padrão do rendimento total (kg m⁻²) por tratamento. O elevado desvio padrão no rendimento está relacionado com a variabilidade registrada no IAF (Figura 7), principalmente no tratamento de chuva + 143 mm onde foram observadas as maiores diferenças. Observa-se a relação entre a quantidade total de água aplicada e o rendimento total obtido, conforme DOORENBOS & KASSAM (1979), GARCIA & CARDELINO (1983), HANG & MILLER (1986), BOŠNJAK & PEJIĆ (1997), FABEIRO et al. (2001) e, ÜNLÜ et al. (2006).

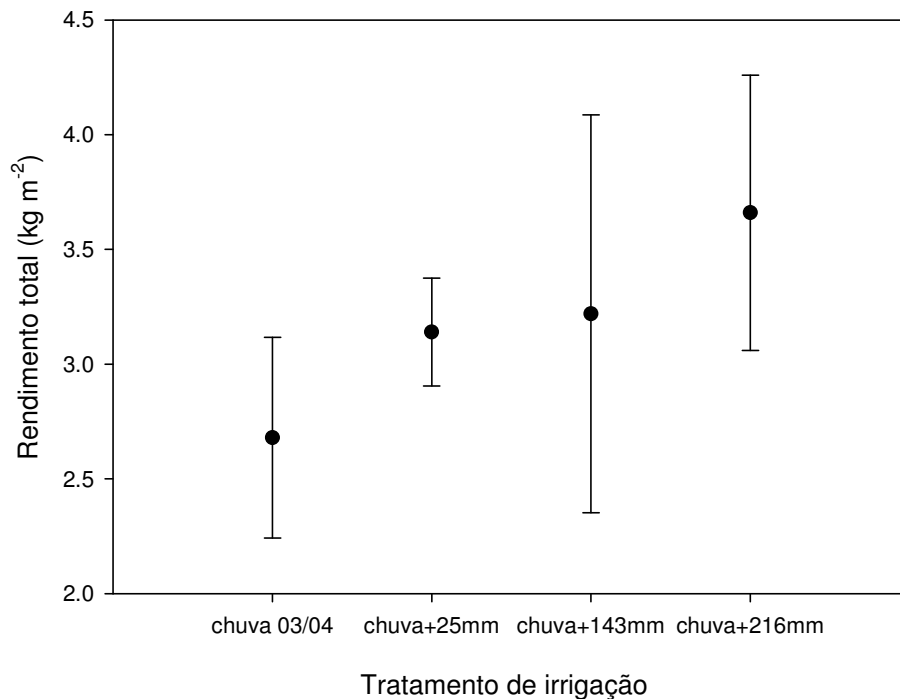


Figura 8. Médias e desvio padrão do rendimento total na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Quanto ao número de tubérculos por planta, não foram observadas diferenças entre os tratamentos, entretanto, existem grandes divergências na literatura relacionando a esse parâmetro com o déficit hídrico. Os resultados obtidos concordam com MacKerron & Jafferries (1986) citados por HARRIS (1992), DEBLONDE & LEDENT (2001) e, LAILOU et al. (2003). Segundo eles, o número total de tubérculos por planta não é afetado pelo déficit hídrico por ser determinado muito cedo na formação do rendimento. O efeito do déficit hídrico no número de tubérculos formados por planta varia grandemente entre variedades, mudando a magnitude da resposta segundo o estágio de desenvolvimento da cultura em que ocorrer o déficit (JEFERRIES & MACKERRON, 1993).

O efeito do déficit hídrico sobre a maioria das culturas varia de acordo com a duração e intensidade e, com o estágio de desenvolvimento das plantas. No estágio de início da tuberização da batata é onde se define o número total de tubérculos por planta. Neste experimento, o déficit hídrico mais extremo no início da tuberização

aconteceu no tratamento de chuvas 2003/04, com 70 mm de déficit em relação ao tratamento irrigado. Essa intensidade do déficit possivelmente deva ser maior para afetar o número de tubérculos por planta. Quando o déficit hídrico ocorre no subperíodo de enchimento dos tubérculos, ele afeta o tamanho dos mesmos (HARRIS, 1992; VAN der ZAAG, 1992 e; BOUJELBEN & M´BAREK, 1997). Durante o subperíodo de enchimento dos tubérculos, o déficit hídrico no tratamento de chuva 2003/04 e chuva + 25 mm foi de 115 mm, classificado como déficit hídrico moderado, modificando a distribuição por categorias entre os tratamentos.

A análise do rendimento por categoria foi realizada conforme as normativas do mercado agrícola do Uruguai, classificando-se em três categorias (APÊNDICE D). As duas primeiras categorias representam o rendimento comercial. Os resultados da análise da variância são apresentados na tabela 15.

Tabela 15. Resultados do quadrado médio da análise da variância para as quatro categorias de classificação da batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas de Variação	Grande	Mediana	Pequena	Descarte
Tratamento	91562,16*	4081,85 ^{ns}	2594,49 ^{ns}	2129,94 ^{ns}
Erro	7268,67	8490,33	7276,20	3248,41
CV (%)	63,17	25,42	72,90	99,90
DMS	222,93	240,93	223,04	149,02

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$. Erro: erro experimental; CV(%): coeficiente de variação e; DMS: diferença mínima significativa.

Foram observadas unicamente diferenças na categoria grande entre os tratamentos de irrigação. O tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm apresentou em média 387,22 gramas por planta, porém, no tratamento de chuvas 2003/04 não se registraram tubérculos nesta categoria. De forma geral, observou-se uma relação direta entre a lâmina total de água aplicada e o rendimento obtido na categoria grande. Resultados semelhantes foram obtidos por MILLER & MARTIN (1983), BOUJELBEN & M´BAREK (1997) e, MANNINI & BATILANI (1990); esses últimos, trabalhando com três variedades de batata observaram que, o déficit hídrico reduz a

categoria grande, sem modificar as restantes categorias; sendo que, em uma das variedades, o tratamento irrigado reduziu a categoria descarte.

Os resultados obtidos neste experimento indicam que, a categoria mediana foi semelhante em todos os tratamentos de irrigação; entretanto, reduziu-se consideravelmente a categoria pequena nos tratamentos irrigados. Para as condições agroclimáticas do Uruguai, mesmos resultados foram observados por Ghiggia citado por CARDELLINO & GARCIA (1983) em ensaios de dois anos com a batata var. Red Pontiac; confirmados mais tarde por CARDELLINO & GARCIA (1983) durante três anos de experimento na variedade Kennebec.

A eficiência da irrigação foi superior aos valores reportados por DOOREMBOS & KASSAM (1979), FABEIRO et al. (2001) e, ÜNLÜ et al. (2006) para condições de climas úmidos e semi-tropicais, porém, concordam com o observado por CARDELLINO & GARCIA (1983) nas condições agroclimáticas do Uruguai. Nos tratamentos avaliados, a média da eficiência da irrigação foi da ordem de $11,7 \text{ kg m}^{-3}$, com valores extremos de $14,8 \text{ kg m}^{-3}$ para o tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm e, $8,8 \text{ kg m}^{-3}$ no tratamento irrigado (chuvas 2003/04 + 216 mm).

Quanto a parâmetros de qualidade externa foram avaliadas a incidência e a severidade da Sarna comum (*Streptomyces scabies*) no total de tubérculos da categoria mediana. Diferenças entre os tratamentos de irrigação não foram observadas para incidência (Tabela 16) e severidade da Sarna comum. Observou-se elevada porcentagem de tubérculos (78,9% em média) com menos de 10% de dano de Sarna comum. O índice de severidade apresentou resultados semelhantes, entre 82 a 95% dos tubérculos amostrados registraram valores menores a 30% de severidade no dano por Sarna comum.

Tabela 16. Resultados do quadrado médio da análise da variância para a incidência da Sarna comum (*Streptomyces scabies*), na batata var. Chieftain submetida a quatro manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas de Variação	Incidência da Sarna comum (%)		
	< 10%	10-50%	>50%
Tratamento	131,93 ^{ns}	107,08 ^{ns}	11,54 ^{ns}
Erro	310,18	245,76	15,53
CV (%)	22,34	89,33	99,65
DMS	46,05	40,99	10,30

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$.

A baixa importância desta enfermidade é explicada por ser um local sem cultivo prévio desta cultura. A maior susceptibilidade da cultura de batata a Sarna comum é no início da tuberização, sendo que, a ocorrência de déficits hídricos nesse estágio favorece a incidência desta enfermidade. Neste experimento, o maior déficit hídrico (em relação à ET_m acumulada) durante o início da tuberização foi produzido no tratamento de chuvas 2003/04, atingindo os 70 mm e, possivelmente, não foi suficiente para ocasionar aumento significativo na incidência da Sarna comum.

A qualidade interna dos tubérculos foi determinada pelo conteúdo de massa seca. Diferenças entre tratamentos de irrigação não foram observadas. Ensaio de JEFFERIES & MACKERRON (1993) com 19 variedades de batata demonstraram que, existe uma grande variabilidade na resposta entre variedades, porém a tendência é aumentar o conteúdo de massa nos tubérculos sob déficit hídrico. Neste experimento, obtiveram-se valores de massa seca nos tubérculos entre 16,0 e 16,3%.

4.2.3 Adaptações morfofisiológicas relacionadas com o rendimento

Os parâmetros morfofisiológicos de área foliar, transpiração e fotossíntese total da planta apresentaram uma relação direta com o rendimento total e comercial. Diferenças entre tratamentos de irrigação foram observadas durante o final do subperíodo vegetativo, no início da tuberização e, no começo do enchimento dos tubérculos. Vários pesquisadores identificam esses subperíodos como determinantes do rendimento, por serem os de maior sensibilidade ao déficit hídrico (De LIS, 1964; Van LOON, 1981; LYNCH & TAI, 1989; OJALA et al., 1990; WRIGHT & STARK, 1990; HARRIS, 1992; JEFFERIES & MACKERRON, 1993; ELDREDGE et al., 1996; LIMA BEZERRA et al., 1998 e; FABEIRO et al., 2001).

