

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



**RETENÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA NA PALHA, SOLO E DOSSEL
VEGETATIVO DE MILHO E FEIJÃO**

TESE DE DOUTORADO

Vanessa Schwanke Fontana

Santa Maria, RS, Brasil.

2007

**RETENÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA NA PALHA , SOLO E DOSSEL
VEGETATIVO DE MILHO E FEIJÃO**

por

Vanessa Schwanke Fontana

Tese apresentada ao Curso de Doutorado 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 **Doutor em Engenharia Agrícola**

Orientador: Flávio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, RS, Brasil.

2007

Fontana, Vanessa Schwanke, 1979-

Retenção de água da chuva na palha, solo e dossel vegetativo de milho e feijão / por Vanessa Schwanke Fontana; orientador Flávio Luiz Folleto Eltz. – Santa Maria, 2007.
102 f. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, RS, 2007.

1. Engenharia agrícola 2. Manejo de irrigação 3. Retenção de água 4. Plantio direto 5. Necessidade hídrica I. Eltz, Flávio L.F., orient..
II. Título

CDU:

Ficha catalográfica elaborada por
Luiz Marchiotti Fernandes – CRB 10/1160
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Rurais/UFSM

© 2007

Todos os direitos autorais reservados a Vanessa Schwanke Fontana. A reprodução de partes ou do todo deste trabalho só poderá ser feita com autorização por escrito do autor.

Endereço: Rua Ceará, n.1298, Bairro Progresso, Ibirubá, RS, 98200-000.

Fone: (0 xx) 54 3324 1569 ou 54 3324 3252; Fax (0 xx) 54 3324 3252.

Email: vanessafontana2005@yahoo.com.br

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

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

**RETENÇÃO DE ÁGUA DA CHUVA NA PALHA , SOLO E DOSSEL
VEGETATIVO DE MILHO E FEIJÃO**

elaborada por

Vanessa Schwanke Fontana

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

COMISSÃO EXAMINADORA

Flávio Luiz Foletto Eltz, PhD. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Reimar Carlesso, PhD. (UFSM)

Toshio Nishijima, Dr. (UFSM)

Oswaldo Konig, Dr. (UFSM)

Claiton Ruviaro, Dr (URI/Santiago)

Santa Maria, 17 de dezembro de 2007.

A meus pais, **Véra e Silvio**, minhas irmãs Tatiane e Valeska, meu cunhado João, que com grande sacrifício acompanharam-me nestes anos de estudos, apoiando e incentivando todas minhas decisões.

À Deus por me dar saúde, paz e alegria.

DEDICO este trabalho

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Santa Maria, pública e gratuita, ao Centro de Ciências Rurais e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, pela oportunidade de realizar este curso.

Ao professor Flávio Luiz Foletto Eltz, pela orientação e amizade, muito importantes para a minha formação científica.

Ao professor Reimar Carlesso, pela ajuda no decorrer do trabalho, importante contribuição a minha formação científica e pela sua amizade de tantos anos.

Aos professores que ministraram as aulas no decorrer do curso, pelos ensinamentos e disponibilidades de tempo sempre que necessário.

Aos professores Toshio Nishijima, Osvaldo König, Claiton Ruviano e Thomé Lovato, por fazerem parte da minha comissão examinadora.

Aos meus colegas e amigos Rogério, Renato, Federico, Cleber, Cleiton, Juliano, Rodrigo, Clério, Giovani, Marcos, Luis, Daniel, Marta, Alberto, Genésio, Cleudson, Gustavo, Marcio, Tiago, Fabiana, Mirta e Tatiana, pela ajuda e parceria em todos os momentos, além da grande amizade.

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

RESUMO

Tese de Doutorado

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Universidade Federal de Santa Maria

Retenção de água da chuva na palha, solo e dossel vegetativo de milho e feijão

Autora: Vanessa Schwanke Fontana

Orientador: Flavio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, 17 de dezembro de 2007.

A água é o fator mais importante e, ao mesmo tempo, o mais limitante que a planta necessita para o seu desenvolvimento. Curtos períodos de deficiência hídrica podem reduzir a produtividade das culturas. Assim, a importância de saber a quantidade de água que fica retida na planta, na palha e no solo é fundamental na hora de calcular a quantidade exata de água requerida pela planta nos seus diferentes estágios de crescimento. O objetivo deste trabalho foi determinar a retenção de água no solo, na palha e no dossel de plantas após uma precipitação, na fase inicial de crescimento das culturas do milho e feijão. O feijão (cv Rio Tibagi) e o milho (híbrido Pioneer 30R53) foram semeados no sistema plantio direto (2, 4 e 6 t palha ha⁻¹) e convencional (0 t de palha em cobertura) durante o ano agrícola de 2006. O delineamento experimental para o milho foi um bifatorial (2 x 4) e três repetições, e o do feijão foi um fatorial com três repetições. No milho foram testados dois espaçamentos entre linhas (45 e 75 cm). As chuvas artificiais foram aplicadas utilizando-se um simulador estacionário de bicos múltiplos e oscilantes, o qual aplicou de 4 a 8 mm, numa intensidade de 30 mm h⁻¹. Foram feitos camalhões na área, (com declividade para dar escoamento a água) e na superfície do solo foi colocada uma lona plástica para que a água escoasse pela superfície do solo até um coletor colocado entre duas linhas de plantas. Foram confeccionados tapetes de palha com diferentes quantidades de palha (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹) e colocados entre as linhas de plantas acima da superfície do solo (lona plástica). A determinação da quantidade de água retida foi feita através das diferenças de pesagens. A quantidade de água aplicada pelo simulador era conhecida através de pluviômetros;

os tapetes de palha eram pesados antes de serem colocados entre as linhas de plantas e após a chuva simulada (por diferença, era obtido o valor da água retida na palha); a água que passava pela palha e escoava até o plástico era coletada após a chuva no coletor colocado entre as linhas de plantas e medida com proveta, e, assim obtido o valor da quantidade de água que chegava ao solo, que na prática corresponde a água que infiltra no solo. Por diferença foi calculada a água que ficou retida no dossel. Foi realizada análise da variância, com regressão em nível de 5%. A retenção de água na fase inicial da cultura do milho foi maior no solo, para todas as quantidades de palha, e, na fase final aumentou a retenção no dossel de plantas. A maior retenção de água na palha foi na quantidade de 6 t ha⁻¹, sendo a maior retenção no espaçamento de 45 cm entre linhas. No dossel, a retenção foi menor no início e maior no final, com o desenvolvimento da mesma (maior Índice de área foliar). No solo, a retenção foi maior onde havia menos palha na fase inicial. A retenção foi maior onde havia mais palha na cobertura e no menor espaçamento (45 cm), sendo a retenção no solo maior onde não havia cobertura e a 75 cm entre linhas. No dossel, a retenção foi maior no espaçamento 45 cm, com menor quantidade de palha em cobertura. No feijão, a retenção na palha foi maior na fase inicial e com maior quantidade de palha em cobertura, sendo que no solo a maior quantidade de água chegou onde não havia cobertura. No dossel de plantas a retenção de água foi aumentando conforme o desenvolvimento da cultura.

Palavras-chave: retenção de água, plantio direto, necessidade hídrica, IAF

ABSTRACT

Doctoral Thesis

Graduate Program in Agricultural Engineering

Federal University of Santa Maria, RS, Brazil

Rainfall retention in straw, plant and soil in corn and drybeans

Author: Vanessa Schwanke Fontana

Adviser: Flavio Luiz Foletto Eltz

Santa Maria, 17th december 2007.

The water is the most important factor and, at the same time, the more limitant than the plant needs for its development. Short periods of hidric stress can reduce crop productivity. In this way, the importance of knowing the rainfall amount that is retained in plant, straw and soil is fundamental to calculating the exact amount of water requested by the plant in their different growth stages. The objective of this work was to determine the water retention in the straw, in the soil and in the plants dossal after a precipitation, in the initial phase of growth of corn and bean crops. The drybeans (cv Rio Tibagi) and corn (hybrid Pioneer 30R53) were sowed in no-till (2, 4 and 6 t straw ha⁻¹) and conventional (0 t of straw in covering) during 2006 agricultural year. The experimental design for corn was a bifatorial (2x4) and 3 replications, and for bean was a factorial and 3 replications. For corn two row spacings were tested (45 and 75 cm). Artificial rains were applied using a portable simulator of multiple nozzles, which applied 4 to 8 mm, with 30 mm h⁻¹ rain intensity. They were made ridges in the area, (with steepness to drain the water) and a plastic canvas covered the soil surface, so that water that arrived to the plastic drained for the surface until a collector placed among two plants rows. Straw rugs were made with different amounts of straw (0, 2, 4 and 6 t ha⁻¹) and put among the plants rows above soil surface (plastic canvas). The determination of the amount of water retained was made through the differences of weightings. The amount of applied water with the simulator was known using pluviometers; the straw rugs were weighed before and after rain simulation (for difference, it was obtained the value of water retention in straw). The water that passed through straw and was drained until the plastic was

collected after the rain, in the collector placed between the plants lines and measured with a test tube, and obtained the amount of water that arrived to the soil, that in practice corresponds to the water that infiltrates in the soil. For difference, was obtained the water that was retained in the dossal. Statistical analysis the variance analysis, with regression in level of 5%. Water retention in the initial phase of corn was larger in the soil, for all straw amounts, and, in the final phase, water retention in plants dossal was increased. The largest water retention in straw was with 6 t ha⁻¹, being the largest retention in the spacing of 45 cm among rows. In the dossal, the retention was smaller in the beginning and larger at the end, with the plants development (larger leaf area index). In the soil, water retention was larger where there was less straw in the initial phase. The retention was larger where there was more straw covering and in the smallest spacing (45 cm), being the soil retention larger without covering and with 75 cm among lines. In the dossal, retention was larger in the spacing 45 cm. In the black bean, water retention in straw was larger in the initial phase and with larger amount of straw, and in soil the largest water retention happened without covering (7,4mm). In the plants dossal water retention increased according to crop development.

Word-key: water retention, no-till, water needs, LAI

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Tratamentos para as culturas do feijão e milho.....	30
Tabela 2	- Análise da variância para retenção de água no solo, palha e dossel vegetativo das plantas de milho durante o ciclo da cultura, em Santa Maria – RS, 2006.....	42
Tabela 3	- Causas de variação na retenção de água no dossel vegetativo, palha e solo, grau de liberdade (GL) , quadrado média (QM), coeficiente de variação (C.V) significativos para os DAEs, em Santa Maria – RS, 2006.....	43
Tabela 4	- Causas de variação na retenção de água no dossel vegetativo, palha e solo na cultura do feijão, durante o ciclo da cultura, grau de liberdade (GL), quadrado média (QM), nos DAE significativos em Santa Maria – RS, 2006,.....	60

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	- Visualização do experimento na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da UFSM, Santa Maria, RS, 2006.....	30
Figura 2	- Simulador de chuva estacionário de bicos múltiplos e oscilantes utilizados no experimento, Santa Maria, RS 2006.....	31
Figura 3	- Intensidade da chuva em função do número de oscilações dos bicos aspersores para calibração do simulador de chuva e CUC para cada teste. Santa Maria, RS, 2006.....	32
Figura 4	- Preparo do solo da área experimental do Departamento de Engenharia Rural, Santa Maria, RS, 2006.....	33
Figura 5	- Coleta da água precipitada que atingiu o solo no experimento da cultura do milho em recipientes plásticos, Santa Maria, RS, 2006.....	34
Figura 6	- Detalhe da vedação da abertura plástica na lona preta que cobria o solo no experimento do milho, Santa Maria, RS, 2006.....	35
Figura 7	- Confecção dos tapetes de palha utilizados nos experimentos do milho e feijão, colocação da palha já pesada nas telas e posterior fechamento dos mesmos, Santa Maria, RS, 2006.....	36
Figura 8	- Modelo matemático do feijão, relacionando área da folha e comprimento e largura do folíolo central, Santa Maria, RS, 2006.....	37
Figura 9	- Visualização do experimento com feijão, com tapetes de palha entre linhas e coletores de água do solo, Santa Maria, RS, 2006.....	37
Figura 10	- Medição do conteúdo de água no solo, através do coletor no feijão, Santa Maria, RS, 2006.....	39

Figura 11	- Lâmina de água retida na palha (mm), em 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ , aos 25 DAE, nos espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.....	41
Figura 12	- Lâmina de água retida na palha (mm), em 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ , aos 46 DAE, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.....	44
Figura 13	- Índice de área foliar (IAF) do milho Pioneer 30R53, no espaçamento de 75 cm entre linhas, em função de dias após a emergência (DAE), no período de 07 de novembro a 19 de dezembro de 2006, em Santa Maria – RS, 2006.....	45
Figura 14	- Índice de área foliar (IAF) do milho Pioneer 30R53, no espaçamento de 45 cm entre linhas, em função de dias após a emergência (DAE), no período de 07 de novembro a 19 de dezembro de 2006, em Santa Maria – RS, 2006.....	46
Figura 15	- Lâmina de água retida na palha (mm), durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho (25, 31, 37, 46 e 52 DAE), para os espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas em Santa Maria – RS, 2006.....	47
Figura 16	- Lâmina de água retida no solo (mm), em 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ , aos 31 DAE, em Santa Maria – RS, 2006.	49
Figura 17	- Lâmina de água retida no solo (mm), em 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ , no dia 19 de dezembro de 2006 (37 DAE), nos espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.	51
Figura 18	- Lâmina de água retida no solo (mm), em 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ , aos 46 DAE, no espaçamento de 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.	52
Figura 19	- Lâmina de água retida no solo (mm), durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho (25, 31, 37, 46 e 52 DAE), no espaçamento 45 e 75 cm, em Santa Maria – RS, 2006.....	54
Figura 20	- Lâmina de água retida no dossel de plantas, em 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ , aos 31 DAE, nos espaçamentos de 45 e 75 cm, em Santa Maria – RS, 2006.	55
Figura 21	- Porcentagem de água retida no dossel de plantas (mm), em 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ , aos 46 DAE, no espaçamento 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.....	57

Figura 22	- Porcentagem de água retida no dossel (mm), durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho (25, 31, 37, 46 e 52 DAE), no espaçamento de 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.....	58
Figura 23	- Lâmina de água (mm) retida na palha em feijão, nas quantidades de 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ de palha em cobertura, para os 25, 31, 37 e 46 DAE, em Santa Maria – RS, 2006.	59
Figura 24	- Lâmina de água (mm) retida no solo, em feijão, com 0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹ de palha em cobertura, para os 25, 31, 37 e 46 DAE, em Santa Maria – RS, 2006.	62
Figura 25	- Índice de área foliar (IAF) do feijão, no espaçamento de 45 cm entre linhas, em função de dias após a emergência (DAE), no período de 07 de novembro a 4 de dezembro de 2006, em Santa Maria – RS, 2006.	63
Figura 26	- Lâmina de água (mm) retida no dossel de plantas de feijão, em diferentes quantidades de palha (0, 2, 4 e 6 t ha ⁻¹), para 25, 31, 37 e 46 dias após a emergência (DAE), em Santa Maria – RS, 2006.	64