Existe uma estreita relação entre o desenvolvimento foliar e o rendimento (MOORBY & MILTHORPE, 1975; CLUTTERBUCK & SIMPSON, 1978 e; HARRIS, 1992), a qual foi observada neste experimento. LAILOU et al. (2003) afirmam que, na cultura de batata a relação entre o IAF e o rendimento total é linear, para IAF entre 2 até 8. Ao mesmo tempo, neste trabalho observou-se uma relação direta

entre a taxa de transpiração e o rendimento, confirmando o reportado por DOORENBOS & KASSAM (1979), TANNER (1981), ROSENTHAL et al. (1987) e, ÜNLÜ et al. (2006). Na figura 9 é apresentada a relação entre os valores médios da taxa de transpiração com o rendimento total e comercial obtidos para cada lisímetro. Os dados da transpiração correspondem à média por lisímetro das determinações onde foram observadas diferenças entre os tratamentos de irrigação durante o ciclo de desenvolvimento da cultura.

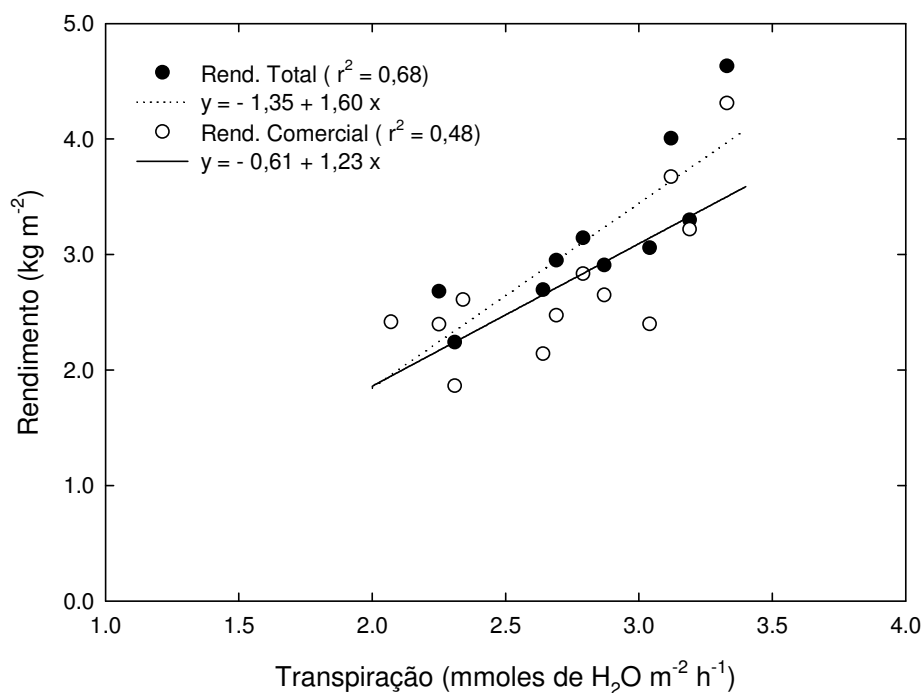


Figura 9. Relação entre a transpiração com o rendimento total e comercial para cada lisímetro, na batata var. Chieftain. INIA Las Brujas, 2007.

A taxa de transpiração média durante o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata explica melhor as variações no rendimento total em comparação com o rendimento comercial, pois no rendimento comercial podem estar interagindo e limitando outros fatores de crescimento, como por exemplo, o potencial genético e/ou condições agroclimáticas. LEDENT (2002) afirma que, o resfriamento transpiratório está associado a elevados rendimentos, pelo qual, é possível utilizar a condutância estomática para prever o rendimento na cultura de batata,

desenvolvida sob condições de calor e sem limitantes para um ótimo crescimento. Segundo o autor, os programas de melhoramento genético devem basear-se em condutâncias estomáticas elevadas para a seleção de variedades com grande potencial produtivo.

4.2.4 Evapotranspiração real

A evapotranspiração real (ET_r) da cultura da batata foi determinada para os tratamentos de irrigação mais contrastantes, chuvas 2003/04 e chuvas 2003/04 + 216 mm, segundo a metodologia do balanço hídrico descrita por REICHARDT (1990). A ET_r foi determinada considerando as entradas e saídas de água em cada lisímetro a uma profundidade de 30 cm, e para intervalos de tempo de 10 dias. Foram acrescentados os dados da ET_m calculados pela equação de FAO_{P-M} (Figura 10).

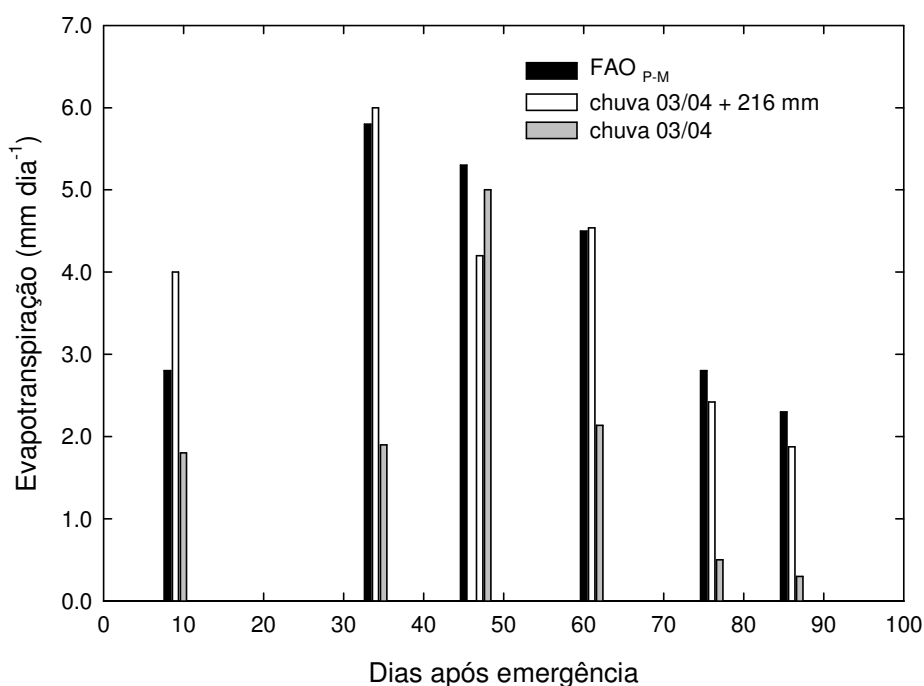


Figura 10. Evapotranspiração real da cultura de batata cultivada em lisímetros, submetida a dois manejos da água de irrigação e, evapotranspiração máxima da cultura segundo a equação FAO Penman-Monteith. INIA Las Brujas, 2007.

Os dados da ET_m calculados pela equação de FAO_{P-M} concordam com o cálculo da ET_r no tratamento de chuva 2003/04 + 216 mm. No início do subperíodo vegetativo (10DAE), a ET_r foi superestimada, possivelmente devido ao menor desenvolvimento vegetativo das plantas e as freqüentes irrigações, sendo mais importante as perdas de evaporação da superfície do solo do que da transpiração da cultura.

Os valores de ET_r observados nos diferentes tratamentos de irrigação estiveram determinados fundamentalmente pelo desenvolvimento vegetativo da cultura e, pelo conteúdo de água no solo. No tratamento de chuvas 2003/04 + 216 mm, o máximo valor de ET_r (6,0 mm dia⁻¹) foi registrado aos 34 DAE, coincidindo com o maior desenvolvimento foliar. No tratamento de chuva, a ET_r foi menor do que o tratamento irrigado durante o ciclo de desenvolvimento da cultura. Porém, aos 50 DAE observou-se um aumento importante na ET_r, explicado pela aplicação de 50 mm de chuva, superestimando a demanda evaporativa da cultura.

4.3 Avaliação de variedades de batata sob dois manejos da água de irrigação (experimento 2)

Nos dois tratamentos de irrigação avaliados foram aplicadas as chuvas do ano agrícola 2003/04, mais as necessidades de irrigação. Desta forma, a lâmina total de água aplicada em cada tratamento, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura foi: (i) chuvas 2003/04 + 246 mm (irrigado), totalizando 426 mm de água aplicada e; (ii) chuvas 2003/04 mais uma irrigação de 25 mm (quando o déficit hídrico em relação ao tratamento anterior atingia 90 mm), resultando em 205 mm. A quantidade de água aplicada correspondente as chuvas do ano agrícola 2003/04 foi maior que no experimento anterior, devido à emergência da cultura ter ocorrido em datas diferentes.

Na figura 11 é apresentada a distribuição da água aplicada à cultura por chuvas e irrigações e, a lâmina de água acumulada (mm) durante o ciclo de desenvolvimento da cultura da batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos de irrigação. A aplicação das chuvas foi realizada segundo o acúmulo de

graus dia a partir da emergência das plantas e as irrigações foram realizadas a partir da ET_m (calculada mediante a equação de FAO_{P-M}).

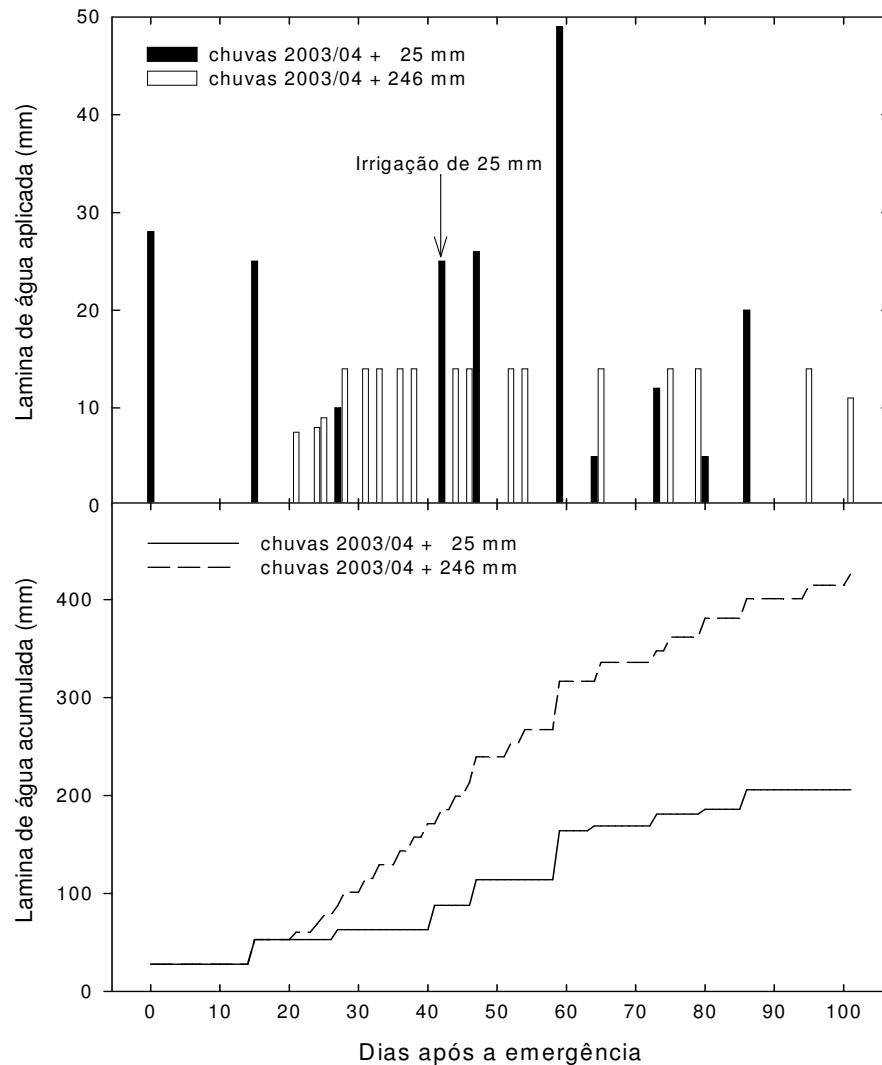


Figura 11. Distribuição da água aplicada (chuva e irrigação) e lâmina acumulada de água aplicada (mm) durante o ciclo de desenvolvimento da batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

O déficit hídrico acumulado no tratamento de chuvas 03/04 + 25 mm foi diferente para as duas variedades em função do ciclo de desenvolvimento da cultura (Tabela 17). As maiores diferenças no ciclo de desenvolvimento das variedades

ocorreram devido à Iporá apresentar maior desenvolvimento inicial de folhas e talos (devido a provir de semente fisiologicamente mais velha, por sua menor dormência) e, ao mesmo tempo, começar antes o estágio de tuberização. O déficit hídrico durante o subperíodo vegetativo para ambas as variedades foi leve, sendo em média de 32 mm em relação ao tratamento irrigado (38 mm para a variedade Chieftain e 25 mm na Iporá). Durante o subperíodo de início da tuberização da batata, o déficit hídrico foi maior ao aplicado no subperíodo anterior, significando em média para as duas variedades 63,5 mm (71 mm para a variedade Chieftain e 56 mm na Iporá). Porém, no subperíodo de enchimento dos tubérculos, o déficit hídrico aplicado foi moderado, atingindo um valor médio para ambas as variedades de 126 mm (variando de 140 mm para a variedade Chieftain e 112 mm na Iporá).

Tabela 17. Déficit hídrico acumulado para o tratamento de chuva 03/04 + 25 mm em relação ao tratamento irrigado (chuva 03/04 + 246 mm), na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Variedade	Subperíodo de desenvolvimento		
	Vegetativo	Início da tuberização mm	Enchimento dos tubérculos
Iporá	25,0	81,0	221,0
Chieftain	38,0	109,0	221,0

4.3.1 Resultados dos parâmetros morfofisiológicos

4.3.1.1 Escala fenológica

Na tabela 18 é apresentado o ciclo de desenvolvimento da cultura de batata var. Chieftain e Iporá, e seus diferentes estádios, contabilizando em DAE a duração de cada fase e os graus dia acumulados.

Tabela 18. Estádios de desenvolvimento de plantas de batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

DAE	Duração da fase (dias)	Graus dia acumulados*	Estádio desenvolvimento	Escala HACK et al. (1993)
Variedade Chieftain				
0	18	-	emergência	0
30	30	401	vegetativo	1 – 4
41	11	540	botão floral	5
54	13	714	florescimento ^a	6
65	11	844	frutificação ^b	7
90	25	1134	maturação	8
96	6	1198	senescência	9
Variedade Iporá				
0	17	-	emergência	0
26	26	362	vegetativo	1 – 4
38	12	500	botão floral	5
58	20	761	florescimento ^a	6
66	8	859	frutificação ^b	7
84	18	1067	maturação	8
89	5	1126	senescência	9

* Graus dia acumulados iniciam a partir da emergência das plantas; "a" corresponde ao início de formação dos tubérculos e; "b" início do estágio de enchimento dos tubérculos.

Neste experimento, devido á menor profundidade de semeadura as plantas emergiram 10 dias antes do que no experimento 1, portanto, o estágio de desenvolvimento vegetativo foi mais extenso. Mesmo assim, a duração total do ciclo de desenvolvimento para as duas variedades confere com o experimento anterior, e com o reportado para as condições agroclimáticas do Uruguai (CARDELLINO & GARCIA, 1983; VILARÓ et al., 2000 e; GARCIA, 2004).

Os tratamentos de irrigação não modificaram a duração do ciclo de desenvolvimento da cultura. Os resultados na literatura são discordantes neste sentido, pois o efeito do déficit hídrico na duração do ciclo de desenvolvimento das culturas depende da intensidade, duração, e momento em que ocorrer o déficit.

Entre as variedades foram observadas diferenças na duração do ciclo de desenvolvimento, sendo que, a Iporá encerrou o ciclo aos 89 DAE e a Chieftain aos

96 DAE. A menor duração do ciclo de desenvolvimento na variedade Iporá explica-se por ter utilizado semente fisiologicamente mais velha. Essa variedade tem período de dormência mais curto e, ao mesmo tempo, não apresenta dominância apical, emergindo rapidamente com vários brotos do tubérculo mãe. Desta forma, adiantou-se o desenvolvimento inicial, resultando em redução do subperíodo vegetativo. Possivelmente, a diferença mais importante entre as variedades na duração dos diferentes estádios de desenvolvimento ocorreu no subperíodo de início da tuberização, onde a variedade Iporá estendeu-se por aproximadamente 7-10 dias em relação à Chieftain. Desta forma, ocorreu a formação de mais tubérculos, porém, como no subperíodo de enchimento dos tubérculos a duração foi menor, limitou-se o tamanho dos mesmos. Essas diferenças acarretaram alterações nos componentes do rendimento (número e tamanho de tubérculos por planta).

4.3.1.2 Área foliar

Na figura 12 é apresentada a evolução do IAF medido decenalmente como a área foliar fotossinteticamente ativa, dados médios e desvio padrão de três plantas por subparcela. Os registros da área foliar superam os reportados por CARDELLINO & GARCIA (1983) e GARCIA (2004) para as condições de produção do Uruguai, porém concordam com o observado por DOOREMBOS & KASSAM (1979), WRIGHT & STARK (1990) e, LAILOU et al (2003). O desenvolvimento das plantas foi maior em relação ao experimento anterior, atribuível ao melhor estabelecimento da cultura e maior duração do subperíodo vegetativo.

Um maior desenvolvimento inicial foi observado para a variedade Iporá, principalmente nas primeiras fases do ciclo (até os 19 DAE). A utilização de semente fisiologicamente mais velha na Iporá induz um rápido desenvolvimento vegetativo, atingindo mais rapidamente o máximo IAF, porém provocou o adiantamento da senescência. O máximo valor do IAF foi atingido na variedade Iporá aos 43 DAE no tratamento irrigado, sendo que a Chieftain alcançou o máximo valor aos 73 DAE para esse manejo de irrigação. Por outro lado, no tratamento de chuva 2003/04 + 25 mm o máximo IAF foi atingido em ambas as variedades aos 60 DAE.

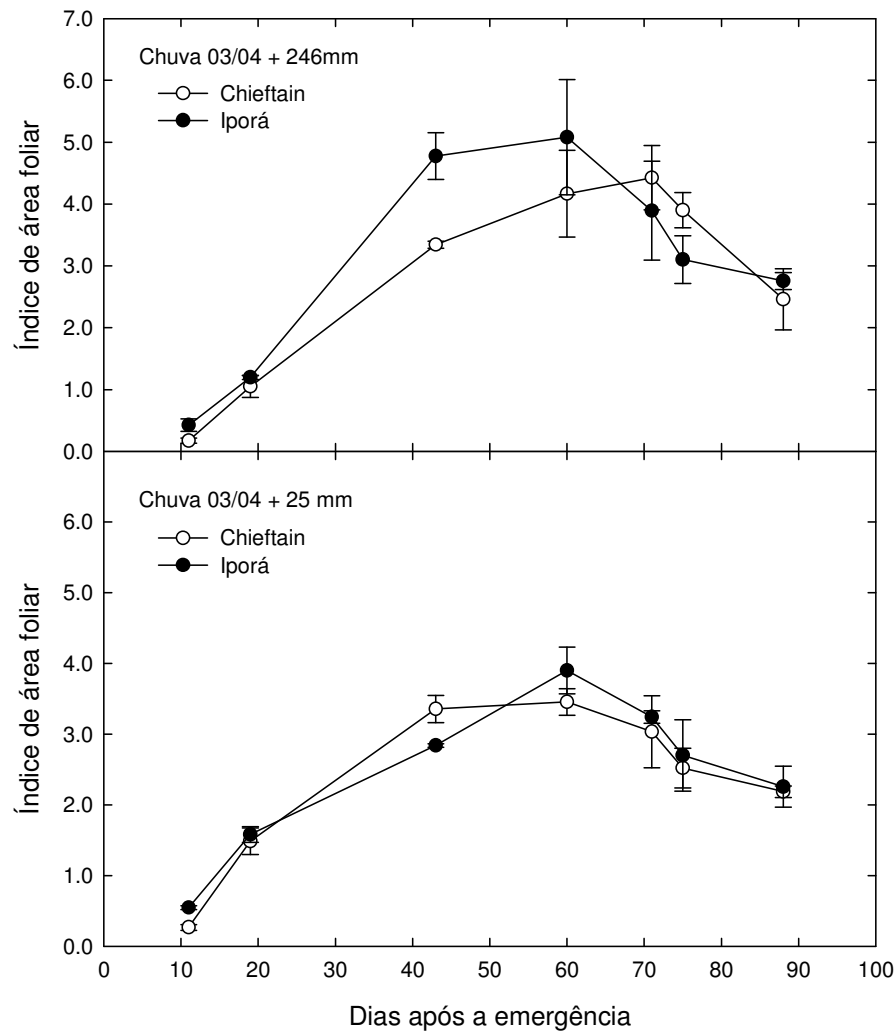


Figura 12. Evolução do índice de área foliar na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. As barras verticais representam o desvio padrão. INIA Las Brujas, 2007.