SUMÁRIO

1.	- INTRODUÇÃO/JUSTIFICATIVA.....	1
1.1	- Objetivo geral.....	3
1.2	- Hipótese.....	3
2.	- REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1.	- Água e a planta.....	4
2.2.	- Água na produção agrícola.....	5
2.3.	- Interceptação foliar de água na planta.....	6
2.4.	- Plantio Direto.....	11
2.4.1.	- Principais propriedades físicas do solo afetadas pelo plantio direto.....	12
2.4.1.1.	- Porosidade do solo.....	12
2.4.1.2.	- Densidade do solo.....	13
2.4.1.3	- Estrutura do solo.....	13
2.4.1.4	- Retenção de água no solo.....	14
2.1.4.5	- Capacidade de infiltração de água no solo.....	14
2.5.	- Plantio Convencional.....	15
2.6.	- Simulador de chuva - intensidade e precipitação.....	16
2.7.	- Cultura do milho.....	17
2.7.1.	- Déficit hídrico e a produção do milho.....	19
2.8.	- Cultura do feijão.....	21
2.9.	- Densidade e arranjo populacional.....	24
2.10.	- Espaçamento entre linhas.....	26
3.	- MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1.	- Clima, local e solo.....	29
3.2.	- Tratamento e delineamento experimental	29
3.3.	- Semeadura e tratos culturais.....	34
3.4.	- Características morfológicas das plantas.....	36
3.5.	- Determinação da retenção de água.....	38
3.6.	- Análise estatística.....	39
4.	- RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40

4.1.	- Cultura do Milho: retenção de água do solo, dossel vegetativo e palha nos espaçamentos 45 cm e 75 cm entre linhas.....	40
4.1.1.	- Lâmina de água retida na palha, cultura do milho, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas.....	40
4.1.2.	- Lâmina de água retida no solo,na cultura do milho, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas.....	48
4.1.3.	- Lâmina de água retida no dossel vegetativo, na cultura do milho, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas	55
5.	- Cultura do feijão.....	59
5.1.	- Retenção de água na palha, na cultura do feijão durante o desenvolvimento da cultura	59
5.2	- Retenção de água no solo, na cultura do feijão durante o desenvolvimento da cultura.....	61
5.3	- Retenção de água no dossel de plantas, na cultura do feijão, durante o desenvolvimento da cultura.....	63
6.	- CONCLUSÕES.....	66
7.	- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	67
8.	- ANEXOS.....	81

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A água é um componente vital de todas as formas de vida animal e vegetal, sendo que o excesso e, principalmente, a escassez desse recurso é o principal responsável pela falta de alimentos no mundo, gerando a fome de vários povos e a degradação do solo pelo uso inadequado ou exploração de áreas agrícolas impróprias ao cultivo.

Conforme Taiz & Zeiger (1991), de todos os recursos que a planta necessita para o seu desenvolvimento, a água é o fator mais importante e, ao mesmo tempo, o mais limitante para a produção. Pois, tão delicado é o balanço entre o suprimento de água através das precipitações e as necessidades hídricas das culturas que, curtos períodos de deficiência hídrica podem reduzir significativamente a produtividade das culturas e, períodos prolongados de seca podem causar frustrações totais na produção das culturas (Hillel, 1980).

O clima do Rio Grande do Sul tem apresentado maior freqüência de anos secos que anos chuvosos (Berlato, 1992), sendo que as precipitações naturais têm uma considerável variabilidade em termos de intensidade, sendo que precipitações de intensidade constante não ocorrem em condições naturais (Horner & Jens, 1941). Vários estudos demonstram que as perdas de solo e água com a ocorrência de precipitações intensas são, freqüentemente, mais importantes que a média anual (Harvey, 1984; Edwards & Owens, 1991; Wainwright, 1996).

A precipitação pluvial anual média do Rio Grande do Sul é da ordem de 1540 mm, variando de 1.235 mm no Sul do Estado até 2.162 mm no Norte (Berlato, 1992). Apesar dessas precipitações pluviais serem bem distribuídas ao longo das quatro estações do ano (24% no verão; 25% no outono; 25% no inverno e 26% na primavera), a alta demanda evaporativa da atmosfera nos meses de dezembro a fevereiro, devido a maior intensidade da radiação solar e temperaturas do ar mais elevadas, faz com que a precipitação pluvial no período de primavera-verão seja, em geral, insuficiente para atender as necessidades hídricas das culturas.

Segundo Carlesso et al. (2001) embora o montante das precipitações pluviais seja superior às necessidades hídricas das culturas (consumo de água), essas precipitações pluviais são mal distribuídas e, normalmente, de alta intensidade, resultando em grandes perdas de água devido ao escoamento superficial.

A interceptação da precipitação pluvial pode representar uma perda considerável em função da espécie de cobertura vegetal predominante. Além de depender do bioma presente, a fração interceptada varia conforme a intensidade, espectro de gotas e duração da precipitação. Tipicamente, intensidade e espectro de gotas são inversamente proporcionais à interceptação, enquanto a duração é diretamente proporcional. (Ubarana et al., 1996; Andrade Lima et al., 1999).

A irrigação complementar tem sido implementada no Estado como uma excelente forma de reduzir as perdas causadas pela deficiência hídrica, além de melhorar a eficiência de uso da água e aumentar a produtividade da agricultura.

Para o planejamento das áreas de cultivo é necessária a previsão da ocorrência e da quantidade das precipitações pluviométricas bem como o consumo de água pelas culturas para o período de duração do seu ciclo de desenvolvimento. Esses períodos são considerados longos para os sistemas de previsão meteorológicos, os quais conseguem estimar com precisão aceitável para o planejamento agrícola, a ocorrência de precipitações pluviais e a demanda evaporativa da atmosfera para um tempo máximo de três dias.

A adoção de sistema de plantio direto provoca modificações nas características físico-hídricas do solo, tanto na superfície como na camada explorada pelo sistema radicular das plantas. Essas mudanças interferem no fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera e uma das alterações mais significativas está relacionada com a evaporação da água na superfície do solo. Alguns autores demonstraram que a presença de palha na superfície do solo no sistema plantio direto promove uma redução na evaporação em até 30% (Dalmago, 2003; Bragagnolo et al., 1990).

A importância de saber a quantidade de água que fica retida na planta e na palha, e, por consequência a lâmina de água que chega ao solo é fundamental na hora de calcular a quantidade exata de água requerida pela planta nos diferentes estádios do seu crescimento. Também vêm a ser uma forma de controlar a quantidade de água que chega ao solo, proporcionando aumentar o grau de eficiência.

1.1 Objetivos

O objetivo desse trabalho foi determinar a retenção de água no solo, na palha e no dossel de plantas após uma precipitação pluvial, na fase inicial de crescimento das culturas do milho e feijão, com diferentes quantidades de palha em cobertura.

1.2 Hipótese

A maior cobertura de resíduos vegetais na superfície do solo e o progressivo aumento do índice de área foliar das plantas aumentam a retenção de água na palha e na planta, diminuindo a quantidade de água que chega até a superfície do solo.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Em escala mundial, a demanda hídrica anual está estimada em 14 mil Km³, sendo que a oferta só atende cerca de 66% desse total. Mantendo-se as taxas de consumo e considerando-se um crescimento populacional anual de 1,6%, o esgotamento das potencialidades de recursos hídricos está previsto para ocorrer no ano de 2053 (Paz et al., 2000).

No Brasil, o setor agrícola é o maior consumidor de água, utilizando cerca de 69% de toda a água derivada de rios, lagos e aquíferos subterrâneos. Os outros 31% são consumidos pelas indústrias e uso doméstico (Paz et al., 2000). Apesar do grande consumo, a agricultura irrigada é a forma mais eficiente de aumentar a produção de alimentos, pois permite o incremento na produtividade, principalmente, em ambientes áridos e semi-áridos. Em regiões onde predominam classes de clima úmido ou sub-úmido, a irrigação é aplicada de forma a suplementar as necessidades hídricas das culturas durante períodos de déficits hídricos de curta duração. Conforme Howell (2000), a irrigação é um fator de fundamental importância para promover a produção de alimentos e fibras em escala suficiente para uma população mundial que cresce continuamente. A necessidade de aumentar os níveis de produtividade está ligada à incorporação e expansão das áreas agrícolas irrigadas, uma vez que a expansão horizontal da agricultura está praticamente esgotada.

2.1 Água e a planta

O fator mais limitante as culturas de verão no Estado do Rio Grande do Sul é a variabilidade da precipitação pluvial, provocando com freqüência baixas disponibilidades hídricas, que ocorre normalmente nos meses de novembro a fevereiro, causando reduções significativas no rendimento de grãos (Matzenauer et

al., 1998a, 1998b, 1999). Geralmente a precipitação pluvial ocorrida neste período é insuficiente para atender as necessidades hídricas das culturas, o que pode ser verificado pelos balanços hídricos normais climatológicos (Maluf et al., 1981). Assim, a antecipação do período de semeadura de culturas de verão, para os meses de julho, agosto e setembro, é uma técnica importante empregada no Rio Grande do Sul, visando evitar a coincidência do período crítico das culturas (floração e enchimento de grãos) com o período de menor disponibilidade hídrica (novembro-fevereiro), minimizando, com isso, os efeitos negativos da deficiência hídrica.

Conforme Ávila (1994), a probabilidade de a precipitação pluvial superar a evapotranspiração potencial nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, em praticamente todo o Rio Grande do Sul, é inferior a 60%, determinando, com isso, alta frequência de ocorrência de deficiência hídrica.

2.2 Água na produção agrícola

A lâmina total de água necessária por uma cultura durante o seu ciclo deve atender as exigências hídricas das plantas em todos os subperíodos do ciclo de desenvolvimento. As necessidades hídricas das plantas variam de um subperíodo para outro, aumentando desde a emergência das plântulas, com valores muito baixos, até o ponto de máxima área foliar onde se observa a maior evapotranspiração (Doorenbos & Kassan, 1979).

Do ponto de vista técnico, a irrigação é uma atividade que tem por finalidade o suprimento de água as lavouras agrícolas. Esse suprimento de água pode ser feito por diferentes métodos de irrigação (Cotrim et al., 1988). Segundo Lewis (1965), embora a água seja um elemento abundante, não tem distribuição uniforme. Desta forma, plantar com garantia de colheita passa pela necessidade de controlar o uso da água nas lavouras, sendo que o primeiro passo é conhecer o ciclo da água, para evitar desperdícios durante a condução e aplicação.

Jensen (1981) conceitua como perda de água de irrigação a diferença entre a água aplicada na irrigação e/ou precipitação e a água evapotranspirada pela cultura durante um determinado período. Este autor apresenta a razão entre a produção final e a lâmina total de água aplicada na cultura como um parâmetro de avaliação

da eficiência do sistema. Entretanto, Viets (1962) sugere a razão entre a produção final e a evapotranspiração da cultura ao longo do seu ciclo de desenvolvimento para avaliar a eficiência do uso da água. Este parâmetro é também utilizado por Howell & Hiller (1995), que sugerem a otimização do sistema através da maximização da eficiência do uso da água ao longo do ciclo de desenvolvimento de uma cultura.

2.3 Intercepção foliar de água na planta

Num manejo adequado da irrigação, a quantidade de água a ser aplicada á cultura é a diferença entre a demanda evapotranspirométrica e a precipitação efetiva. A precipitação efetiva é dependente não somente do conteúdo de umidade do solo, da capacidade de infiltração do solo e das condições de evapotranspiração, mas também da intercepção foliar, que é a quantidade de água que fica retida no dossel vegetativo e que é posteriormente evaporada (Silva et al., 1994).

No caso das culturas anuais, a intercepção da chuva depende da espécie e do estágio de desenvolvimento em que esta se encontra, ou seja, da quantidade de vegetação que cobre o terreno. A precipitação, ao interagir com a vegetação, é redistribuída sob a copa.

A intercepção vem a ser a água retida na superfície dos vegetais, (na forma líquida), indo ou caindo ao solo, através da movimentação das folhas pelo vento ou aumento do peso e inclinação das mesmas. A intercepção diminui o impacto das gotas de chuva sobre o solo, reduzindo sua ação erosiva, demonstrando a necessidade de cobertura vegetal.

Alguns autores, dentre eles Miranda & Butler (1986) e Rao (1987), afirmam que nas regiões temperadas onde a precipitação anual é em torno de 700 mm, a intercepção foliar pode atingir até 50% do total precipitado.

O tipo de vegetação caracteriza a quantidade de gotas que cada folha pode interceptar e o adensamento foliar interfere nas quantidades de água interceptadas num determinado ecossistema. Em geral as folhas interceptam a maior parcela da precipitação incidente, embora em alguns tipos ecossistema, em função da

disposição de seus ramos e do tronco, possam ocorrer significativas retenções da água de chuva precipitada.

A repartição das chuvas por florestas urbanas no Maciço da Tijuca (RJ), mostrou a precipitação interna como sendo equivalente a 89% da precipitação incidente. A interceptação foi estimada em 11%, muito embora não tenham sido amostrados os fluxos de escoamento superficial.

Quanto a aspectos relacionados com a sazonalidade da interceptação em cacauzeiros, se observou que o pico de lançamento foliar do verão teve efeitos sobre a perda média por interceptação de 27% registrada no outono. No inverno, a interceptação média de 23% é devido à presença das chuvas fracas ($\leq 5,5$ mm/dia). No entanto na primavera e no verão, embora com índices de 17% e 13% respectivamente, as perdas por interceptação são associadas ao decréscimo foliar das copas dos cacauzeiros e a principalmente à intensificação dos volumes precipitados e a intermitência das nos meses do verão.

Fatores experimentais também influenciam os resultados encontrados nos estudos destes processos, dificultando a comparação entre locais e ecossistemas. Em termos gerais, pode-se dizer que em florestas tropicais 75 a 96% da precipitação incidente transformam-se em precipitação interna, entre 1 a 2% é convertida em escoamento superficial pelo tronco e entorno de 4 e 24% é em média interceptada pelas copas das árvores.

Em áreas vegetadas a infiltração é favorecida pelas raízes que abrem caminho para a água descendente no solo. A cobertura florestal também exerce importante função no retardamento de parte da água que atinge o solo, através da interceptação, sendo o excesso lentamente liberado para a superfície do solo por gotejamento. Por outro lado, nos ambientes densamente florestados, cerca de 1/3 da precipitação interceptada sofre evaporação antes de atingir o solo.

Na Inglaterra, onde chove regularmente em pequena intensidade pode-se perder até 38% da chuva na forma de interceptação. Interceptação depende da intensidade da chuva, da densidade da cobertura vegetal, do intervalo entre precipitações.

Rao (1987) encontrou um valor médio de 31% relativo às perdas por interceptação foliar, em área reflorestada na Índia, cujo índice de área foliar variava de 1 a 1,15. O autor concluiu que a percentagem de água interceptada foi maior nas precipitações menores. Em chuvas menores ou iguais a 5mm, a percentagem de

água interceptada foi de 22%. Neste trabalho o autor considerou apenas as chuvas menores ou iguais a 25 mm.