Na tabela 19 são apresentados os resultados da análise da variância para o IAF, realizada independentemente para cada data de avaliação. Foram observadas diferenças entre os tratamentos de irrigação, para as variedades e, interação irrigação x variedade. É importante salientar que aos 11 e 19 DAE não foi realizada a análise estatística para irrigação porque os tratamentos de irrigação começaram aos 20 DAE e, aos 60 DAE foi aplicada uma chuva de 50 mm, uniformizando os tratamentos.

Tabela 19. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o índice de área foliar na batata var. Chieftain e Iporá, submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas da Variação	Dias após a emergência						
	11	19	43	60	71	75	88
Irrigação	-	-	3,248*	1,564 ^{ns}	3,456*	3,075*	1,421 ^{ns}
Variedade	0,021*	0,045*	0,849*	0,624 ^{ns}	0,034 ^{ns}	0,287*	0,754 ^{ns}
Interação	0,001 ^{ns}	0,001 ^{ns}	3,834*	0,043 ^{ns}	0,532 ^{ns}	0,823*	0,050 ^{ns}
Erro Irrigação	-	-	0,005	0,131	0,091	0,038	0,108
Erro Variedade	0,001	0,028	0,021	0,947	0,124	0,022	0,876
CV (%)	9,42	9,59	3,50	23,67	9,64	4,55	20,29

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$.

Na Tabela 20 são apresentadas as médias do IAF para as das datas de avaliação em que se observaram diferenças entre os tratamentos de irrigação e/ou variedades e, na tabela 21 são apresentadas as médias do IAF nas duas datas em que foi observada interação irrigação x variedade. O maior desenvolvimento foliar foi registrado para ambas as variedades no tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm (irrigado), concordando com a literatura (ROSENTHAL et al., 1987; HSIAO, 1993; JEFERRIES & MACKERRON, 1993; HEUER & NADLER, 1995 e; AGUIAR NETTO et al., 2000).

Tabela 20. Resultado do índice de área foliar na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Tratamento	Dias após a emergência	
	19	71
Manejos de irrigação		
chuvas 03/04 + 246 mm	1,13 ^{ns}	4,10 a
chuvas 03/04 + 25 mm	1,53 ^{ns}	3,08 b
Variedade		
Chieftain	1,26 b	3,65 ^{ns}
Iporá	1,39 a	3,65 ^{ns}

Valores seguidos pelas mesmas letras, nas colunas, são semelhantes em nível de probabilidade $\leq 0,05$.

As diferenças observadas entre os tratamentos de irrigação (aos 43, 71 e, 75 DAE) aconteceram no final do subperíodo vegetativo–início da tuberação (43 DAE) e no subperíodo de enchimento dos tubérculos (70 e 75 DAE), períodos que são determinantes do rendimento da cultura (De LIS, 1964; Van LOON 1981; KLEINKOPF, 1983; ROSENTHAL et al., 1987; LYNCH & TAI, 1989; OJALA, 1990; WRIGHT & STARK 1990; HSIAO, 1993 e; LAILOU et al., 2003).

Tabela 21. Média do índice de área foliar para a interação irrigação x variedade, na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Tratamento de irrigação	Variedade	Dias após a emergência	
		43	75
chuvas 03/04 + 25 mm	Chieftain	3,4 b	2,4 c
	Iporá	2,8 c	2,6 c
chuvas 03/04 + 246 mm	Chieftain	3,3 b	3,9 a
	Iporá	5,0 a	3,1 b

Valores seguidos pelas mesmas letras, nas colunas, são semelhantes em nível de probabilidade $\leq 0,05$.

Diferenças na resposta ao déficit hídrico para o IAF foram observadas entre variedades. A variedade Chieftain atingiu menor IAF máximo, porém manteve a área foliar ativa por um período mais extenso durante o ciclo de desenvolvimento e a redução da área foliar sob condições de déficit hídrico foi menor que o observado na variedade Iporá.

A intensidade do déficit hídrico aplicado foi maior na parte final do ciclo de desenvolvimento, afetando a duração da área foliar ativa no subperíodo de enchimento dos tubérculos. Em ambas as variedades, observou-se maior senescência no tratamento de chuva 03/04 + 25 mm entre os 60 e 71 DAE, coincidido com os resultados de CLUTTERBUCK & SIMPSON (1978), ROSENTHAL et al. (1987), HSIAO (1993), JEFFERIES & MACKERRON (1993), HEUER & NADLER (1995) e, AGUIAR NETTO et al. (2000). Essas reduções na área foliar ativa foram em média de 18% para o tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm e, 5% para o tratamento irrigado.

Na última data de avaliação (88 DAE) foi observada uma resposta semelhante na senescência entre os tratamentos de irrigação. Na variedade Iporá, observou-se

senescência de 54% na área foliar ativa no tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm e, 47% no tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm, confirmando o reportado por HSIAO (1993); porém, na variedade Chieftain essa redução foi menor que na Iporá, sendo de 44 e 40% para os dois tratamentos de irrigação respectivamente. A maior senescência na variedade Iporá foi devida à maior incidência de *Alternaria solani* (avaliada segundo escala de HENFLING, 1980) e, maior número de talos e plantas mortas (possivelmente devido à incidência de *Verticillium sp.* e *Fusarium sp.*).

4.3.1.3 Número de talos e altura máxima das plantas

Na tabela 22 são apresentados os resultados da análise da variância para as variáveis, número de talos principais e altura máxima das plantas. Não foram observadas diferenças entre tratamentos de irrigação para o número de talos principais e altura máxima das plantas; porém, entre as variedades foram observadas diferenças. Não foi detectada interação irrigação x variedade.

Tabela 22. Resultados do quadrado médio da análise da variância para o número de talos principais e a altura máxima das plantas, na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas de variação	Número de talos principais	Altura máxima das plantas
Irrigação	2,512 ^{ns}	58,554 ^{ns}
Variedade	13,231*	448,90*
Interação	2,072 ^{ns}	4,278 ^{ns}
Erro Irrigação	0,410	16,740
Erro Variedade	1,193	26,119
CV (%)	23,85	6,70

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$.

O número observado de talos principais por planta, em média, foi de 2,9 para a variedade Chieftain e de 5,3 para a Iporá. Os resultados estão de acordo com VAN der ZAAG (1992); BOUJELBEN & M'BAREK (1997) e; LAILOU et al. (2003). Esses

autores afirmam que o déficit hídrico não afeta o número de talos principais produzidos por planta.

A altura máxima das plantas apresentou uma resposta semelhante aquela do número de talos por planta em relação a tratamentos de irrigação e variedades. Diferenças entre variedades foram observadas, sendo na Iporá observada maior altura de planta (82,9 cm) em comparação com a variedade Chieftain (68,4 cm), confirmando o reportado por VILARÓ et al. (2000). Os maiores valores observados nos parâmetros altura de plantas, número de talos e, número de folhas desenvolvidas, explicam o maior IAF observado para a variedade Iporá sob condições de adequada disponibilidade hídrica.

Os resultados obtidos são discordantes com os relatados por HSIAO (1973), HANG & MILLER (1986), ROSENTHAL et al. (1987), OJALA et al. (1990), HEUER & NADLER (1995), AGUIAR NETTO et al. (2000) e, DEBLONDE & LEDENT (2001), que observaram reduções na altura final das plantas de batata sob condições de déficit hídrico. Da mesma forma como no experimento anterior, esses resultados podem ser explicados pelas características do déficit hídrico. Neste experimento, o déficit hídrico durante o subperíodo vegetativo foi de 25 e 38 mm na Iporá e Chieftain respectivamente, não sendo suficiente para ocasionar redução expressiva na altura máxima das plantas.

4.3.1.4 Fotossíntese e trocas gasosas

Os resultados da fotossíntese líquida foram similares entre os tratamentos de irrigação e entre variedades. Da mesma forma como no experimento anterior, os valores obtidos da fotossíntese líquida concordam com o reportado por SHIMSHI et al (1983), SCHAPENDONK et al (1989) e, IERNA & MAUROMICALE (2006), porém, não foram sensíveis as modificações no estado hídrico das plantas.

Diferenças na transpiração foram observadas aos 30 DAE, sendo a média no tratamento irrigado de 3,02 mmoles de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$ e de 2,21 mmoles de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$ no tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm. A média da transpiração entre as variedades foi de 3,14 mmoles de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$ para a Chieftain e de 2,10 mmoles de $\text{H}_2\text{O m}^{-2} \text{h}^{-1}$ na Iporá. A condutância estomática diferiu entre tratamentos de irrigação

e variedades no período entre os 30 aos 60 DAE, porém sem apresentar um padrão definido. Diferenças entre tratamentos de irrigação foram observadas para a fotossíntese total da planta aos 30 e 75 DAE. Na tabela 23 são apresentados os resultados da análise da variância para a fotossíntese total da planta.

Tabela 23. Resultados do quadrado médio da análise da variância para a fotossíntese total da planta na batata var. Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas de variação	Dias após a emergência			
	30	60	75	88
Irrigação	522,27*	2007,80*	326,49 ^{ns}	212,95 ^{ns}
Variedade	67,63*	430,09 ^{ns}	73,68 ^{ns}	23,34 ^{ns}
Interação	194,23*	132,18 ^{ns}	28,56 ^{ns}	92,71 ^{ns}
Erro Irrigação	61,29	125,53	68,00	61,50
Erro Variedade	3,98	378,61	56,67	53,81
CV (%)	9,30	19,33	24,58	27,09

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$.

Observou-se interação irrigação x variedade aos 30 DAE. Os maiores valores para de fotossíntese total da planta foram observadas para ambas as variedades no tratamento irrigado. Porém, no tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm foram observadas diferenças entre variedades, sendo maior para a variedade Chieftain ($21,21 \mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$), em relação à Iporá ($8,49 \mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$). Aos 60 DAE observaram-se diferenças entre tratamentos de irrigação, sendo $64,6 \mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ a média no tratamento irrigado e $38,7 \mu\text{moles de CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ h}^{-1}$ no tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm.