Conte & Leopoldo (1986) afirmaram que existem diversos modelos passíveis de serem usados na quantificação da interceptação foliar. Os trabalhos sobre interceptação foliar em florestas e em culturas perenes de grande porte são numerosos. Porém, em culturas anuais, não é muito freqüente encontrar trabalhos sobre assunto. Kelso (1983), nas condições de irrigação por aspersão, em um sistema tipo pivô-central, encontraram, em uma cultura do milho, os seguintes valores relativos à interceptação foliar: 8,1 mm, para uma lâmina bruta de 30,2mm e aspersores rotativos de baixa pressão; 8,1mm para uma lâmina bruta de 35,8mm, para aspersores rotativos de alta pressão; e 1,7mm, para difusores de baixa pressão, com lâmina bruta aplicada igual a 28,4mm. Conte & Leopoldo (1986) fizeram observações da interceptação foliar na cultura o milho, em condições de chuva natural, encontrando, em todo ciclo da cultura, um valor de interceptação de 52,2mm de um total precipitado de 646mm, correspondendo a 8,1% do total precipitado.

Tonello et al. (2004), trabalhando com duas espécies exóticas adaptadas para altas produtividades, chegaram a resultados diversos de interceptação da chuva para o *Eucalyptus* sp e para o *Pinnus* sp. Pesquisas feitas por Arcova et al. (2003) mostraram que, em média, 18,6% da precipitação foi interceptada pela floresta secundária de Mata Atlântica, variando de 11,5% a 46,3%, retornando à atmosfera na forma de vapor. Segundo Soares (2004), “em regiões temperadas 70% da precipitação evapora e apenas 30% vai para os aquíferos ou rios”. Na Inglaterra, onde chove regularmente e em pequena intensidade, a interceptação pode atingir 38% da precipitação.

A interceptação pela liteira é da ordem de 3 a 5 % da precipitação anual. Michele (2007) chegou a dados mais positivos para a interceptação das florestas nos Andes Venezuelanos, em altitude de 2300m, com interceptações chegando a 60% e tendo em média para floresta complexa 45% e 42% para o bosque de *Retrophyllum rospigliosii*. Thomaz (2005) concluiu que a chuva interceptada pela capoeira foi de 52,4%, mais que o dobro do que na floresta secundária, em média, decrescendo exponencialmente. Deste modo, para precipitação diária de até 2,4 mm a interceptação chegou a 67,8%. O autor estimou, por regressão, que a precipitação inferior a 1,8 mm tende a ser totalmente interceptada.

Lima e Leopoldo (1997) apresentam dados muito expressivos de interceptação da chuva pelas plantas; do total de 1899,3 mm precipitado, a parcela de água de chuva por interceptação corresponde, em média, a 37,62%, parcela esta interceptada pela folhagem, pelos ramos, e troncos, retornando à atmosfera na forma de vapor de água, contribuindo para formação de novas precipitações. Apenas 62,4% do total de chuva chegaram ao piso florestal. Somando a parcela de água, que escoia pelos troncos das árvores do dossel superior, com a dos troncos das plantas do sub-bosque, à interceptada, temos 789 mm, ou 41,54% do total. Estes valores representam água retida, ou melhor, água que não contribui para a enchente. Valores similares, acrescidos da serapilheira explicam o baixo escoamento de água de uma floresta, fluxo mais prolongado e de baixa turgidez. As precipitações inferiores a 5 mm, somando 26,40 % do total das chuvas do período, apresentam elevado percentual de interceptação, o que representa grande importância do ponto de vista de retardamento e redução das cheias.

Na Amazônia brasileira, uma pesquisa realizada aplicando-se o método isotópico para evidenciar a recirculação do vapor d'água na região (Salati et al., 1985), indica que o balanço hídrico de uma bacia hidrográfica nas proximidades de Manaus (área coberta com floresta densa) demonstrou que 25% da chuva (que totaliza 2.200 mm/ano) jamais atingem o solo, ficando retidos nas folhas e voltando à atmosfera por evaporação direta; enquanto 50% da precipitação são utilizados pelas plantas, sendo devolvidos à atmosfera, na forma de vapor, por transpiração. Os igarapés, que drenam a bacia hidrográfica, removem os outros 25% da água da chuva. Esses dados indicam que, naquele tipo de floresta densa, 75% da água de precipitação retornam à atmosfera, resultado da influência direta do tipo de cobertura vegetal. Os estudos da bacia amazônica como um todo, incluindo vegetações distintas de cerrado e de regiões montanhosas, indicam que, do total da água precipitada, cerca de 50% saem pelo rio Amazonas e cerca de 50% voltam à atmosfera na forma de vapor, através da evapotranspiração.

Algumas informações já são disponíveis sobre a relação entre água e floresta na Mata Atlântica. Um estudo realizado no Parque Estadual da Serra do Mar em São Paulo (Cicco et al., 1988) quantificou a interceptação da água de chuva por mata natural secundária em uma bacia experimental. A pesquisa evidenciou que 18,23% da água das chuvas que chega à floresta retornam à atmosfera pelo processo de interceptação. O restante atinge a superfície do solo, principalmente pela

precipitação interna (80,65%) e por uma pequena porção de água escoada pelo tronco das árvores (1,12%). Segundo os autores, esses valores são compatíveis com os obtidos em floresta natural secundária em Viçosa (MG) e em floresta de terra firme na Amazônia.

Em um contexto de mata ciliar com uma vegetação do tipo da água de chuva na copa das árvores foi de 37,6%. Isto evidencia que mesmo não sendo Mata Atlântica, a recuperação de matas ciliares, em processo de regeneração para uma floresta diversificada e bem estruturada, cumpre equivalentemente o papel de proteção do solo, amenização climática e regularização do regime hídrico.

A interceptação da chuva pela cobertura florestal representa uma importante parcela de água que cai sob a forma de chuva, retornando parte desta à atmosfera por evaporação antes de chegar ao solo, contribuindo assim diretamente para a massa de vapor de água precipitável na atmosfera. Utilizando a técnica de fracionamento isotópico, Salati et al. (1979) confirmaram o papel da reciclagem da água na bacia Amazônica, mostrando que mais de 50% do vapor d'água que forma nuvens e se precipita é produzido pelo processo de evapotranspiração local.

A interceptação da chuva em florestas tropicais varia consideravelmente, entre 4,5 e 45% (Jordan & Heuvelop, 1981; Read, 1977). No entanto, os resultados do presente estudo para floresta intacta situam-se dentro da faixa de valores encontrados em outros estudos em floresta de terra firme na Amazônia brasileira (25,6 a 11,6%). Além da heterogeneidade florestal e da estrutura morfológica da vegetação variável, o emprego de diferentes metodologias também é apontado por Franken et al. (1982a) como um dos responsáveis pelas diferenças nos dados.

Segundo Tucci (1993), a interceptação da chuva pelo dossel depende de vários fatores: características da precipitação e condições climáticas, tipo e densidade da vegetação e época do ano. Como nas parcelas-controle dos três blocos foi empregado o mesmo sistema de amostragem, acredita-se que o fator que mais contribuiu para a diferença nos resultados de precipitação interna e de interceptação da chuva, ou seja, na variabilidade dos dados, foi à estrutura florestal muito heterogênea na área de estudo (Jardim & Hosohawa, 1987).

A interceptação em florestas vem sendo estudada há mais de um século, sendo numerosa a literatura a respeito. Alguns trabalhos de revisão sobre o assunto podem ser consultados para uma apreciação geral do processo (Reynolds & Leyton, 1963; Helvey & Patric, 1965a; Helvey & Patric, 1965b; Zinke, 1967).

Em florestas de pinheiros vários trabalhos foram também realizados, (Helvey, 1967; Rogerson & Burnes, 1968; Swank, et al. 1972; Smith, 1973; Lima, 1976).

2.4 Plantio direto

O plantio direto é considerado um ótimo sistema de manejo e conservação do solo. Possui como características principais a mobilização mínima, seja para a semeadura como para o controle de plantas invasoras e a presença permanente de uma camada vegetal morta, que age como cobertura do solo. Vários estudos foram conduzidos demonstrando que, de maneira geral, a cobertura vegetal do solo favorece a infiltração da água e diminui as perdas por evaporação em relação ao sistema de cultivo convencional. Conseqüentemente, um maior conteúdo de água armazenado no solo é esperado em áreas cultivadas com o sistema de manejo em plantio direto.

Apesar do solo ser apenas um dos componentes do complexo conjunto dos fatores de produção, ele destaca-se pelo importante papel de fornecer às plantas suporte físico, água e nutrientes. Portanto, o conhecimento de suas características intrínsecas é relevante para julgar o potencial de produção agrícola (Lepsch, 1987). A manutenção das condições físicas dos solos atua na estabilização e no aumento da produtividade dos sistemas agrícolas (Albuquerque et al., 1995).

A adoção do preparo conservacionista de solo denominado plantio direto vem sendo recomendada por parte de pesquisadores e técnicos, em virtude de sua comprovada contribuição para a diminuição da erosão do solo e de problemas relacionados à poluição do ar e da água. A utilização do plantio direto ocasiona, de acordo com inúmeros autores, nas propriedades físicas do solo diretamente relacionadas com a dinâmica da água, quais sejam: a densidade; a porosidade e a distribuição do tamanho de poros; a estrutura e a capacidade de infiltração de água. Não obstante, outras características do plantio direto, como a cobertura permanente e a formação de canais verticais pelas raízes das plantas, são capazes de alterar a magnitude da evaporação da água do solo para a atmosfera e de ocasionar fluxos preferenciais de água através do perfil.

Outro efeito da cobertura morta em plantio direto é a redução das perdas de água por evaporação, em consequência de três aspectos: a) reduz a quantidade de radiação solar direta que atinge a superfície do solo, diminuindo a quantidade de energia disponível para a água do solo mudar do estado líquido para vapor; b) o vapor de água necessita difundir-se através das camadas de restos culturais, o que reduz substancialmente sua perda, quando comparado com as perdas de uma superfície de solo descoberto; c) a camada de resíduos orgânicos atua como isolante térmico, reduzindo a condução do calor para dentro do solo. Como consequência, há maior disponibilidade da água para as plantas, o que já foi confirmado por vários autores (Vieira, 1981; Cruz, 1982; Salton & Mielniczuk, 1995; Stone e Silveira, 1999).

2.4.1 Principais propriedades físicas do solo afetadas pelo plantio direto

2.4.1.1 Porosidade do solo

A porosidade total do solo ou a porção do volume de solo não ocupada por partículas sólidas atualmente está classificada em duas categorias: a microporosidade e a macroporosidade, também referida como porosidade de aeração. Convencionou-se chamar a macroporosidade de porosidade de aeração, porque é a porosidade encontrada no solo na capacidade de campo, isto é, depois do solo ter sido saturado com água e ter ocorrido à percolação da maior parte da água gravitacional, momento em que o ar passa a ocupar os poros não capilares.

Os macroporos possibilitam o movimento livre do ar e da água. Por outro lado, nos microporos, o movimento do ar é dificultado, enquanto que o da água fica restrito principalmente à capilaridade. A predominância de macroporos faz com que o movimento do ar e da água seja rápido, apesar da reduzida porosidade total dos solos arenosos, sendo que em solos de textura mais fina, apesar do total do espaço poroso ser grande, a movimentação de gases e da água relativamente lenta. Nesse caso os microporos, em proporções maiores, mantêm-se muitas vezes cheios d'água. Eltz *et al.* (1989) afirmam que a quantidade e a maneira como os poros estão distribuídos no solo afetam a infiltração de água no solo de forma direta. A aeração, principalmente no subsolo, é geralmente inadequada para que ocorra o

desenvolvimento de raízes e de microrganismos desejáveis. Assim o fator importante a considerar é o tamanho dos poros, e o seu volume em conjunto.

O solo ideal tem sido referido como aquele que apresenta 50% de macroporosidade e 50% de microporosidade. Considerando, entretanto, que as raízes podem se desenvolver com porosidade de aeração acima de 10%, e, que o conteúdo de água armazenada deve ser maior que o de ar, o solo ideal passa a ter um terço de macroporos para dois terços de microporos. Tais solos garantiriam suficiente aeração, permeabilidade e capacidade de retenção de água (Kiehl, 1979).

2.4.1.2 Densidade do Solo

É um parâmetro utilizado para exprimir o peso do solo, sendo definida como a massa de uma unidade de volume de solo seco, levando-se em conta o volume total do solo, incluindo o volume ocupado pelos sólidos e pelos espaços porosos em conjunto. Kiehl (1979) define a densidade global como “a relação existente entre a massa de uma amostra de solo seca a 110°C e a soma dos volumes ocupados pelas partículas e pelos poros”. A densidade global é variável e depende da estrutura e da compactação do solo; quanto menos estruturado e mais compactado maior sua densidade global.

A tendência que as partículas dos solos arenosos apresentam de permanecer em contato íntimo, em conjunto com o menor teor de matéria orgânica, faz com que esses solos possuam densidades globais elevadas. Por outro lado, as partículas dos solos argilosos não se mostram tão unidas entre si. Ademais, a granulação contribui para que os valores de densidade global dos solos argilosos sejam reduzidos.

2.4.1.3 Estrutura do solo

Conforme Brady (1983), estrutura é um termo de campo utilizado para descrever a agregação ou distribuição total das principais estruturas granulométricas do solo. Kiehl (1979), por sua vez, afirma que a estrutura do solo é de grande importância para a vida vegetal. Assim, por exemplo, o gás carbônico do ar atmosférico, pelo fenômeno da fotossíntese, penetra pelas folhas dos vegetais, toma parte no metabolismo e é eliminado em grande parte pelas raízes. A penetração e distribuição das raízes no solo são variáveis, segundo a estrutura que ele apresenta.

Quando o solo não é bem estruturado, a água e o oxigênio não são fornecidos de maneira adequada ao desenvolvimento das plantas e, os nutrientes, mesmo em quantidades suficientes, não são absorvidos. A estrutura do solo é uma propriedade que atua como importante fator na aeração, garantindo um fluxo de oxigênio capaz de contrabalançar o excesso de gás carbônico da atmosfera do solo, eliminado pelas raízes e microrganismos.

2.4.1.4 Retenção de água pelo solo

Muitos fatores afetam a retenção de água pelo solo, onde a textura é tida como o principal fator por determinar a área de contato entre as partículas sólidas e a água e também estabelecer, juntamente com a estrutura, as proporções de poros de diferentes tamanhos (Kiehl, 1979; Reichardt, 1990). O arranjo das partículas ocorre em função da estrutura, que desta forma afeta a retenção de água, pois determina a distribuição de tamanho de poros. A porosidade em solos bem estruturados é maior do que em solos compactados, o que poderá resultar em maior capacidade de retenção de água. Solos compactados podem apresentar maior proporção de microporos, o que tende a reter a água do solo mais fortemente.

A curva característica de umidade para solos argilosos e arenosos demonstra uma diminuição gradual na tensão da água do solo com o aumento da umidade, e vice-versa (Brady, 1983), ou seja, para um mesmo nível de tensão, solos argilosos retêm maior quantidade de água do que solos arenosos. Do mesmo modo, a um determinado teor de umidade, a água é retida com muito mais tenacidade nos solos argilosos, quando comparados aos solos arenosos. Grande parte da água de solos argilosos é retida com tal força que não pode ser absorvida pelas plantas em crescimento.