As diferenças observadas entre os tratamentos de irrigação e variedades ocorreram nos subperíodos de início de formação de tubérculos e enchimento dos mesmos; estádios citados na literatura como fundamentais para a determinação do rendimento (CLUTTERBUCK & SIMPSON, 1978; MEYER & MARCUM, 1998; ROSENTHAL, 1987; LEDENT, 2001 e; LAILOU et al., 2003).

Entre os parâmetros fisiológicos avaliados, a fotossíntese total da planta melhor explica as adaptações morfofisiológicas das plantas de batata em relação ao

déficit hídrico, concordando com os resultados apresentados por HARRIS (1992); ROSENTHAL (1987); FERREIRA & CARLESSO (1998); LEDENT (2002) e; IERNA & MAUROMICALE (2006).

4.3.2 Componentes de Rendimento

Na tabela 24 são apresentados os resultados da análise da variância para os componentes do rendimento. Foram observadas diferenças entre os tratamentos de irrigação para todos os componentes do rendimento. Diferenças também foram observadas entre variedades para os componentes: rendimento comercial e número total de tubérculos por planta. Não foi observada interação irrigação x variedade.

Tabela 24. Resultados do quadrado médio da análise da variância para os componentes do rendimento da batata variedade Chieftain e Iporá, submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas da variação	Rendimento total	Rendimento comercial	Número total de tubérculos	Número comercial de tubérculos
Irrigação	16,330*	12,810*	42,190*	12,810*
Variedade	0,052 ^{ns}	8,771*	552,33*	6,754 ^{ns}
Interação	0,053 ^{ns}	0,032 ^{ns}	0,376 ^{ns}	0,270 ^{ns}
Erro Irrigação	0,142	0,286	1,234	0,367
Erro Variedade	1,902	0,720	5,278	1,190
CV (%)	21,20	22,07	11,76	20,37

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$.

Devido a que não foi observada interação entre os manejos de irrigação e as variedades, os resultados são apresentados em forma independente para cada fator. Na tabela 25 são apresentadas as médias dos componentes do rendimento para os manejos de irrigação.

Tabela 25. Componentes do rendimento na batata variedade Chieftain e Iporá submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Tratamento	Rendimento total (kg m ⁻²)	Rendimento comercial (kg m ⁻²)	Número total de tubérculos*	Número comercial de tubérculos*
chuvas 2003/04 + 246 mm	7,7 a	5,9 a	21,4 a	7,8 a
chuvas 2003/04 + 25 mm	5,3 b	3,8 b	17,6 b	5,7 b

Valores seguidos pelas mesmas letras, nas colunas, são semelhantes em nível de probabilidade $\leq 0,05$ e; * são dados médios de seis plantas.

O rendimento total no tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm diferiu do tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm, sendo 32% maior. No rendimento comercial a resposta foi semelhante, sendo o tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm 36% maior em relação ao tratamento chuvas 2003/04 + 25 mm. Entre as variedades houve diferenças no rendimento comercial, com valores de 5,5 kg m⁻² para a Chieftain e 4,2 kg m⁻² na Iporá. O rendimento total foi semelhante entre ambas as variedades. Analisando conjuntamente as variedades e os manejos de irrigação os resultados foram semelhantes. Para o tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm a Iporá produziu 5,2 kg m⁻² e a variedade Chieftain 6,6 kg m⁻² já, no tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm os rendimentos atingidos foram de 3,2 kg m⁻² na Iporá e 4,4 kg m⁻² na Chieftain. No entanto, o rendimento comercial na Chieftain no tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm foi semelhante ao rendimento da Iporá no tratamento irrigado (4,4 e 5,2 kg m⁻² respectivamente).

A diferença na resposta do rendimento comercial ao déficit hídrico depende fundamentalmente da idade fisiológica da semente. Geneticamente a Iporá tem menor dormência e apresenta brotação múltipla, iniciando rapidamente um elevado número de talos por semente, assim como muitos tubérculos por talo principal. Segundo HARRIS (1992), essas condições provocam um maior rendimento devido a uma rápida emergência e desenvolvimento vegetativo, além de tuberizar mais cedo. Na variedade Iporá foram observadas diferenças no crescimento e desenvolvimento da cultura, porém não se traduziu em maior rendimento, possivelmente por iniciar um grande número de tubérculos, necessitando uma maior duração do período de enchimento dos mesmos.

Os resultados obtidos da eficiência da irrigação são superiores aos valores reportados pela literatura por DOOREMBOS & KASSAM (1979), CARDELLINO & GARCIA (1983), FABEIRO et al. (2001) e, ÜNLÜ et al. (2006). A média da eficiência da irrigação foi da ordem de $17,5 \text{ kg m}^{-3}$, com valores extremos de $12,2 \text{ kg m}^{-3}$ para a variedade Iporá no tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm e, $24,4 \text{ kg m}^{-3}$ para a Chieftain no tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm.

Quanto ao número total de tubérculos por planta foram observadas diferenças entre tratamentos de irrigação e variedades. Para ambas as variedades, o tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm apresentou maior número total e comercial de tubérculos por planta. Mesmo assim, a redução do número total de tubérculos para os comerciais foi maior na variedade Iporá (71,5%), em relação à Chieftain (52,7%). A Iporá produz tubérculos primários, secundários e até terciários, chegando somente os primeiros a atingir o tamanho comercial. Segundo DOOREMBOS & KASSAM (1979) a variedade que produz menor número de tubérculos é a menos susceptível ao déficit hídrico. Neste sentido, HARRIS (1992) e LIMA BEZERRA et al. (1998) afirmam que, variedades produtoras de muitos tubérculos podem reduzir mais na categoria comercial quando o déficit hídrico ocorrer antes do início da tuberização.

Foi analisada a relação entre o número total de tubérculos e o número de talos principais por planta. Essa relação foi de 5,3 para a variedade Iporá no tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm e 4,7 para o tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm. Para a variedade Chieftain, essa relação foi mantida entre 5,2 e 3,8 para o tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm e chuvas 2003/04 + 25 mm, respectivamente. Mesmos resultados foram observados relacionando o número comercial de tubérculos com o número de talos principais por planta. Desta forma, infere-se que a redução na categoria comercial observada na variedade Iporá não foi determinada pelo tratamento de irrigação, sendo possivelmente definida geneticamente e influenciada por fatores de crescimento e de manejo na lavoura.

Na tabela 26 são apresentados os resultados da análise da variância para a distribuição por categorias do rendimento da batata. Foram observadas diferenças para o tratamento de irrigação na categoria mediana e entre variedades na categoria pequena.

Tabela 26. Resultados do quadrado médio da análise da variância para as quatro categorias do rendimento na batata var. Chieftain e Iporá, submetidas a dois manejos da água de irrigação. INIA Las Brujas, 2007.

Causas da variação	Grande	Mediana	Pequena	Descarte
Irrigação	39330,75 ^{ns}	214555,63 [*]	15123,00 ^{ns}	29230,75 ^{ns}
variedade	39790,08 ^{ns}	58241,33 ^{ns}	246533,33 [*]	23450,08 ^{ns}
Interação	1302,08 ^{ns}	18408,33 ^{ns}	4641,33 ^{ns}	1302,08 ^{ns}
Erro Irrigação	12396,87	18408,33	4516,17	34655,76
Erro Variedade	23206,58	50420,33	13738,33	32026,78
CV (%)	40,89	27,68	28,81	34,59

*: significativo em nível de probabilidade $\leq 0,05$; ns: não significativo com probabilidade $\leq 0,05$.

O rendimento na categoria mediana foi em média de 945,5 gramas por planta (g pl^{-1}) no tratamento de chuvas 2003/04 + 246 mm e, 678,8 g pl^{-1} no tratamento de chuvas 2003/04 + 25 mm. Quanto as variedades, o rendimento nas primeiras duas categorias (grande e mediana) foi semelhante. Na categoria mediana foram observadas diferenças no tamanho médio dos tubérculos, obtendo 141,3 gramas por tubérculo na variedade Chieftain e, 120,5 gramas na Iporá. Diferenças no rendimento foram observadas na categoria pequena, sendo em média 550,2 g pl^{-1} na Iporá e 253,5 g pl^{-1} na variedade Chieftain. O peso médio dos tubérculos na categoria pequena também foi afetado, sendo 39,8 gramas na variedade Chieftain e, 33,2 na Iporá. O descarte foi 300% superior na variedade Iporá (403,3 g pl^{-1}) e 126,5 g pl^{-1} na Chieftain.

A qualidade interna dos tubérculos foi determinada pelo conteúdo de massa seca. Diferenças entre tratamentos de irrigação e entre variedades não foram observadas. Observaram-se valores de massa seca nos tubérculos entre 16,0 e 16,5%, resultados aceitáveis para as variedades Chieftain e Iporá.

4.3.3 Adaptações morfofisiológicas relacionadas com o rendimento

O maior rendimento observado para o tratamento irrigado pode ser explicado a partir de alguns dos parâmetros morfofisiológicos avaliados como: área foliar,

transpiração e fotossíntese total da planta. Nesses parâmetros, diferenças entre os tratamentos de irrigação foram observadas durante os subperíodos de início da tuberação e enchimento dos tubérculos, caracterizadas na literatura como determinantes do rendimento (CLUTTERBUCK & SIMPSON, 1978; MEYER & MARCUM, 1998; ROSENTHAL, 1987; LEDENT, 2001 e; LAILOU et al., 2003).

Segundo HARRIS (1992) existe uma estreita relação entre o desenvolvimento foliar e rendimento total. MOORBY & MILTHORPE (1975) e LAILOU et al. (2003) observaram uma relação linear entre o IAF e o rendimento total. Esses últimos autores, trabalhando durante três anos com quatro variedades de batata distintas em ciclo, obtiveram relações diretas em rendimento quando o IAF aumentava de 2,0 até 8,0. Neste sentido, na figura 13 é apresentada a relação entre o IAF máximo e o rendimento total e comercial. Os dados correspondem à média de cada tratamento no experimento 1 (desenvolvido em lisímetros) e, a média de cada variedade por manejo de irrigação, no experimento 2 (avaliação de duas variedades sob dois manejos de irrigação).