2.4.1.5 Capacidade de infiltração de água do solo

Infiltração é o processo pelo qual a água penetra no solo, através de sua superfície (Reichardt, 1990; Bernardo, 1995; Libardi, 1995). Esse processo ocorre porque a água da chuva ou da irrigação possui um potencial total maior do que aquele verificado para a água do solo, sendo esse último tão menor quanto mais seco estiver o solo. No início da infiltração, estando o solo relativamente seco, o

gradiente de potencial total da água é expressivo, principalmente em função do potencial matricial, o que resulta em valores elevados de infiltração. Ao longo do processo, entretanto, ha diminuição no gradiente do potencial matricial e o gradiente de potencial total da água passam a ser igual ao gravitacional, que é relativamente pequeno em relação ao início do processo. Entretanto, quando o movimento da água ocorre por meio de poros grandes, o potencial matricial é desprezível e o gravitacional constitui o principal componente da força que governa a infiltração vertical.

A infiltração representa o volume de água que passa por uma unidade de área, perpendicular ao movimento, em uma unidade de tempo. Assim, a taxa de infiltração é dada por comprimento pela unidade de tempo, geralmente utilizando-se mm s^{-1} , cm h^{-1} ou cm dia^{-1} (Hillel, 1970).

Bernardo (1995) relata que a taxa de infiltração depende diretamente da textura e da estrutura dos solos. Em solos arenosos ou argilosos com partículas bem agregadas, a maior percentagem de poros grandes propicia maiores taxas de infiltração. Com relação à água, sua qualidade e temperatura são as principais causas de variação da infiltração. Ademais, outras causas decorrem do método utilizado para a medição da infiltração.

2.5 Plantio convencional

O preparo convencional do solo ocorre em duas etapas. Na primeira, preparo primário, faz-se a operação inicial de mobilização do solo, em maior profundidade, visando eliminar ou enterrar as plantas daninhas e os restos culturais e também revolver o solo com vistas a facilitar o crescimento inicial de raízes e infiltração de água. A segunda etapa é constituída por operações superficiais subseqüentes ao preparo primário, que são feitos normalmente com grade, ou seja, nivelamento e destorroamento do terreno, incorporação de herbicidas e, principalmente, eliminação

de invasoras, de forma a permitir um ambiente favorável ao plantio e ao desenvolvimento inicial das plantas.

O preparo do solo deve ser efetuado em condições de friabilidade, condição na qual ele apresenta baixa resistência e alta a moderada capacidade de suporte de carga e resistência à compressão.

A alternância de implementos de preparo do solo, que trabalhem a diferentes profundidades e possuam diferentes mecanismos de corte, além da observância do teor adequado de umidade para a movimentação do solo, é de relevante importância para minimizar sua degradação. Assim, recomenda-se por ocasião do preparo do solo, alternar a profundidade de trabalho, a cada safra agrícola e, se possível utilizar alternadamente os implementos de discos lisos e recortados (Resende et al., 2003).

2.6 Simulador de chuva - Intensidade de precipitação

Simuladores de chuva são ferramentas de pesquisa projetadas para aplicar água de forma similar às chuvas naturais. Contudo, as características da chuva devem ser simuladas adequadamente, os dados de escoamento superficial e erosão, analisados cuidadosamente e os resultados, interpretados sensatamente, para se obter informações de confiança para as condições em que as chuvas simuladas são aplicadas (Meyer, 1994). As características desejáveis para que um simulador de chuvas seja adequado a estudos hidrológicos e de erosão do solo são aquelas das chuvas naturais, mais notadamente o tamanho, distribuição, velocidade terminal de gotas e intensidade de aplicação (Silveira & Salvador, 2000).

Estudos sobre o efeito das chuvas em atributos do solo são difíceis de serem realizados com chuva natural, pois não se tem controle sobre a duração, intensidade, distribuição e tipo de chuva. Uma alternativa que se apresenta é a utilização de simuladores de chuvas que permitem controlar as suas características. Os simuladores têm a vantagem de poderem ser utilizados a qualquer momento. Este tipo de equipamento já vem sendo utilizado em estudos de manejo de solos há

bastante tempo. Já foram construídos vários modelos e atualmente existem alguns totalmente controlados por computador.

Os trabalhos de perdas de solo e água utilizando aparelho simulador de chuvas são uma maneira de apressar a obtenção de dados importantes para a viabilização ou práticas de manejo do solo e culturas, visando a conservação do solo e da água.

Em três microbacias sob cultivo convencional no Mississippi (USA) Binger et al. (1992), trabalharam com dez anos de registro de precipitações e perdas de solo e água. Eles concluíram que 50% das perdas de solo e água foram devido a chuvas com precipitação total maior que 50 mm e os eventos com precipitações inferiores a 25 mm produziram menos de 20% das perdas de solo e água registrados. Relataram também, que as chuvas com precipitações totais menores que 14 mm foram insignificantes no que diz respeito às perdas de solo e água. Porém, verificaram que essas chuvas influenciam o teor de umidade do solo, sendo este um fator que interfere nas perdas de solo e água nas chuvas mais intensas. A intensidade da chuva é um dos fatores determinantes nas taxas de perdas de solo (Goff et al., 1994).

2.7 Cultura do milho

O milho é um vegetal que pertence ao gênero *Zea* e a espécie *Zea mays* L. O Brasil é o terceiro maior produtor mundial, superado pelos Estados Unidos e pela China, os quais são responsáveis por 70% da produção mundial. O consumo mundial é estimado em cerca de 583 milhões de toneladas, dos quais 183 milhões são consumidos nos Estados Unidos, que também são os maiores exportadores desse cereal (Resende et al., 2003). O milho apresenta grande importância na produção agrícola do Brasil, com destaque especial para a região Sul, participando com cerca de 33% da produção gaúcha de grãos (IBGE, 2001).

A produção de uma cultura esta relacionada, em primeiro lugar, com a genética da planta, que pode ser responsabilizada por aproximadamente 60% da

expressão da produtividade. Os 40% restantes podem ser atribuídos ao ambiente (clima, solo, água, etc.). As práticas de manejo cultural podem influenciar direta ou indiretamente muitos dos fatores ambientais; um bom exemplo é a irrigação.

Segundo Lupatini (1999), a cultura do milho no Brasil, pode ser considerada a mais importante, tanto sob o aspecto econômico quanto social. O milho é cultivado em todo o Brasil, sendo a região Sul a maior produtora. A produtividade do milho, como a de qualquer cultura, está relacionada diretamente com as condições de solo, do meio ambiente e do potencial genético. O planejamento agrícola, a fertilidade do solo, a população de plantas e o manejo da cultura são os principais fatores causadores do reduzido rendimento de grãos de milho tanto no Brasil como no RS.

A baixa disponibilidade hídrica é, com freqüência, fator limitante à obtenção de altos rendimentos pela cultura do milho no Estado do Rio Grande do Sul. A quantidade de água presente no solo assume vários graus de importância, dependendo da quantidade e da distribuição das precipitações pluviométricas durante a estação de crescimento e também do estágio de desenvolvimento em que se encontra a cultura no período de déficit hídrico. Quando não existe déficit hídrico, o consumo de água pela cultura é determinado basicamente pela demanda evaporativa da atmosfera. Existindo deficiência hídrica ocorre uma relação entre a demanda evaporativa e as características do solo (Matzenauer & Sutili, 1983).

No Rio Grande do Sul, a época de semeadura do milho é variável com a região agroclimática, iniciando em agosto e podendo estender-se em algumas regiões até dezembro e início de janeiro. A época preferencial para a maioria das regiões é o mês de outubro, tanto para cultivares precoces como as tardias.

O cultivo do milho pode ocorrer em todo o Estado do Rio Grande do Sul, variando o rendimento dos grãos entre os anos e as regiões, causadas principalmente pela ocorrência de deficiências hídricas durante o desenvolvimento da cultura. O regime de precipitação pluvial apresenta-se com distribuição irregular, com estiagens que podem ser prolongadas, originando a deficiência hídrica, principal fator limitante a obtenção de altos rendimentos de grãos de milho (Carlesso et al., 2001).

Conforme Fancelli (2001) o potencial produtivo do milho é definido por ocasião da emissão da 4ª folha, podendo se estender até a 6ª, dependendo do tipo de material, sendo que neste estágio a planta não pode ser submetida a nenhum

tipo de estresse, principalmente aquelas relacionadas ao suprimento de água e disponibilidade de nutrientes.

Fancelli & Dourado-Neto (1997) indicam que a cultura do milho exige um mínimo de 400-600 mm de precipitação pluvial para que possa manifestar seu potencial produtivo, sendo que a evapotranspiração, freqüentemente, oscila entre 4 e 6 mm dia⁻¹. Mas o período compreendido entre a fase de emborrachamento/pendoamento e grãos leitoso, caracteriza-se como a mais sensível ao estresse hídrico, resultando em perda significativa e irreversível de produção.

O período mais sensível ao déficit hídrico no solo às plantas de milho corresponde ao subperíodo compreendido entre 10 dias antes do pendoamento até 10 dias após o final do pendoamento. As deficiências hídricas neste subperíodo acarretam acentuadas e irreversíveis decréscimos no rendimento de grãos (Medeiros et al., 1991). Os autores indicam que os suprimentos hídricos adequados durante este subperíodo determinam a obtenção de rendimento de grãos mais elevados.

2.7.1 Déficit hídrico e a produção do milho

O milho é relativamente tolerante ao déficit hídrico durante a fase vegetativa, porem demonstra extrema sensibilidade com o decréscimo no rendimento de grãos se o déficit hídrico ocorrer na fase de florescimento e enchimento de grãos (Kasele et al., 1994). A conseqüência primária do déficit hídrico no rendimento de grãos ocorre devido à redução na expansão das folhas, a redução do aproveitamento dos nutrientes do solo e a redução na área fotossintética das plantas (Claassen & Shaw, 1970). Denmead & Shaw (1960) revelaram que a ocorrência de déficit hídrico se reflete em decréscimo de produção de milho em 25% antes da emissão dos estigmas e 50% na fase de florescimento.

Em estudos dos efeitos do déficit hídrico na cultura de milho, Robins & Domingo (1953) encontraram diferenças significativas entre os diferentes subperíodos do ciclo de desenvolvimento das plantas. Quando o conteúdo de água no solo atingiu valores próximos ao ponto de murcha permanente durante o subperíodo de floração por um período de um a dois dias, as reduções no

rendimento de grãos foram de 22%. Para durações do déficit hídrico de seis dias as reduções no rendimento de grãos foram de 50%. Denmead & Shaw (1960) reportaram que, as maiores reduções no rendimento de grãos de milho foram dos tratamentos submetidos a déficit hídrico a partir da emergência das plântulas até uma semana após o pendoamento.

Vários estudos sugerem que o déficit hídrico durante o crescimento vegetativo reduz a área foliar (Acevedo et al., 1971; NeSemith & Ritchie, 1992) e a massa de folhas e colmo (Denmead & Shaw, 1960 e Eck, 1994). Eck (1994) avaliou os efeitos da aplicação de diferentes intervalos e duração do déficit hídrico nos subperíodos do ciclo de desenvolvimento da cultura de milho. A aplicação do déficit hídrico a partir dos 41 dias após a semeadura do milho reduz o rendimento da massa seca de folhas, colmo e sabugo. Quando o déficit hídrico foi imposto aos 55 dias após a semeadura, somente ocorreu diminuição no rendimento da massa seca de colmo e sabugo. O autor indica que o déficit hídrico durante o subperíodo de enchimento de grãos não afetou a massa seca de folha e colmo, salientando ainda que o número de grãos não foi afetado pelo déficit hídrico ocorrido durante o subperíodo de enchimento de grãos.

A relação entre o rendimento de milho e consumo de água foi estudada por Barret & Scogerboe apud Soares (1996). Os autores aplicaram déficit hídrico durante o crescimento vegetativo e de enchimento de grãos alternadamente, num total de oito tratamentos. As parcelas sem déficit hídrico atingiram em média 8113 kg ha⁻¹, porém o tratamento que não recebeu irrigação no último subperíodo do ciclo de desenvolvimento apresentou rendimento de 8403 kg ha⁻¹. As reduções no rendimento de grãos foram maiores nas plantas submetidas a déficit hídrico durante o pendoamento.

Diversos são os trabalhos apresentados na literatura sobre o manejo da água de irrigação com a aplicação de diferentes lâminas de irrigação (Steele et al., 1994, Camp et al., 1988, Carlesso et al., 2000). Braunworth & Mack (1987) aplicaram diferentes reposições da lâmina de irrigação (0 até 100%) para a cultura de milho, quando o valor da capacidade de água disponível no solo às plantas atingia um valor aproximado de 50%. Os autores não encontraram diferenças no rendimento de grãos quando foram aplicadas lâminas de irrigação acima de 50% do valor de reposição. Lamm et al. (1995) estudando o efeito da reposição diária de distintas lâminas de irrigação a partir de dados de ET_{md}, concluíram que o rendimento

máximo de grãos foi alcançado com aplicação de 75% da ETmd, não diferindo daquele com aplicação de 100 e 125% da ETmd.

Aplicações de irrigação nos subperíodos de pendoamento e enchimento de grãos, com lâminas de 20 e 40 mm em intervalos de 5 e 10 dias estudadas por Cabelguenne et al. (1995), indicaram rendimentos de grãos mais elevados e maior retorno econômico quando as irrigações foram aplicadas no pendoamento.

Stegman (1986) comparou o rendimento de grãos de milho submetido a diferentes manejos da água de irrigação aplicando déficit hídrico em cada subperíodo do ciclo de desenvolvimento das plantas. Nesse trabalho as irrigações foram baseadas na ETmd da cultura, repondo a lâmina da água extraída do solo quando o valor da capacidade da água disponível no solo às plantas atingia valor entre 60 e 70%. O autor não encontrou diferenças entre os diferentes manejos da água de irrigação no rendimento de grãos, salientando ainda, que os tratamentos nos quais foram aplicados déficits hídricos tiveram uma redução no rendimento de grãos de 5% em relação à testemunha, obtendo reduções na lâmina de irrigação de 23 e 30% (em relação à testemunha) para solos de textura argilosa e franca, respectivamente.

A cultura do milho em média exige entre 350-500 mm de precipitação (Potafos, 1996) para que produza satisfatoriamente, sem a necessidade de irrigação. Segundo Fancelli (2001), a cultura do milho exige um mínimo de 400-600 mm de precipitação pluvial para que possa manifestar seu potencial produtivo, sem a utilização da irrigação, sendo que seu uso consultivo, freqüentemente, oscila entre 4 - 6 mm dia⁻¹. Entretanto, no subperíodo entre o pendoamento e a maturação fisiológica o consumo pode chegar a 5 - 7 mm dia⁻¹. Araujo et al. (1999) encontraram uma resposta linear entre o rendimento de grãos e lâminas de irrigação, obtendo uma produção máxima de 4900 kg ha⁻¹ com a aplicação de uma lâmina total acumulada de 519,8 mm de água.

2.8 Cultura do feijão

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é a espécie mais cultivada no gênero *Phaseolus*, contribuindo com cerca de 95% da produção mundial entre

feijões, sendo cultivado em 100 países, destacando-se a Índia, Brasil, China, Estados Unidos e México, responsáveis por cerca de 63% do total produzido (IBGE, 1990).

O Brasil é o maior produtor e consumidor mundial de feijão, além deste representar uma das principais fontes protéicas da população brasileira. Seu consumo per capita esta em torno de 16 Kg/habitante/ano e a produção nacional está ao redor de 2,2 a 2,5 milhões de toneladas em aproximadamente 5 milhões de hectares cultivados.