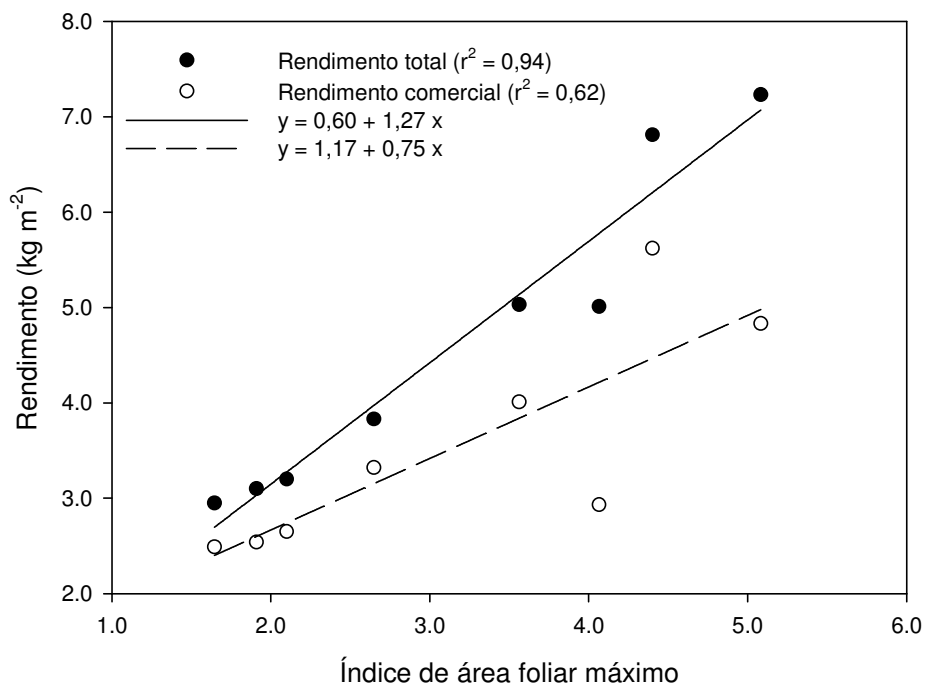


Figura 13. Relação entre o índice de área foliar máximo com o rendimento total e comercial, na batata var. Chieftain e Iporá desenvolvidas nos dois experimentos. INIA Las Brujas, 2007.

Existe uma relação linear entre o rendimento e o desenvolvimento vegetativo atingido pela cultura. Conforme HARRIS (1992) e JEFFERIES & MACKERRON (1993), com maior IAF aumenta a interceptação da radiação solar resultando em um maior rendimento. Millard & Marshall citados por HARRIS (1992) e HSIAO (1993) afirmam que, o rendimento aumenta devido à maior interceptação da radiação solar e não por um aumento na eficiência de conversão da radiação. Para as condições agroclimáticas do Uruguai, ALBADE & DOGLIOTTI (1998) afirmam que, um IAF entre 3,0 e 4,5 garante um percentual de 87 a 96% de interceptação da radiação incidente.

5 CONCLUSÕES

As variedades de batata Chieftain e Iporá são diferentes quanto à duração do ciclo de desenvolvimento, área foliar, número de talos principais, altura máxima das plantas e, transpiração.

A área foliar, a transpiração e a fotossíntese total das plantas de batata var. Chieftain e Iporá melhor relacionam as adaptações morfofisiológicas e do rendimento da cultura à déficits hídricos, aplicados durante os períodos: vegetativo, início da tuberação e enchimento dos tubérculos.

O índice de área foliar e a transpiração do dossel vegetativo da cultura da batata apresentaram uma relação direta com o rendimento total e com o rendimento comercial.

As plantas de batata cultivadas em lisímetros e submetidas aos manejos da água de irrigação: (i) chuvas 2003/04 + 216 mm, (ii) chuvas 2003/04, (iii) chuvas 2003/04 + 1 irrigação de 25 mm e, (iv) chuvas 2003/04 + 143 mm, não apresentaram diferenças nos componentes de rendimento, no entanto, diferenças foram observadas na distribuição das categorias comerciais da batata.

A aplicação das chuvas 2003/04 + 246 mm e chuvas 2003/04 + 1 irrigação de 25 mm ocasiona alterações nos componentes de rendimento das variedades Chieftain e Iporá, especialmente no rendimento comercial e no número total de tubérculos produzidos por planta.

Os valores de evapotranspiração real observados nos tratamentos de chuvas 2003/04 e chuvas 2003/04 + 216 mm estão diretamente relacionados com a área foliar do dossel vegetativo das plantas e com o conteúdo de água no perfil do solo.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO, J.F.; SMITH, M. **Los Lisímetros**. Roma: FAO, 1986. 60p. (Riego y drenaje; n.39).

ACKERSON, R.C.; KRIG, D.R.; SUNG, F.J.M. Leaf conductance and osmoregulation of Field growth sorghum genotypes. **Crop Science**, Madison, v.20, p.10-14, 1977.

AGUIAR NETTO, A.; RODRIGUES, J.D.; DE PINHO, S.Z. Análise do crescimento na cultura de batata submetida a diferentes lamina de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.5, p.901-907, maio 2000.

ALDABE DINI, L. **Producción de hortalizas en Uruguay**. Montevideo: Ed. Epsilon, 2000, 269 p.

ALDABE, L.; DOGLIOTTI, S. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). **Curso de Fisiología de cultivos**, Montevideo, Universidad de la República, Facultad de Agronomía, 1998.

ALLEN, R. et al. **Crop Evapotranspiration**. Rome: FAO, 1998. 300p. (Guidelines for computing crop water requirement. Irrigation and Drainage; n.56).

AMER, K.H.; HATFIELD, J.L. Canopy resistance as affected by soil and meteorological factors in potato. **Agronomy Journal**, v.96, p.978-985, 2004.

BATTILANI, A.; MANNINI, P. Effects of water table on potato crop growth and yield. **Acta Horticulturae**, n.335 (Irrigation of Horticultural Crops), 1993.

BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M.; MATZENAUER, R. **Agrometeorologia aplicada à irrigação**. Porto Alegre: Ed. Universidade, 1992, 125 p.

BLAKE, C.R. Particle density. In: BLACK, C.A (ed.). **Methods of soil analysis – Part 1**. Madison: ASA, 1965, p.371-390.

BOSNJAK, D.; PEJIC, B. Potato yield depending on evapotranspiration in the Vojvodina province. **Acta Horticulturae**, n.462, 1997.

BOUJELBEN, A.; M'BAREK, K. Potato crop response to drip irrigation system. **Acta Horticulturae**, n.449, v.1, 1997.

CARDELLINO, C.; GARCIA, F. Relaciones agua – crecimiento y producción del cultivo de papa. **Dpto de Investigación de la División de Manejo del Agua**, DUMA- MGAP, Montevideo, 1983.

CARLESSO, R.; SANTOS, R.F. Disponibilidade de água às plantas de Milho em solos de diferentes texturas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.23, n.1, p.17-25, 1999.

CLUTTERBUCK B.J.; SIMPSON, K. The interactions of water and fertilizer nitrogen in effects on growth pattern and yield of potatoes. **Journal Agric. Sci. Camb.**, v.91, p.161-172, 1978.

Da SILVA, K. et al. Análise de métodos de estimativa de evapotranspiração na otimização de sistemas de drenagem. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.2, p.161-165, 2005.

DAVIES, W.J.; ZHANG J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Reviews Plant Physiol. Plant Molecular Biology**, v.42, p.77-101, 1991.

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.

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

De LIS, B.R., 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**, Madison, 1964.

DOOREMBOS, J.; KASSAM, A., H. **Yield response to water**. Rome: FAO, 1977, 193p. (Irrigation and Drainage, n. 33).

DOOREMBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirement**. Rome: FAO, 1977, 156p. (Irrigation and Drainage, n.24).

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

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

FERREIRA SANTOS, R.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológicos e fisiológicos das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.3, p.287-294, 1998.

FLEXAS, J.; MEDRANO, H. Drought inhibition of photosynthesis in C3 plants: stomatal and non-stomatal limitations revisited. **Annals of botany**, v.89, p.182-189, 2002.

FORSYTHE, W. **Física de suelos**. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. San José de Costa Rica, 1972, 212 p.

GARCIA, C. Manejo da irrigação da batata, pêra e maçã no Uruguai. 2006, 113p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.

GARCIA, C. et al. Manejo del riego en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en las condiciones del sur de Uruguay. XI Congreso Nacional de Hortifruticultura, Montevideo, Mayo 2005.

HACK, H. et al. Estadios de las plantas mono y dicotiledóneas. BBCH Monografía. Alemania: 2001, (Centro Federal de Investigaciones Biológicas para Agricultura y Silvicultura, BBA, 2da edición).

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

HARRIS, P. M. **THE POTATO CROP**. The scientific basis for improvement. Department of Agriculture, University of Reading. London: Chapman & Hall, Second edition, 1992.

HENFLING, J.W. **Escala para Tizón tardío de la papa**. Lima: Centro Internacional de la Papa. Boletín de información técnica N° 4, junio 1980.

HEUER, B.; NADLER, A. Growth and development of potatoes under asalinity and water deficit. **Australian Journal Agric. Res.**, v.46, p.1477-1486, 1995.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. London: Academic Press, 1980, 413p.

HSIAO, T.C. Plant-atmosphere interactions, evapotranspiration and irrigation scheduling. **Acta Horticulturae**, n.278 (Scheduling of Irrigation for vegetable crops under field condition), 1990.

HSIAO, T.C. Growth and productivity of crops in relation to water status. **Acta Horticulturae**, n.335 (Irrigation and Horticultural Crops), 1993.

IERNA, A.; MAUROMICALE, G. Physiological and growth response to moderate water deficit of off-season potatoes in a Mediterranean environment. **Agricultural Water Management**, v 82, 193-206p., 2006.

JEFFERIES, R.A.; MACKERRON, D.K.L. Responses of potato genotypes to drought. II: Leaf area index, growth and yield. **Annals of Applied Biology**, v.122, p.105-112, 1993.

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

KOOMAN, P.L. Effects of climate on different potatoes genotype 2. Dry matter allocation and duration of the growth cycle. **European Journal of Agronomy**, v.7, p.205-216, 1996.

KRAMER, P.J. **Plant and soil water relationship**. New Delhi: Mac Graw Hill, 1974, 482p.

LAILOU, O.; OUATTAR, S.; LEDENT, J.F. The effects of drought and cultivar on growth parameters, yield and yield components of potato. **Agronomie**, v.23, p.257-268, 2003.