No Rio Grande do Sul, o rendimento de grãos do feijoeiro é em torno de 700 kg ha⁻¹, totalizando uma produção em torno de 12.000 t ano⁻¹, podendo ocorrer variações tanto na área cultivada, quanto no rendimento de grãos, principalmente devido a variações nas condições meteorológicas. A região sul liderou a produção brasileira de feijão na safra 1998/99, com quase 1 milhão de toneladas de grãos produzidas (IBGE,1999).

O cultivo do feijoeiro pode ser realizado em todo o Estado do Rio Grande do Sul, variando os rendimentos e os riscos climáticos com as condições climáticas, como a época de semeadura e entre regiões. As regiões ideais para cultivo de feijão devem possuir temperatura média, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura entre 20 e 22°C, sendo a considerada ótima de 21°C.

O maior volume de produção de feijão no Sul do Brasil é obtido na safra principal, cuja implantação tem início nos meses de agosto a outubro, sendo a colheita realizada no período de novembro a dezembro. Portanto, o ciclo de desenvolvimento da cultura ocorre numa época com possibilidade de ocorrência de déficit hídrico, principalmente nos meses de novembro e dezembro. Por isso, há necessidade de irrigações complementares, em função da sua alta sensibilidade à deficiência hídrica, principalmente nos subperíodos reprodutivos.

Esta cultura apresenta grande sensibilidade, tanto à deficiência quanto ao excesso hídrico, principalmente na fase de florescimento. O déficit hídrico no solo é crítico, principalmente no sub-período compreendido entre o início do florescimento e enchimento de grãos (Massigman, 1998), existindo efeito interativo com a temperatura. A exigência hídrica do feijão, da semeadura até a maturação fisiológica, situa-se entre 300 a 400 mm, uniformemente distribuídos (Bergamaschi et al., 1989; Faria et al. 1997). Lopes (1989), trabalhando com a cultura do feijoeiro,

observou que o valor do coeficiente da cultura aumentou em decorrência do crescimento da área foliar.

Estudos de evapotranspiração do feijoeiro foram realizados em vários locais, por diferentes pesquisadores e os resultados obtidos tem demonstrado efeito das diferenças climáticas e das variedades em que foram realizadas as medições. Doorenbos & Kassan (1979) estimaram a demanda hídrica do feijoeiro na faixa de 300 a 500 mm para obter rendimentos máximos, sendo que Valadão & Klar (1996) verificaram um consumo médio de 348 mm e media diária de $3,75\text{mm dia}^{-1}$ para o feijoeiro semeado em 22/08/94 em Botucatu – SP, utilizando o método do lísimetro. Guandique (1993) obteve valores totais de 190 mm e médios de $2,1\text{mm dia}^{-1}$, para semeadura em maio, em Piracicaba-SP. Santos & André (1992) obtiveram valores de evapotranspiração de 317,3mm para semeadura no mês de janeiro, em Piracicaba.

Os trabalhos de Jadoski (1999) demonstram que as diferentes populações de plantas e espaçamento entre linhas de cultivo não ocasionam alterações no rendimento de grãos e massa de mil sementes. No entanto, o número de sementes por vagem e de vagens por planta, área foliar, altura de plantas e o número de nós na haste principal aumentam linearmente com a redução da população de plantas. Jadoski (1999), obteve-se o ponto de máxima eficiência técnica com 235.000 plantas ha^{-1} para a cultivar BR IPAGRO 44 (Guapo Brilhante) em Santa Maria. A cultivar BR IPAGRO 44 (tipo II), apresenta plasticidade dos componentes do rendimento de plantas, ou seja, em menores populações tendem a compensar o rendimento de grãos com o aumento de produção por planta (Jadoski, 1999).

Quando se trata de manejo da irrigação, vários fatores são determinantes para definir a frequência e a quantidade de irrigação a ser adotada. Esses fatores são: distribuição do sistema radicular da planta, capacidade de infiltração do solo, drenagem, capacidade de armazenamento, evapotranspiração da cultura e pelo manejo do solo. Portanto, a utilização de métodos baseados na estimativa da evapotranspiração para determinar as reduções de disponibilidade de água no solo às plantas, permite excelentes estimativas do requerimento de irrigação pelas culturas (Ritchie & Johnson, 1990). Então, neste caso, o manejo da irrigação baseia-se na reposição da lâmina de evapotranspiração máxima acumulada da cultura. Segundo Carlesso (1998), este tipo de manejo da irrigação apresenta vantagens, pois possibilita determinar o momento e a quantidade de água de irrigação a ser

aplicada, de maneira simples, acessível requerendo pouca qualificação de pessoal e possibilita a opção de automação de leituras. Nos cultivos em sucessão o feijoeiro é a melhor opção de cultivo na estação quente, indicando-se como alternativa o milho em sucessão ao feijão.

2.9 Densidade e arranjo populacional

A otimização do potencial produtivo do milho depende da duração do período de interceptação da radiação solar incidente, da eficiência de uso da radiação interceptada na fotossíntese e da distribuição adequada dos fotoassimilados produzidos às diferentes demandas da planta (Argenta et al., 2003). A densidade e o arranjo de plantas têm grande importância na interceptação e na eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelo dossel à produção de grãos. Esse efeito é mais significativo no milho do que em outras gramíneas, em função de características morfológicas, anatômicas e fisiológicas da planta (Sangoi, 2001).

O arranjo de plantas pode interferir sobre o crescimento e desenvolvimento do milho mediante variações na densidade populacional, no espaçamento entre linhas e na distribuição espacial e temporal de indivíduos na linha (Argenta et al., 2001a).

O incremento na densidade de plantas é uma forma de maximizar a interceptação da radiação solar. Contudo, também pode reduzir a atividade fotossintética da cultura e sua eficiência de conversão dos fotoassimilados à produção de grãos, aumentando o intervalo entre o florescimento masculino e feminino e reduzindo o número de grãos por espiga (Sangoi et al., 2003).

Trabalhos desenvolvidos por Duvick & Cassman (1999), nos Estados Unidos, Tollenaar & Lee (2002) no Canadá, e Sangoi et al. (2002a) no sul do Brasil demonstraram que os híbridos contemporâneos de milho são mais tolerantes às altas densidades de plantas do que os genótipos utilizados no passado. Esse avanço foi obtido utilizando-se como critério de seleção o rendimento de grãos das futuras cultivares em populações superiores às recomendadas na lavoura (Bolaños & Edmeades, 1996).

A disponibilidade de água é o principal fator que afeta a escolha da densidade ótima de plantas (Loomis & Connors, 1992). Quando há alta probabilidade de falta de umidade durante a floração da cultura, deve-se diminuir a densidade para que o solo possa suprir as plantas com suas reservas hídricas (Andrade et al., 1996). Estandes adensados só devem ser recomendados em regiões com alta precipitação pluvial ou sob irrigação e com alto nível de manejo.

No Brasil, rendimentos elevados têm sido obtidos com a utilização de 55.000 a 72.000 plantas ha⁻¹, adotando-se espaçamentos variáveis entre 80 a 45 cm, apresentando 2,5 a 4,5 plantas por metro, devidamente arranjadas de forma a minimizar as relações de competição por fatores de produção.

O incremento na população de plantas aumenta a incidência de doenças foliares, de colmo e de espiga na cultura do milho (Casa & Reis, 2003). Com densidades elevadas, há menor circulação de ar no interior do dossel, o que favorece um período mais prolongado de deposição de orvalho nas folhas, estimulando a germinação de esporos de fungos que ocasionam doenças foliares, principalmente daqueles que são exigentes em período de molhamento (Sangoi et al., 2003).

O melhor arranjo é aquele que proporciona distribuição mais uniforme de plantas por área, possibilitando melhor utilização de luz, água e nutrientes. Os principais fatores que influenciam a escolha do arranjo de plantas de milho são: cultivar, objetivo do produtor, nível tecnológico, época de semeadura e duração da estação de crescimento na região de cultivo. Híbridos mais precoces (ciclo mais curto) requerem maior densidade de plantas em relação aos de ciclo normal para atingir seu potencial de rendimento (Mundstock, 1977a; Silva, 1992; Tollenaar, 1992). Isso se deve ao fato de os híbridos mais precoces (superprecoces) geralmente apresentarem menor estatura, folhas menores, menor área foliar por planta e menor sombreamento do dossel da cultura (Mundstock, 1977a; Sangoi, 2000).

Estas características morfológicas possibilitam a adoção de menor espaçamento entre plantas na linha e, conseqüentemente, de maior densidade de plantas. Esses híbridos normalmente requerem maior densidade de plantas para a maximização do rendimento de grãos, por necessitarem de mais indivíduos por área para gerar índice de área foliar capaz de potencializar a interceptação da radiação solar (Sangoi, 2000). O incremento no rendimento de grãos resultante da utilização

de menores espaçamentos é devido à melhor distribuição de plantas na lavoura, que evita a excessiva concorrência por luz dentro da fila, a qual ocorre somente quando a densidade de plantas é alta. A redução no espaçamento entre linhas é mais efetiva, quando utilizados híbridos de menor porte, pois esses demoram em fechar o espaço entre linhas e, muitas vezes, nem conseguem sombrear toda a área (Mundstock, 1977b, Argenta et al., 2000).

2.10 Espaçamento entre linhas

A interceptação da radiação fotossinteticamente ativa pelas culturas exerce grande influência na produtividade do milho quando outros fatores ambientais são favoráveis (Ottman & Welch, 1989). Além da elevação da densidade de plantas, outra forma de aumentar a interceptação da radiação é através redução no espaçamento entre linhas.

Outro efeito da redução do espaçamento entre linhas de milho relaciona-se à qualidade de luz recebida pelas plantas. Com a disposição mais uniforme entre plantas em espaçamentos menores, ocorre maior absorção de luz na faixa do vermelho (V) e maior reflexão de luz na faixa do vermelho extremo (VE). Esta característica é especialmente importante para o milho em densidades elevadas, pois, nestes casos, as plantas recebem mais luz VE refletida, aumentando a relação VE/V. Esta variação na qualidade de luz recebida determina algumas modificações no desenvolvimento da plantas como: maior alongação do colmo, folhas mais compridas e finas e elevada perda de raízes (Kasperbauer & Karlen, 1994).

O efeito teórico da redução do espaçamento entre fileiras sobre o aumento da produtividade de grãos confirma-se por alguns experimentos de campo. Já na década de 70, Mundstock (1977) constatou aumentos entre 5 e 10% na produtividade de grãos de milho obtidos com uso de espaçamentos menores (0,5 e 0,7m) do que os convencionalmente utilizados (0,8 a 1,0m). Em trabalho conduzido em Lages-SC, Sangoi et al. (2001) verificaram aumento linear de produtividade de grãos com a redução do espaçamento de 1,0m até 0,5m, em estudo que utilizou dois genótipos de milho. Por outro lado, em Eldorado do Sul-RS. Argenta et al. (2001a) detectaram que o aumento na produtividade de grãos com a redução do

espaçamento entre fileiras foi evidente somente em híbridos de ciclo superprecoce e com baixa estatura. Resultados semelhantes foram obtidos em Canoinhas-SC, onde se constatou aumento linear na produtividade de grãos em híbrido superprecoce e com baixa estatura com redução do espaçamento de 1,0 a 0,4m; mas, para variedade tardia e com elevada estatura de planta esse comportamento não foi observado (Balbinot & Fleck, 2005).

A capacidade de tolerar a competição entre plantas varia de acordo com a cultivar empregada. Pode-se dizer que, de uma maneira geral, a cultivares de ciclo mais curto desenvolvem menores numero de folhas e estatura, apresentando menor auto-sombreamento. Com isto podem suportar maiores numero de plantas por unidade de área, em relação a cultivares de maior massa vegetativa (Mundostock e Silva, 1989).

Os efeitos da redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos do milho são bastante heterogêneos. No Sul do Brasil, incrementos de 5% a 8% foram reportados por Sangoi et al. (2001b) e Peixoto (2002) com a redução no espaçamento de 80-100 cm para 45-50 cm. Três fatores interferem na resposta à redução do espaçamento em regiões subtropicais: época de semeadura, cultivar e densidade. Os benefícios dessa prática cultural são potencialmente maiores quando o milho é semeado no início da estação de crescimento no Sul do Brasil (agosto-outubro). O efeito positivo da redução do espaçamento entre linhas sobre o rendimento de grãos se manifesta mais claramente quando são utilizadas altas densidades populacionais. Nesses casos, os espaçamentos convencionais (80 a 100 cm) fazem com que as plantas fiquem muito próximas entre si no sulco de semeadura (10 a 20 cm), aumentando a competição por água, luz e nutrientes e limitando a disponibilidade de carboidratos à produção de grãos.

Observa-se que a adoção de espaçamentos entre linhas reduzidos na cultura do milho tem três limitações importantes: a primeira é a de que seu uso nem sempre traz benefícios à produtividade da cultura. Trabalhos desenvolvidos por Merotto Júnior (1999) e Strieder et al. (2006) demonstraram que o benefício da utilização de linhas mais próximas sobre o rendimento de grãos é altamente dependente do genótipo, da densidade de plantas e das condições ambientais; a segunda é o incremento no custo de produção, devido à necessidade de aquisição de plataformas adaptadas à colheita com linhas mais próximas; a terceira é a maior

dificuldade para realização de tratos culturais em pós-emergência, tais como adubação nitrogenada de cobertura e controle da lagarta do cartucho.

O maior problema para o cultivo do feijão, em lavouras empresariais, reside na dificuldade de mecanização da colheita, devido a elevadas perdas que ocorrem no processo. Isso acontece porque a maioria das cultivares de feijão existente atualmente possui baixa altura de inserção de vagens, concentradas nos 2/3 inferiores da planta, e também altos índices de acamamento (Silva & Bevitori, 1994). Isso impede a utilização de colheitadeiras tradicionais em face da elevada perda com a operação de colheita (Alcântara et al., 1991). A planta ideal de feijão para a colheita mecanizada conforme Simone et al. (1992), é a que tem altura superior à 50cm; de porte ereto do tipo I ou II; resistência ao acamamento; ramificação compactada, com 3 ou 4 ramificações primária, cujo ângulo de inserção seja agudo, positivo; vagens concentradas sobre o ramo principal e sobre os 2/3 superiores da planta, vagens indeiscentes com mais de 6 a 8 cm de comprimento, maturação uniforme e boa desfolhe natural por ocasião da colheita.

Na cultura da soja, que apresenta similaridades com o feijão quanto a arquitetura da planta, manejo de cultivo e hábitos de crescimento, já está bem definido que a altura da planta, altura de inserção das primeiras vagens e índice de acamamento, normalmente aumentam com o aumento na população de plantas (Costa et al., 1971; Queiroz, 1975; Espindola, 1978).

Alcântara et al. (1991) observaram que o aumento da população de plantas aumentou a altura de inserção de vagens, enquanto Medina (1992) não observou efeito da população sobre a altura de inserção da primeira vagem. Dutra et al. (1977) verificaram que o aumento do espaçamento reduziu a altura de inserção da primeira vagem e aumentou a altura das plantas. Cunha e Oliveira (1978) constataram que a variação na população de plantas não afetou a altura de plantas. Já Moura et al. (1977) verificaram que o espaçamento não afetou a altura de planta. A cultura do feijão mostra-se tolerante a uma grande variação na população de plantas/ha sem sofrer alterações no rendimento de grãos. Dariva et al. (1975) não encontraram efeito de variação no espaçamento sobre o rendimento de grãos, enquanto Santa Cecília et al. (1974) e Rocha (1991) constataram que a redução do espaçamento aumentou o rendimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Clima, local e solo.

Dois experimentos foram conduzidos simultaneamente, em área experimental do Departamento de Engenharia Rural, da Universidade Federal de Santa Maria, RS, no ano agrícola de 2006/2007. A área experimental localiza-se na latitude 29° 41' 24"S e longitude de 53° 48'42"W. O clima da região fisiográfica da Depressão Central é classificado como subtropical úmido, classe "Cfa", segundo a classificação de Koppen (Moreno, 1961). A precipitação média anual da região varia entre 1322 e 1769 mm. O solo é classificado como Argissolo Vermelho distrófico arênico (Embrapa, 1999b). A análise granulométrica foi realizada conforme metodologia descrita pela Embrapa (1997).

3.2 Tratamentos e delineamento experimental

O delineamento experimental da cultura do milho foi um bifatorial (2 x 4) onde o fator espaçamento está constituído de 45 e 75 cm entre linhas e o fator B foi à quantidade de palha na superfície do solo (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹) (Figura 1), com três repetições (croqui no Anexo 1). O experimento do feijão foi dividido em blocos ao acaso com três repetições. As parcelas experimentais tinham dimensões 1 m x 1,8 m para o feijão (Anexo 2) e milho com espaçamento de 45 cm entre linhas (Anexo 4) e de 1 m x 3 m para o milho com espaçamento de 75 cm entre linhas (Anexo 3). Entre plantas, o espaçamento do milho (45 cm entre linhas) foi de 3 pl/m linear para manter a densidade de 60.000 plantas por hectare, enquanto que no milho com espaçamento de 75 cm entre linhas, esse era de 5 pl/m linear. Na cultura do feijão, com densidade de 220.000 plantas por hectare, o espaçamento era de 10 pl/m linear (Tabela 1).



Figura 1. Visualização do experimento na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2006.

Tabela 1. Tratamentos para as culturas do feijão e milho.

Tratamento	Quantidade de palha (t)	Espaçamento (cm)
1	0	45
2	2	45
3	4	45
4	6	45
Tratamento	Quantidade de palha (t)	Espaçamento (cm)
1	0	45
2	2	45
3	4	45
4	6	45
5	0	75
6	2	75
7	4	75
8	6	75

As precipitações simuladas foram aplicadas utilizando-se um simulador estacionário de bicos múltiplos e oscilantes (Figura 2), desenvolvido pelo National Soil Erosion Research Lab, USDA – ARS, USA (Norton & Brown, 1992). O simulador foi instalado a 2,45 metros acima da superfície do solo e a pressão de saída da água dos bicos foi mantida em 41,4 kPa. A precipitação pluvial total foi determinada, para cada chuva simulada, através de pluviômetros instalados na superfície do solo.



Figura 2. Simulador de chuva estacionário de bicos múltiplos e oscilantes utilizado no experimento, Santa Maria, RS 2006.

A calibração do simulador de chuva foi realizada coletando-se a precipitação pluvial em diferentes intensidades de chuvas. A intensidade da precipitação foi controlada pela variação do número de oscilações dos bicos aspersores por unidade de tempo. Utilizou-se 31 coletores dispostos longitudinalmente ao simulador de chuvas, espaçados em 0,25 m. Testou-se de 10 a 250 oscilações por minuto. A curva de calibração e os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) para cada teste são apresentados na figura 3. O CUC variou de 79 a 92%, sendo que os menores valores foram observados nas menores intensidades. Nas intensidades 30, 60 e 120 mm h⁻¹ utilizadas nas avaliações de chuva simulada a campo, Sphor (2007) encontrou valores de CUC foram de 87, 90 e 91%, respectivamente.

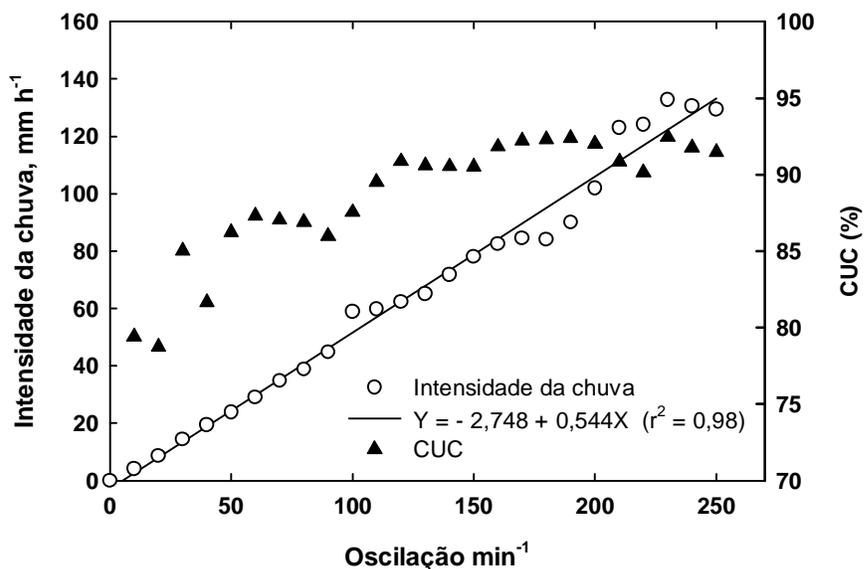


Figura 3. Intensidade da chuva em função do número de oscilações dos bicos aspersores para calibração do simulador de chuva e o CUC para cada teste. Santa Maria, RS, 2006.

O simulador aplicou de 4 a 8 mm, numa intensidade de 30 mm h⁻¹, mantendo a pressão de 6 Psi (41,4 Kpa), com duração aproximada de 8 minutos (4 mm) a 16 minutos (8 mm). Desta forma, era determinada a quantidade de água adicionada por parcela. Para que as condições externas não interferissem no resultado do experimento as medições ocorreram em dias sem precipitações naturais.

As plantas foram irrigadas através do sistema de aspersão conforme as exigências de cada cultura, em complementação às precipitações. Em cada irrigação foi reposta a evapotranspiração máxima acumulada da cultura. A evapotranspiração das culturas foi estimada pelo método de Penman-Monteith, com os coeficientes de cultura (Kc) propostos pela FAO. Foram avaliados durante todo o experimento a altura de plantas e o índice de área foliar do cultivo.

O preparo do solo foi realizado 30 dias antes da semeadura do feijão e milho, com uma aração e duas gradagens para nivelamento (Figura 4) da área, e posteriormente foi realizado manualmente com pás e enxadas até a profundidade de 20 cm. A superfície do solo foi nivelada para evitar qualquer desuniformidade entre as parcelas e reduzir a rugosidade superficial. Foram feitos camalhões com

declividade para que escorresse a água precipitada pela superfície lateral do camalhão até o fundo do sulco e daí para o recipiente de coleta.



Figura 4. Preparo do solo da área experimental do Departamento de Engenharia Rural da UFSM, Santa Maria, RS, 2006.

A adubação foi efetuada na linha, de acordo com os resultados da análise de solo, seguindo as recomendações da Rede Oficial de Laboratórios de Análise de Solo do Rio Grande do Sul e Santa Catarina (ROLAS) para a cultura do milho e feijão. No feijão foi aplicado 20 Kg ha^{-1} de nitrogênio na base e 80 Kg ha^{-1} de nitrogênio em cobertura (30 e 60 dias após a semeadura); $71,43 \text{ Kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 e $66,66 \text{ Kg ha}^{-1}$ de K_2O .

No milho, foi aplicado $44,44 \text{ Kg ha}^{-1}$ de N na semeadura e $155,55 \text{ Kg ha}^{-1}$ em cobertura aos 30 e 60 dias após a semeadura; $71,43 \text{ Kg ha}^{-1}$ de P_2O_5 e $33,33 \text{ Kg ha}^{-1}$ de K_2O . A bordadura também recebeu a mesma adubação das parcelas do tratamento para evitar diferenças no desenvolvimento das plantas.

A cultura do feijão foi semeada no sistema plantio direto e no sistema convencional durante o ano de 2006, sendo realizada no dia vinte e três de outubro, seguindo determinações do zoneamento climático da cultura para a Região Central do Rio Grande do Sul. A cultura do milho foi semeada na mesma data, e seguindo recomendações de zoneamento climático da cultura para a região Central do Estado do Rio Grande do Sul.

Quando as plantas apresentavam entre duas a três folhas totalmente expandidas, foi realizado ajuste nas densidades aos valores pré-estabelecidos para cada tratamento.

3.3 Semeadura e tratamentos culturais

A cultivar de feijão utilizada foi a Rio Tibagi, de hábito de crescimento indeterminado (tipo II), com ciclo de 91 dias e flor inicial aos 43 dias após a sementeira, com ampla adaptação no Estado. O híbrido Pioneer 30R53 foi utilizado na sementeira do milho, seguindo as mesmas épocas de sementeiras do feijão.

Antes da sementeira, as sementes de feijão foram tratadas com fungicida Derosol plus na dose de 2ml kg⁻¹ de semente, e inseticida Standak na dosagem de 1 ml kg⁻¹ de semente. As sementes de feijão foram inoculadas com a bactéria *Rhizobium leguminosarum* biovar *phaseoli*, na dose de 200g do inoculante para 50 kg de sementes de feijão.

Para controle de insetos foram feitas duas aplicações de Deltamethrine (Decis 50 SC) na dose de 80 ml ha⁻¹, com o Match, para o controle da lagarta do cartucho no milho e da vaquinha e outras lagartas no feijão.



Figura 5 Coleta da água precipitada que atingiu o solo no experimento da cultura do milho em recipientes plásticos, UFSM, Santa Maria, RS, 2006.

Após 24 dias de emergência das plantas de milho, vedaram-se essas aberturas com fita adesiva que foram colocadas ao redor dos pés de milho. Quando necessário, refazia-se por completo o sistema de vedação (Figura 6).



Figura 6. Detalhe da vedação da abertura plástica na lona preta que cobria o solo no experimento do milho, UFSM, Santa Maria, RS, 2006.

A palha foi pesada e colocada conforme determinado (2, 4 e 6 t ha⁻¹). Esta palha foi utilizada na forma de um “tapete”, com telas na parte superior e inferior do mesmo (Figura 7). Estes tapetes foram constituídos de uma camada superior e uma inferior de tela plástica, com a palha sendo acondicionada na parte central do mesmo conforme pesagem anterior. Estas três partes foram costuradas com fio de nylon, de forma a manter a palha presa. Nos tratamentos sem palha, foi colocado na parcela apenas o tapete com as telas costuradas, sem a palha, de forma que fosse pesado o mesmo e descontado posteriormente de todas as demais parcelas o peso do tapete (telas) sem a palha. Assim, a água contida nas telas, foi descontada da palha. Os mesmo tapetes de palha foram utilizados durante todo o experimento pelo motivo de ser a mesma situação encontrada na prática, ou seja, o produtor não coloca palha nova em cobertura a cada semana.



Figura 7. Confeção dos tapetes de palha utilizados nos experimentos do milho e feijão; colocação da palha já pesada nas telas e posterior fechamento dos mesmos, Santa Maria, RS, 2006.

3.4 Características morfológicas das plantas

Para as determinações de área foliar, altura de plantas e número de nós foi selecionada, aleatoriamente, uma planta por linha (Anexo 1). As determinações foram realizadas nessas plantas uma vez por semana, iniciando no dia 07 de novembro de 2006 (9 DAE) até o final do experimento.

Para facilitar a determinação da área foliar do feijão foram coletadas várias plantas em diferentes estádios de desenvolvimento, para estabelecer um modelo que relacionasse a área total da folha com a área do folíolo central dessa folha. Assim, a área de cada folha da planta foi estimada pela equação de regressão linear $y = a + bx$, onde a variável independente foi à área do folíolo central, e a variável dependente foi obtida pela soma da área dos três folíolos do trifólio, determinada em mesa digitalizadora (Figura 8). Dessa forma, em cada avaliação de área foliar, determinou-se a campo, somente o comprimento e a largura do folíolo central em cada folha no feijão.

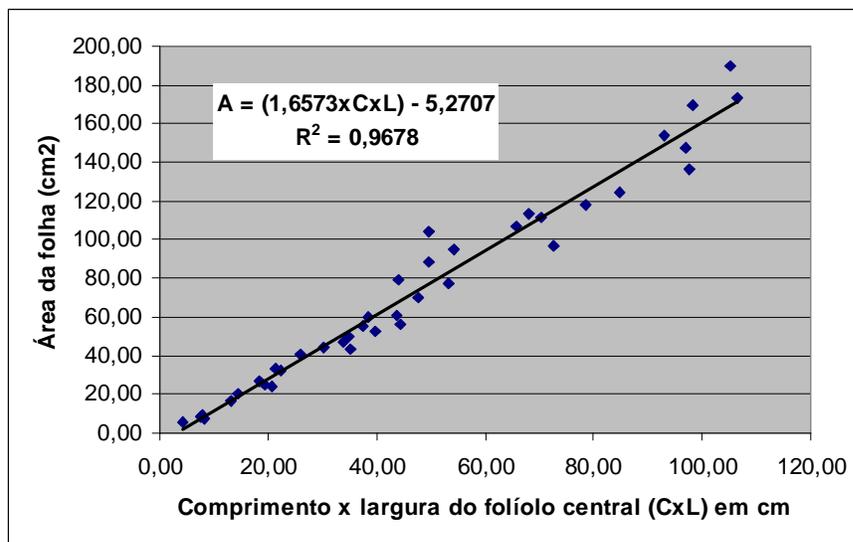


Figura 8. Modelo matemático do feijão, relacionando área da folha e comprimento e largura do folíolo central, Santa Maria, RS, 2006.



Figura 9. Visualização do experimento com feijão, com tapetes de palha entre linhas de plantas e coletores de água do solo, UFSM, Santa Maria, RS, 2006.

A largura e o comprimento da folha do milho foram determinados a campo, sendo calculado posteriormente a área foliar, através da multiplicação da largura pelo comprimento e por 0,75, segundo Fancelli & Dourado-Neto (2000).

O índice de área foliar foi calculado pela razão entre a área foliar fotossinteticamente ativa da planta e a área superficial de solo ocupada pela mesma. A altura das plantas foi determinada medindo-se a distância vertical entre a superfície do solo e o último nó da haste principal da planta. O número de nós foi obtido através da contagem do número de nós na haste principal desde a superfície do solo até o último nó da planta.

3.5 Determinação da quantidade de água

Para determinação da quantidade de água na palha, no solo e no dossel vegetativo foi utilizado o método das diferenças de pesagem. O simulador de chuva aplicou uma precipitação de 4 a 8 mm, sendo em seguida determinado quanto desta água ficou na palhada. Esta palhada (tapete) foi pesada antes da colocação no local do experimento (2, 4 ou 6 t ha⁻¹) e foi pesada novamente após a precipitação. Através desta diferença foi calculado quanto da água aplicada ficou na palha. A água que passou pela palha e escoou até o plástico foi coletada e medida (Figura 10 e 16), sendo considerada a água que foi retida no solo. Por diferença foi calculado quanto de água ficou no dossel de plantas (descontando a água da palha e do solo). Abaixo está demonstrado um esquema da determinação das lâminas de água. Estas medições foram repetidas.