LEDENT, J.F. **Respostas ao déficit hídrico**. Comportamento morfofisiológico. Manual. Projeto auspiciado pelo CGRI, 2002.

LIMA BEZERRA, F.M.; ANGELOCCI L.R.; MINAMI, K. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.2, n.2, p.119-123, 1998.

LYNCH, D.R.; TAI, G.C.C. Yield and yield component response of eight potato genotypes to water stress. **Crop Science**, v.29, p.1207-1211, 1989.

MEDRANO, H. et al. Regulation of photosynthesis of C3 plants in response to progressive drought: stomatal conductance as a reference parameter. **Annals of botany**, v.89, p.895-905, 2002.

MEYER, R.D.; MARCUM, D.B. Potato yield, petiole nitrogen, and soil nitrogen response to water and nitrogen. **Agronomy Journal**, v.90, p.420-429, 1998.

MILLER, D.E.; MARTIN, M.W. Effect of declining or interrupted irrigation on yield and quality of three potato cultivars grown on sandy soil. **American Potato Journal**, v.64, n.3, 1987.

MOORBY, J.; MILTHORPE F. L. **Crop Physiology**. England: Cambridge University Press, 1975.

MORBY, J.; MUNNS, R.; WALCOTT, J. Effect of water deficit on photosynthesis and tuber metabolism in potatoes. **Australian Journal Plant Physiology**, v.2, p.323-33, 1975.

MORENO, J. A. **Clima do Rio grande do Sul**. Porto Alegre: Secretaria da Agricultura, Diretoria de Terras e Colonização, Secção de Geografia, 1961, 46 p.

MUNNS, R.; PEARSON, C.J. Effect of water deficit on translocation of carbohydrate in *Solanum tuberosum*. **Australian Journal Plant Physiology**, v.1, p.529-537, 1994.

NELSON, S.H.; HWANG, K.E. Water usage by potato plant at different stages of growth. **American Potato Journal**, v.4, n.120, p.577-582, 1975.

NETO DE ASSIS, F.; FERREIRA VERONA, L.A. Consumo de água y coeficiente de cultivo em sorgo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.5, n.26, p.665-670, maio 1991.

OJALA, J.C.; STARK, J.C.; KLEINKOPF, G.E. Influence of and nitrogen management on potato yield and quality. **American Potato Journal**, v.67, n.1, p.29-43, 1990.

PEREIRA, A. B.; SHOCK, C. C. **Development of irrigation best management practices for potato from a research perspective in the United States**. Sakia.org e-publish, n.1, v.1, p.1-20, 2006.

PHENE, C.J.; SANDERS, D. C. High frequency Trickle Irrigation and row spacing effects on yield and quality of potatoes. **Agronomy Journal**, v.68, july- august, 1976.
PICCINI, G. et al. **Construction of three weighing lysimeters for a determination of crops coefficient**. Texas A&M Agricultural Research & Extension Center at Uvalde, 1998.

ROBINSON, D. A comparison of soil water distribution under ridge and bed cultivated potatoes. **Agricultural Water Management**, v 42, 189-204 pp, 1999.

ROSENTHAL, W.D. et al. Water deficit effects on transpiration and leaf growth. **Agronomy Journal**, v.79, p.1019-1026, 1987.

ROUSSELLE, P.; ROBERT, J.; CROSNIER, C. **La Patata. Producción, plagas y enfermedades, utilización**. Madrid: Mundi-Prensa, 1999.

REICHARDT, K. **A água nos Sistemas Agrícolas**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1990, 186p.

RITCHARDS, L.A. Method of measurement moisture tension. **Soil Science**, Madison, v.58, p.95-112, 1949.

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

SASSAKI, R.; MACHADO, M. Trocas gasosas e condutância estomática em duas espécies de trigo em diferentes teores de umidade no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.9, p.1571-1579, set 1999.

SCHAPENDONK, A.H.C.M. et al. Effects of water stress in photosynthesis and chlorophyll fluorescence of five potato cultivars. **Potato Research**, v.32, p.17-32, 1989.

SHIMSI, D.; SHALHEVET, J.; MEIR, T. Irrigation regime effect of some physiological responses of potato. **Agronomy Journal**, v.75, mar-apr 1983.

SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G. **Deficit irrigation of potato**. Malheur Experiment Station, Oregon, United States of America, 2006.

SHOCK, C.C.; FEIBERT, E.B.G.; SAUNDERS, L.D. Potato Yield and Quality Response to Deficit Irrigation. **Hort. Science**, v.33, n.4, July 1998.

SOIL CONSERVATION SERVICE. **Soil Survey Investigations**. Washington: USDA, (Report n.1), 1972, 63p.

STARK, J.C.; WRIGHT, J.L. Relationship between foliage temperature and water stress in potatoes. **American Potato Journal**, v.62, p.57-67, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant Physiology**. California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc., Redwood City, 3er edition, 1994.

TANNER, C., B. Transpiration Efficiency of potato. **Agronomy Journal**, v.73, jan-feb 1981.

TANNER, C.B.; JURY, W.A. Estimating evaporation and transpiration from a row crop during incomplete cover. **Agronomy Journal**, 1976.

ÜNLÜ. M. et al. Trickle and sprinkler irrigation of potato (*Solanum tuberosum* L.) in the Middle Anatolian Region in Turkey. **Agricultural Water Management**, v.79, 43-71p, 2006.

VAN der ZAAG. **Potatoes and their cultivations in the Netherlands**. Netherlands: The Netherlands Potato Consultative Institute, 1992 (Directorate for Agricultural Research Wageningen).

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

VEIMEYER, J.F.; HENDRICKSON, H.A. Method of measurement field capacity and permanent wilting percentage of soils. **Soil Science**, Madison, v.68, p.75-94, 1949.

VILARÓ, F.; PEREIRA, G.; RODRIGUEZ, G. Características y recomendaciones sobre el manejo del cultivar de papa INIA-Iporá., **Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria**, 2004 (Hoja de divulgación N° 86).

VILARÓ, F.; RODRIGUEZ, G.; PEREIRA, G. Jornadas sobre mejoramiento de papa. **Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria**, mayo 2000 (Actividad de difusión N° 221).

WRIGHT J.L.; STARK, J.C. **Potato IN: Irrigation of Agricultural Crops**. Madison: ASA-ACSSA-SSSA, 1990.

WULLSCHLEGER, S.D. Biochemical limitations to carbon assimilation in C3 plants. A retrospective analysis of the A/Ci curves from 109 species. **Journal of Experimental Botany**, v.44, n.262, p.907-920, may 1993.

ANEXO A- EQUAÇÃO FAO PENMAN-MONTEITH UTILIZADA PARA O CALCULO DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA (ETO) SEGUNDO ALLEN et al. (1998)

A continuação apresenta-se a equação de Penman-Monteith recomendada pela FAO (ALLEN et al., 1998) para o calculo da evapotranspiração de referência (ET_o). A equação FAO Penman-Monteith é composta por dois termos, um de energia (radiação neta na superfície da cultura e fluxo de calor do solo) e outro aerodinâmico (vento e umidade do ar), com importância relativa em função das condições climáticas do local. O termo aerodinâmico refere-se ao processo de intercambio gasoso com a vegetação, identificando duas resistências, a aerodinâmica e a superficial.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 u_2)}$$

Onde:

ET_o é a evapotranspiração de referência (mm dia⁻¹);

RN é a radiação neta na superfície da cultura (MJ m⁻² dia⁻¹);

G é o fluxo do calor do solo (MJ m⁻² dia⁻¹);

T é a temperatura media do ar a 2 m de altura (°C);

u₂ é a velocidade do vento a 2 m de altura (m s⁻¹);

e_s é a pressão de vapor de saturação (kPa);

e_a é a pressão real de vapor (kPa);

e_s - e_a é o déficit de pressão de vapor (kPa);

Δ é a pendente da curva de pressão de vapor (kPa °C⁻¹);

γ é a constante psicrométrica (kPa °C⁻¹).

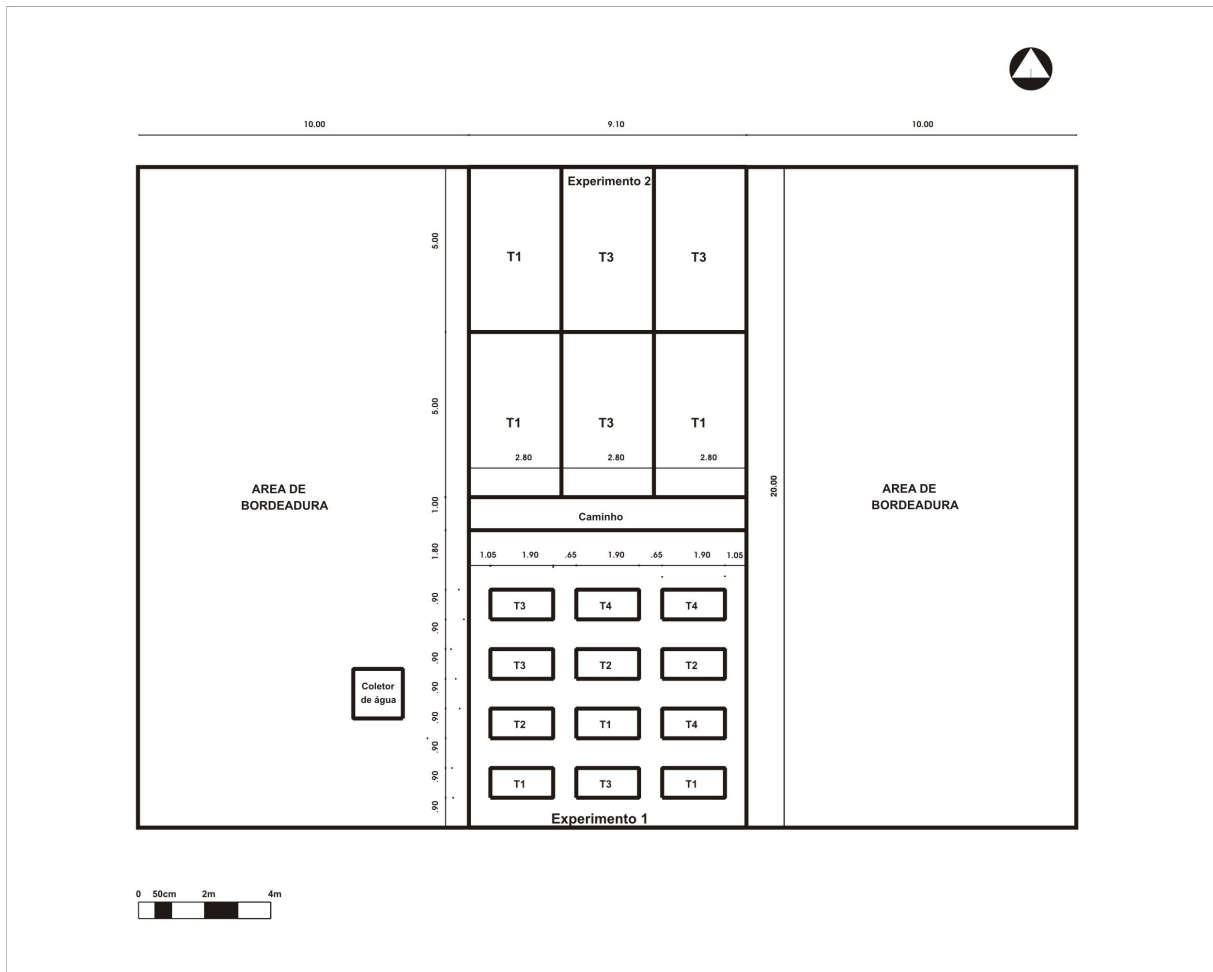
**ANEXO B- TABELA DE CONVERSÃO DO PESO ESPECÍFICO DOS
TUBÉRCULOS DA BATATA PARA PORCENTAGEM DE MASSA
SECA (Centro Internacional da Batata CIP, LIMA – PERÙ)**