- **Medição do conteúdo de água na palha:** através da diferença da pesagem do tapete de palha antes e após a precipitação
- **Medição do conteúdo de água no solo:** através da água escoada pela superfície, passada pelo tapete de palha e retida no coletor colocado entre as linhas das parcelas.
- **Medição do conteúdo de água no dossel de plantas:** através da diferença entre o total precipitado, o conteúdo de água na palha e o conteúdo de água no solo.



Figura 10. Medição do conteúdo de água no solo, através dos coletores nas culturas do feijão e do milho, UFSM, Santa Maria, RS, 2006.

3.6 Análise estatística

A análise da variância e a regressão foram realizadas utilizando o Programa Estatístico SAEG, da Universidade Federal de Viçosa, sendo os resultados avaliados em nível de 5% de probabilidade de erro.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cultura do Milho: retenção de água no solo, dossel vegetativo e palha, nos espaçamentos 45 cm e 75 cm entre linhas

4.1.1 Lâmina de água retida na palha, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho

Na figura abaixo 11 são apresentados os resultados da lâmina de retenção de água (mm) na palha, para as quantidades de 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de palha, nos espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas respectivamente, no 25º dia após a emergência das plantas (DAE).

A retenção de água na palha apresentou variações significativas entre as quantidades de palha em cobertura, sendo que com a maior quantidade de palha houve maior retenção. Resultados semelhantes foram encontrados por Silveira e Salvador (2000), que verificaram que as maiores perdas de água foram obtidas em parcelas sem cobertura de solo, ou seja sem palha. A menor perda de água, nas maiores percentagens de cobertura do solo, deve-se ao fato do volume de água permanecer mais tempo retido nos resíduos, retardando a velocidade de escoamento e facilitando a infiltração (Carvalho et al., 1990).

Nos espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas ocorreu variação para as quantidades de palha em cobertura, no 25 DAE (Tabela 2). A baixa retenção de água na palha pode ser explicada por ter sido utilizada uma palhada nova e bem seca, que possuía uma película hidrofóbica ao redor da palhada que não permitia a máxima retenção de água na fase inicial. Com o passar do tempo esta palha vai se decompondo e com isso essa película diminui e, conseqüentemente, a retenção de água na palha pode aumentar.

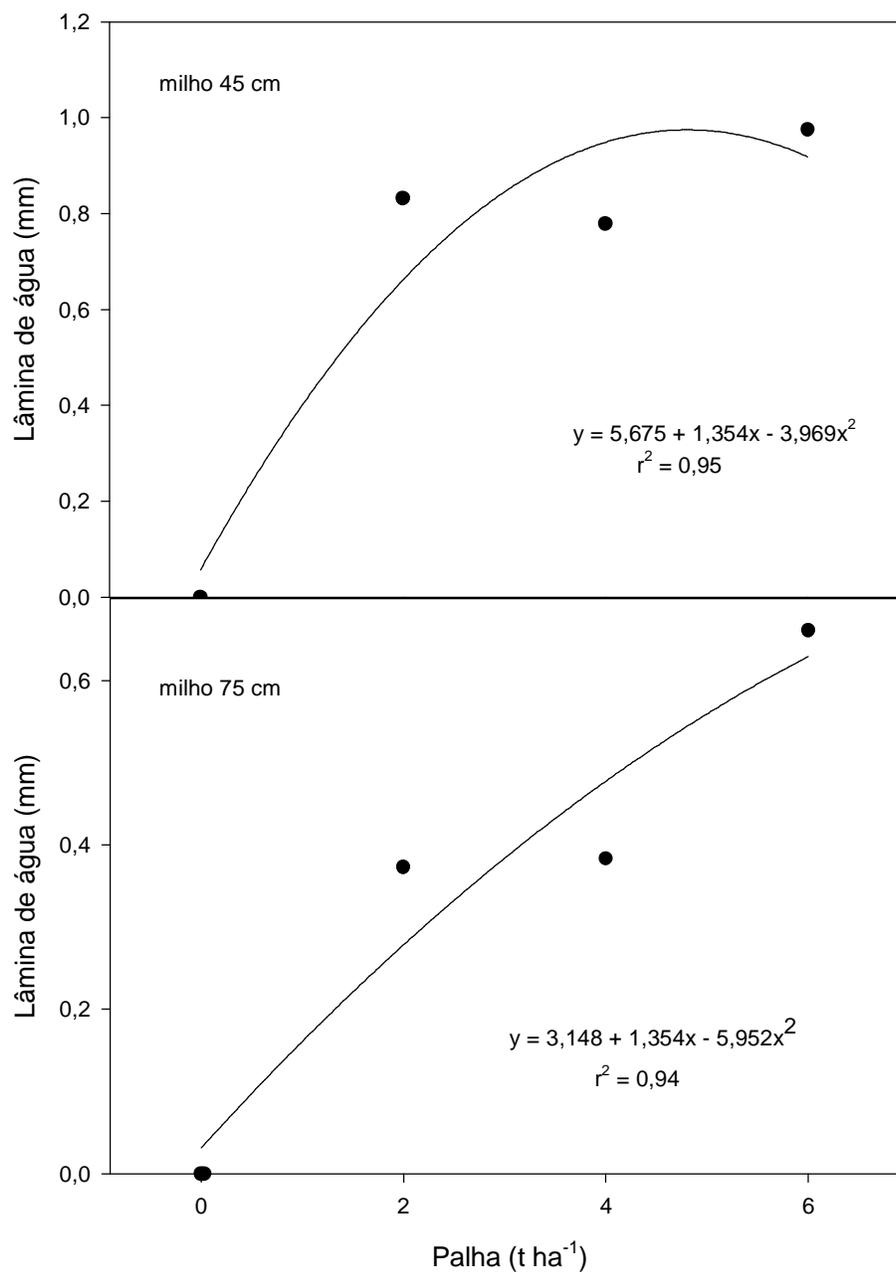


Figura 11. Lâmina de água retida na palha (mm), com 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, aos 25 DAE, para os espaçamentos de 45 cm e 75 cm entre linhas, na cultura do milho, em Santa Maria – RS, 2006.

Tabela 2. Análise da variância para retenção de água no solo, palha e dossel vegetativo das plantas de milho durante o ciclo da cultura, em Santa Maria – RS, 2006.

Retenção de água	DAE				
	25	31	37	46	52
Solo	ns	ns	*	*	ns
Palha	*	ns	ns	*	ns
Dossel de plantas	ns	ns	ns	*	ns

* = significativo em nível de probabilidade de erro de 5%; ns = não significativo em nível de probabilidade de 5%.

A importância da cobertura de palha no solo foi demonstrada por vários autores, entre eles, Silveira e Salvador (2000) que demonstraram que a cobertura do solo, com resíduos culturais de milho, reduziram as perdas de solo chegando a 87,75%. A influência da cobertura nas perdas de água foi menor, alcançando uma redução de 69,88%, devido ao volume de água permanecer mais tempo retido nos resíduos. Além disso, a cobertura vegetal reduz a velocidade de escoamento da enxurrada e melhora ou mantém a capacidade de infiltração da água no solo, evitando o selamento superficial provocado pela obstrução dos poros com as partículas finas desagregadas (Castro, 1989).

A eficácia da proteção do solo pela cobertura morta utilizada depende da percentagem da área coberta, ou seja, quanto mais uniforme a distribuição dos resíduos e maior a percentagem de cobertura, maior será o controle da erosão e menor será a perda de água. Em trabalho sobre percentagem de cobertura de solo realizado, Lopes et al. (1987) demonstraram que solos com 3 t ha⁻¹ de resíduos possuem uma cobertura de 60,9%, enquanto que se a quantidade de resíduos subir para 6 t ha⁻¹ a percentagem de cobertura sobe para 84,7%, melhorando muito a proteção do solo contra perdas por erosão.

A retenção de água na palha para os dias 31 e 37 DAE não foram significativas para os espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas, mas o comportamento de retenção de água na palha foi semelhante ao ocorrido no 25 DAE, com mais água retida na maior quantidade de palha em superfície (Tabela 3).

Tabela 3. Causas de variação na retenção de água no dossel vegetativo, palha e solo, grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM), coeficiente de variação (C.V.), significativos para os DAEs, em Santa Maria – RS, 2006, nos espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas.

Causas de variação	GL	QM	F	Significativo
DOSSSEL VEGETATIVO				
46 DAE				
Palha	3	0,88	2,10	0,1465ns
Espaçamento	1	2,82	6,66	0,0218*
Palha x Espaçamento	3	0,35	0,80	ns
Resíduo	14	0,42	0,84	
C.V. (%)	19,7			
PALHA				
25 DAE				
Palha	3	0,30	5,26	0,0102*
Espaçamento	1	0,31	5,26	0,0357*
Palha x Espaçamento	3	0,30	5,26	0,0102*
Resíduo	16	0,57	5,26	
C V (%)	29,7			
46 DAE				
Palha	3	0,57	48,45	0,000*
Espaçamento	1	0,21	18,07	0,006*
Palha x Espaçamento	3	0,11	0,95	*ns
Resíduo	16	0,11		
C V (%)	34,1			
SOLO				
37 DAE				
Palha	3	0,17	0,55	ns
Espaçamento	1	2,52	7,76	0,013*
Palha x Espaçamento	3	0,381	1,17	0,351ns
Resíduo	16	0,32		
C V (%)	12,66			
46 DAE				
Palha	3	0,83	2,43	0,103ns
Espaçamento	1	4,55	13,19	0,022*
Palha x Espaçamento	3	0,58	1,70	0,206ns
Resíduo	16	0,34		
C V (%)	13,55			

* = significativo em nível de probabilidade de erro de 5%; ns = não significativo em nível de probabilidade de 5%.

Na figura 12 são representadas as quantidades de água retida na palha para o 46 DAE, sendo significativa a retenção de água na palha para os espaçamentos.

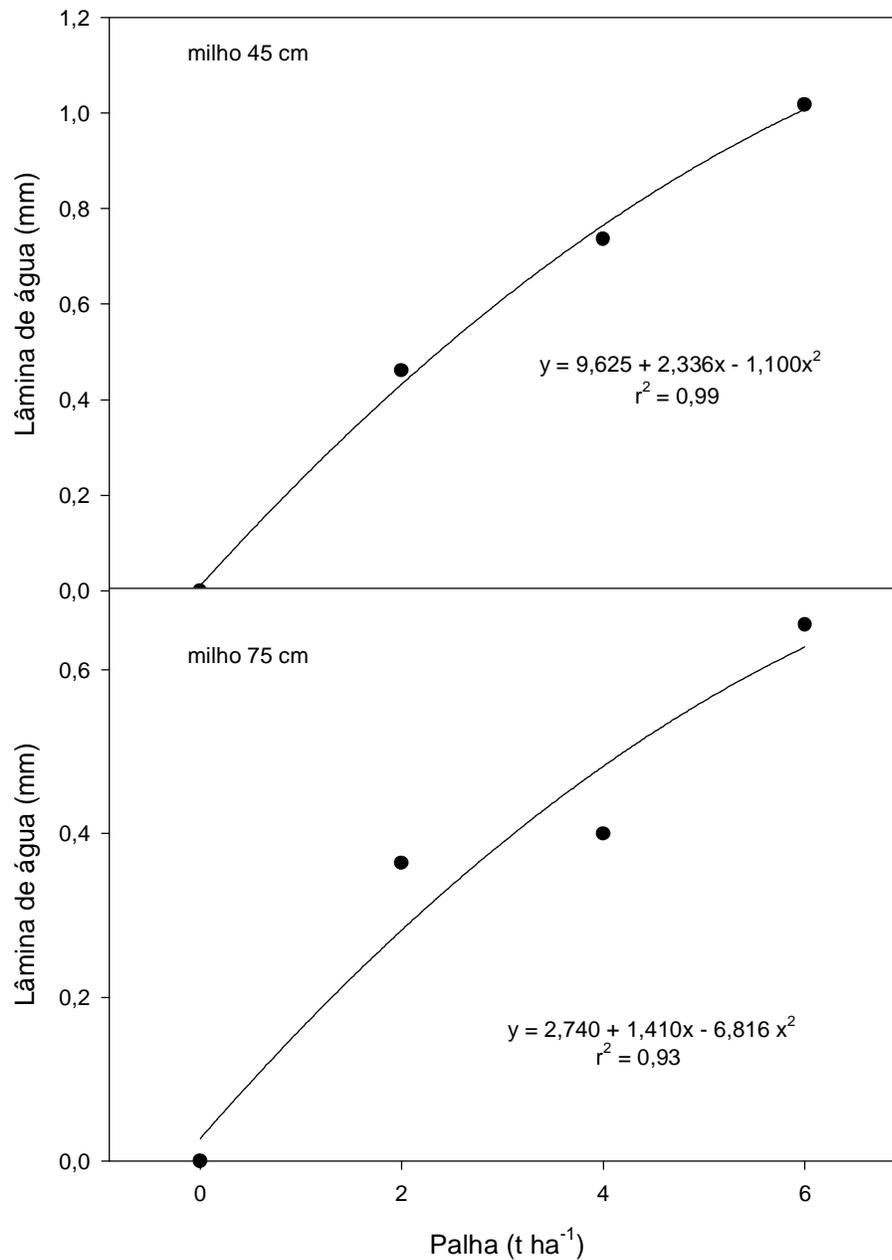


Figura 12. Lâmina de água retida na palha (mm), com 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, nos 46 DAE, para os espaçamentos 45 cm e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.

Ocorreu variação entre a quantidade de palha e a retenção de água na palha para os 46 DAE (Tabela 3), demonstrando que a maior quantidade de água foi retida na maior quantidade de palha. Isto também foi verificado por Resende et al. (2003), que demonstrou que em solos com cobertura de palha a infiltração de água foi superior à infiltração ocorrida em solos desnudos.

Apesar de apresentarem o mesmo comportamento para os dois espaçamentos, a retenção de água foi maior no menor espaçamento entre linhas, ou seja, no espaçamento de 45 cm entre linhas. Nesta fase de desenvolvimento da cultura (46 DAE) a planta já se apresenta bem desenvolvida (com maior IAF) (Figuras 13 e 14), e retendo maior quantidade de água nas suas folhas do que na fase inicial, diminuindo a retenção de água na palha. Desta forma, os restos culturais na superfície devem cobrir, pelo menos, 50% do solo, sendo desejável que se consigam 6 toneladas por hectare da matéria seca para cobertura do solo, de forma que favoreçam a infiltração de água na palha e conseqüentemente no solo, diminuindo o escoamento superficial.