Peso específico dos tubérculos	Massa seca (%) nos tubérculos	Umidade (%)
1,064	16,0	84,0
1,065	16,3	83,7
1,066	16,5	83,5
1,067	16,7	83,3
1,068	17,0	83,0
1,069	17,2	82,8
1,070	17,5	82,5
1,071	17,7	82,3
1,072	17,9	82,1
1,073	18,1	81,9
1,074	18,3	81,7
1,075	18,5	81,5
1,076	18,7	81,4
1,077	18,9	81,1
1,078	19,1	80,9
1,079	19,4	80,6
1,080	19,7	80,3
1,081	19,9	80,1
1,082	20,1	79,9
1,083	20,3	79,7

APÊNDICE A- IMAGEM DE SATELITE DO EXPERIMENTO.



APÊNDICE B- DISTRIBUIÇÃO DOS TRATAMENTOS



APÊNDICE C- DATA DE APLICAÇÃO DE DEFENSIVOS DURANTE O CICLO DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA DE BATATA.

Na seguinte tabela são apresentadas as datas (em dias após a emergência da cultura- DAE) em que foram aplicados defensivos. Detalham-se os princípios ativos e os volumes de água utilizados em função do dossel vegetativo.

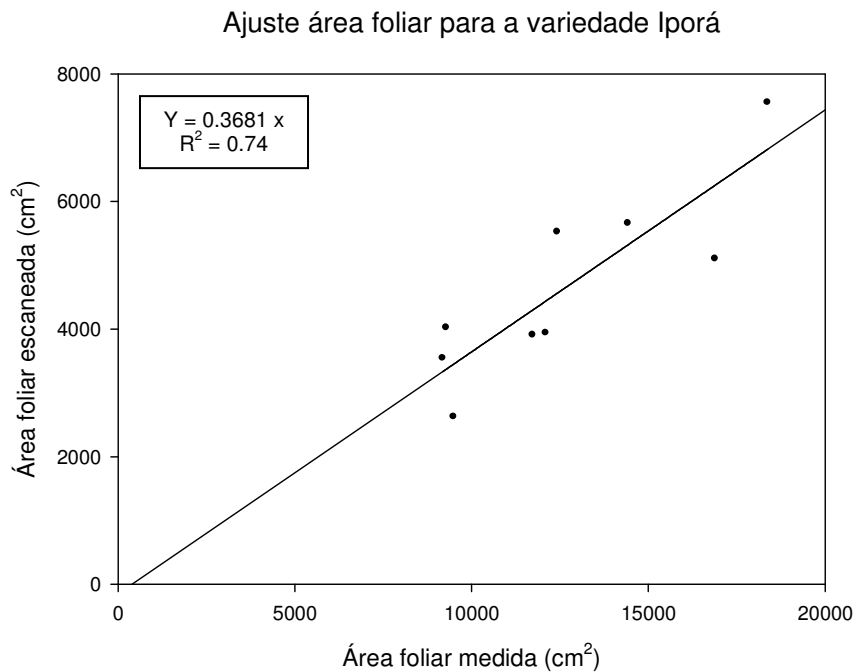
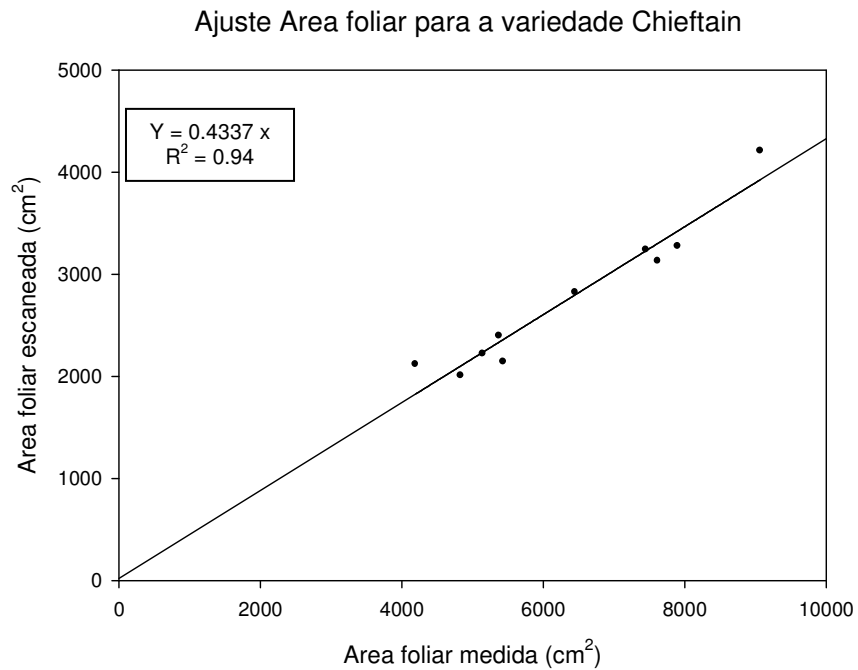
DAE*	Produto comercial	Principio ativo	Dose ⁽¹⁾		Água aplicada ⁽²⁾ (litros ha ⁻¹)
			Centilitros de produto/ litros de água	Gramas cada100 litros de água	
9	Lorsban Ridomil	clorpirifos metalaxil-M	150	400	250
23	Lorsban Bravo	clorpirifos clorotalonil	150 480		800
37	Lorsban Bravo	clorpirifos clorotalonil	150 400		1000
48	Bravo Quadris Attakan	clorotalonil triazol fosforado	400 50 50		1000
63	Dithane Fanavid Attakan	mancozeb cobre fosforado		250 350	1000
77	Bravo Quadris	clorotalonil triazol	400 50		800

* DAE: dias após a emergência das plantas

(1) Doses utilizadas para cada produto, calculadas a partir do gasto de água considerado para cada data de aplicação.

(2) Determinado a partir da área foliar da cultura e segundo as normas técnicas de Produção Integrada no Uruguai.

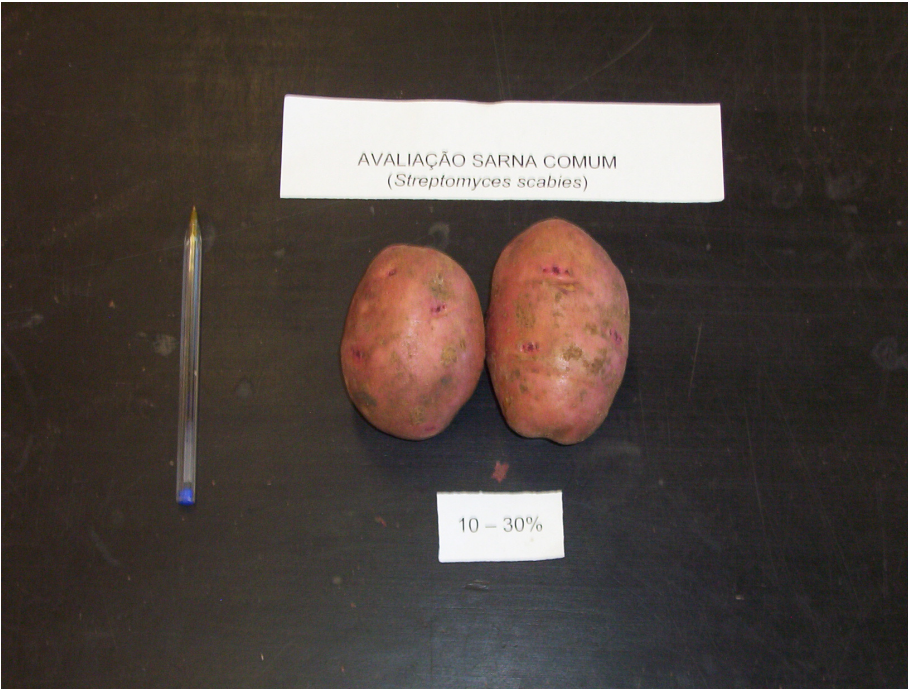
APÊNDICE D- EQUAÇÃO DE AJUSTE DA ÁREA FOLIAR PARA AS VARIETADES DE BATATA CHIEFTAIN E IPORÁ



APÊNDICE E- CLASSIFICAÇÃO POR CATEGORIAS DA BATATA SEGUNDO O PESO DOS TUBÉRCULOS



APÊNDICE F- ESCALA PARA AVALIAR A SEVERIDADE DO DANO OCACIONADO POR SARNA COMUM (*STREPTOMYCES SCABIES*)



APÊNDICE F- ESCALA PARA AVALIAR A SEVERIDADE DO DANO OCACIONADO POR SARNA COMUM (*STREPTOMYCES SCABIES*)