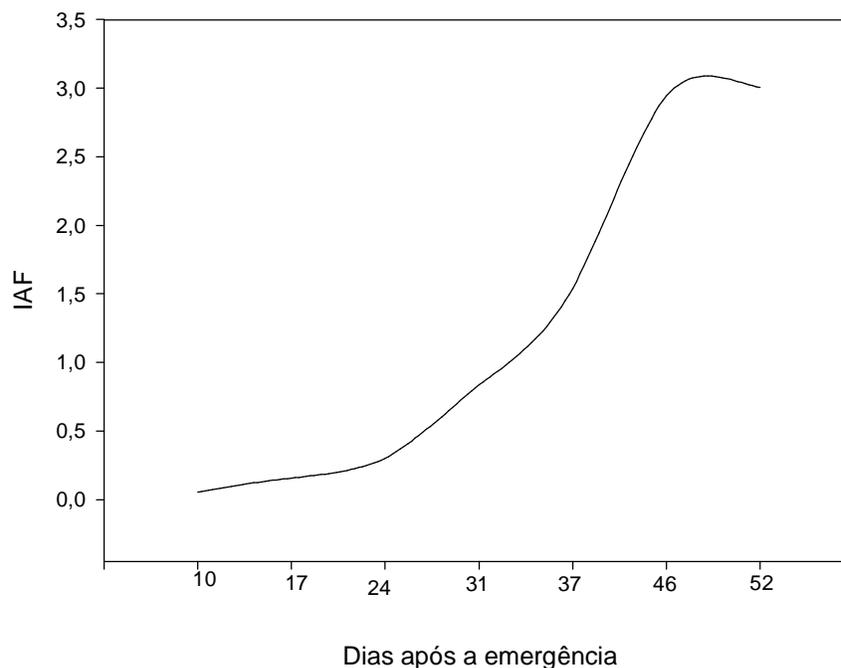


Figura 13. Índice de área foliar (IAF) do milho Pioneer 30R53, no espaçamento de 75 cm entre linhas, em função de dias após a emergência (DAE), em Santa Maria – RS, 2006.

Na figura 14 está demonstrada o índice de área foliar do milho com espaçamento 45 cm entre linhas em função dos dias após a emergência da cultura.

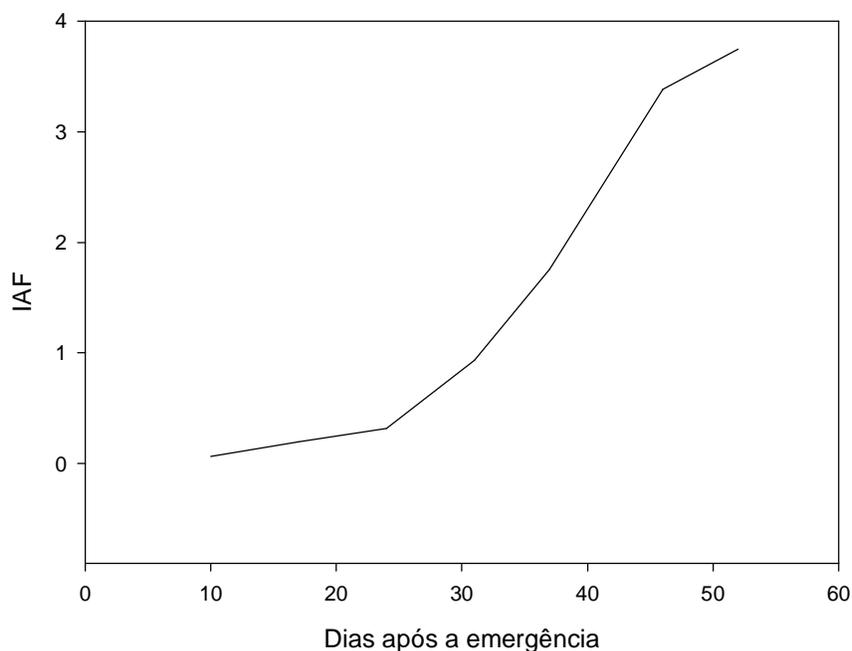


Figura 14. Índice de área foliar (IAF) do milho Pioneer 30R53, no espaçamento de 45 cm entre linhas, em função de dias após a emergência (DAE), em Santa Maria – RS, 2006.

A retenção de água na palha durante a evolução a cultura para as diferentes palhadas está apresentada na figura 15.

A lâmina de água apresentou variação significativa entre as quantidades de palha, diferindo entre o solo sem cobertura e as diferentes quantidades de palha por hectare. O comportamento demonstrado pela retenção de água na palha foi de que ocorreu uma maior retenção na fase inicial da cultura, onde as plantas estavam em desenvolvimento, com baixo índice de IAF, e, conforme iam se desenvolvendo, as plantas passaram a reter mais água, e, conseqüentemente a palha reteve menos água, pois uma menor quantidade de água chegava a palhada. A maior retenção de água na palha ocorreu no menor espaçamento entre plantas durante todo o período. A infiltração total proveniente de altas precipitações pluviométrica só é possível com

100% de cobertura do solo, para tanto são necessários 4 a 6 toneladas de cobertura morta por hectare (Derpsch et al., 1991).

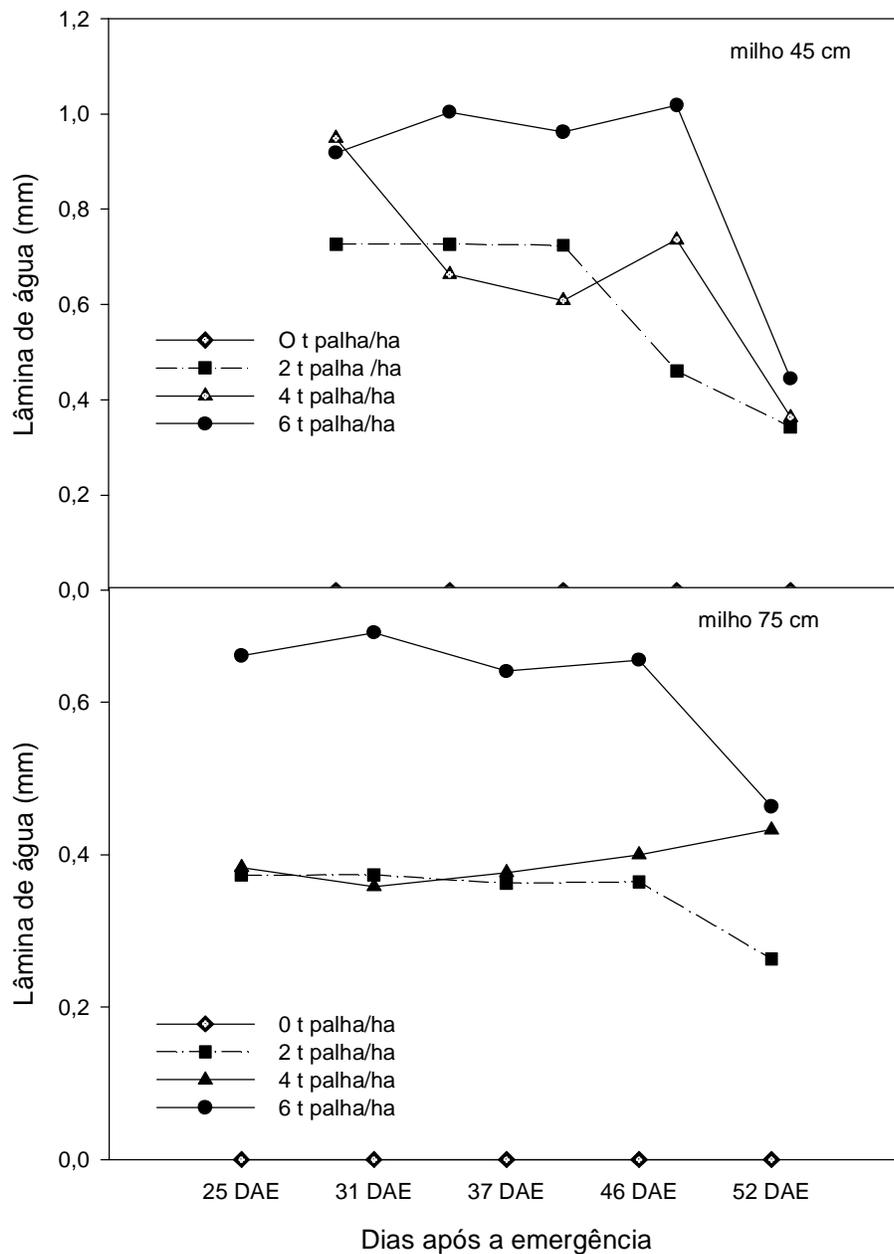


Figura 15. Lâmina de água retida na palha (mm), durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho (25, 31, 37, 46 e 52 DAE), para os espaçamentos 45 cm e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.

Assim, a utilização de resíduos culturais como cobertura do solo é uma maneira simples, eficaz e econômica de controlar a erosão sobre as terras agrícolas e as perdas de água. Os resíduos, quando mantidos sobre a superfície do solo, evitam o impacto direto das gotas de chuva, prevenindo a desagregação e mantendo elevadas taxas de infiltração de água no solo, além de reduzir substancialmente, a velocidade do escoamento superficial.

Sem a palhada na superfície do solo, a água precipitada pelo simulador ficou retida no dossel ou no solo, obtendo maiores lâminas de água nestas frações. A percentagem de cobertura do solo designa a eficácia da proteção do solo pela cobertura morta utilizada, sendo que quanto mais uniforme a distribuição dos resíduos e maior a percentagem de cobertura, maior será o controle da erosão e menor será a perda de água.

O efeito de sistemas de manejo e de quantidades de cobertura vegetal sobre as perdas de solo causadas por erosão e perdas de água, tem sido estudado por muitos autores, entre eles, Melo Filho & Silva (1993) que verificaram redução de 90% das perdas de solo em tratamentos que comportavam o plantio direto, quando comparados com os tratamentos em sistema de cultivo convencional.

Segundo Pruski (1997), além de aumentar a quantidade de água interceptada, a vegetação amortece a energia do impacto das gotas de chuva reduzindo a desagregação dos agregados, a obstrução dos poros e o selamento superficial do solo. A presença de cobertura vegetal na superfície do solo também promove a redução da velocidade do escoamento superficial devido ao aumento da rugosidade hidráulica do percurso ao longo do qual ocorre o escoamento.

4.1.2 Lâmina de água retida no solo em cobertura, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas.

A quantidade de água que atinge o solo, entre as diferentes quantidades de palha em cobertura, não apresentou diferenças estatísticas significativas no 25 e 52 DAE das plantas para a retenção de água.

Na figura 16 são apresentadas as quantidades de água que atingem o solo, para as quantidades de 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ de palha em cobertura, nos espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas, no 31 DAE.

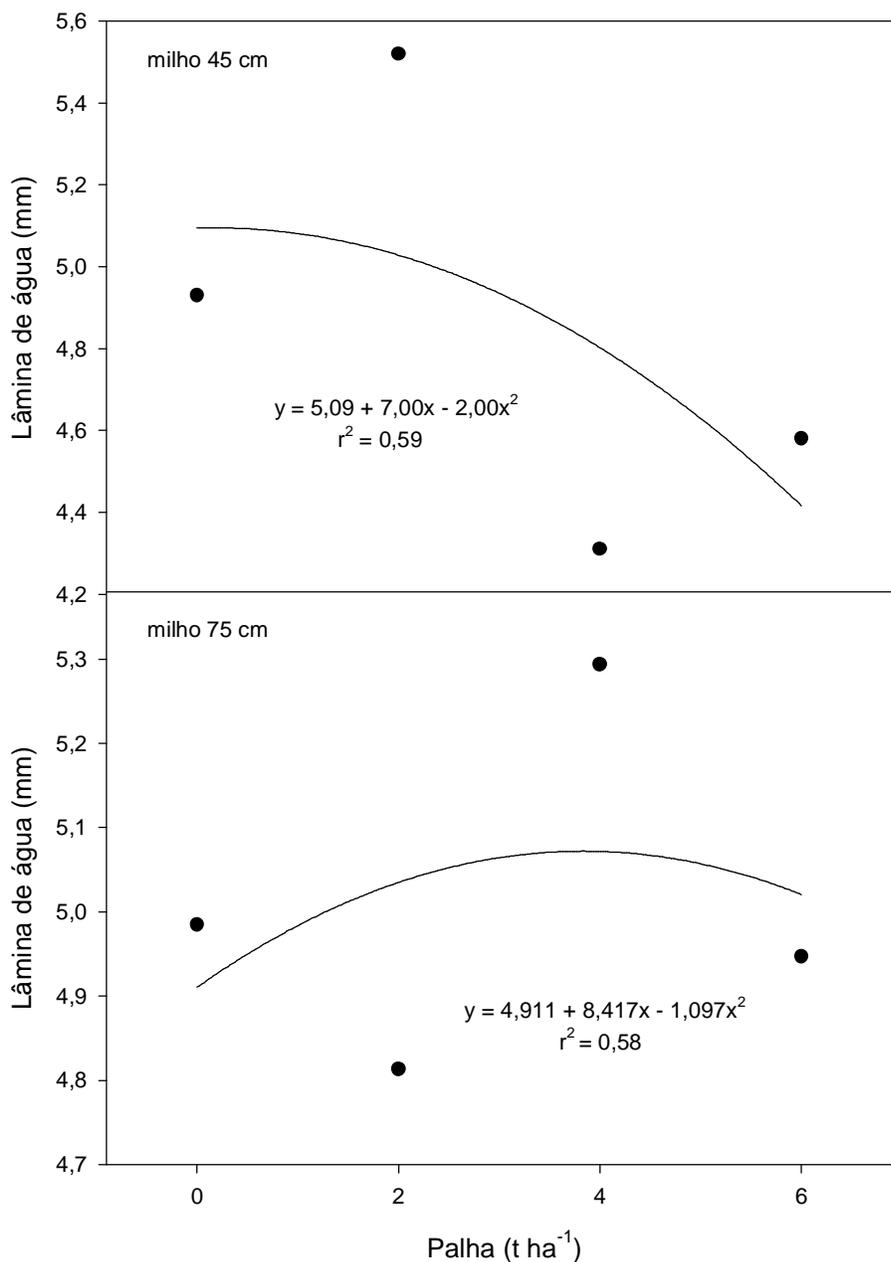


Figura 16. Lâmina de água retida no solo (mm), com 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, nos 31 DAE, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.

Houve variação entre o conteúdo de água que chega ao solo para as diferentes quantidades de palha em cobertura (Tabela 3). Nesta fase inicial do ciclo da cultura, as plantas possuem baixo IAF, não retendo grande quantidade de água, o que ocasionou que a maior quantidade de água atingisse o solo.

No espaçamento de 45 cm entre linhas a quantidade de água que chegou ao solo foi maior onde não havia palha em cobertura, diminuindo conforme esta quantidade de palha aumentava na superfície.

No espaçamento de 75 cm entre linhas a retenção no solo foi menor onde havia menos palha, isso devido ao arranjo das plantas na linha e ao maior espaçamento na fase inicial, quando as plantas possuem baixo IAF. A água que chega ao solo depende de vários fatores, como a interceptação pelo dossel, a quantidade de palha na superfície, a velocidade do vento, a intensidade da chuva, entre outros, levando a ocorrer esta variação de valores entre diferentes espaçamentos.

A figura 17 demonstra a quantidade de água que atinge o solo aos 37 DAE, para os espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas .

No espaçamento de 45 cm entre linhas para a cultura do milho a quantidade de água que chegou ao solo foi maior onde não havia palha na cobertura, vindo a decair conforme aumentava a quantidade de palhada, ocorrendo variação entre a lâmina de água para as diferentes palhadas. Isso pode ser explicado pelo motivo da palha reter água e assim disponibilizar mais água para o solo, principalmente no caso de baixas precipitações. Conforme ocorreu o desenvolvimento da cultura do milho, a quantidade de água retida no solo foi diminuindo gradualmente, da mesma forma que a água retida no dossel foi aumentando progressivamente.

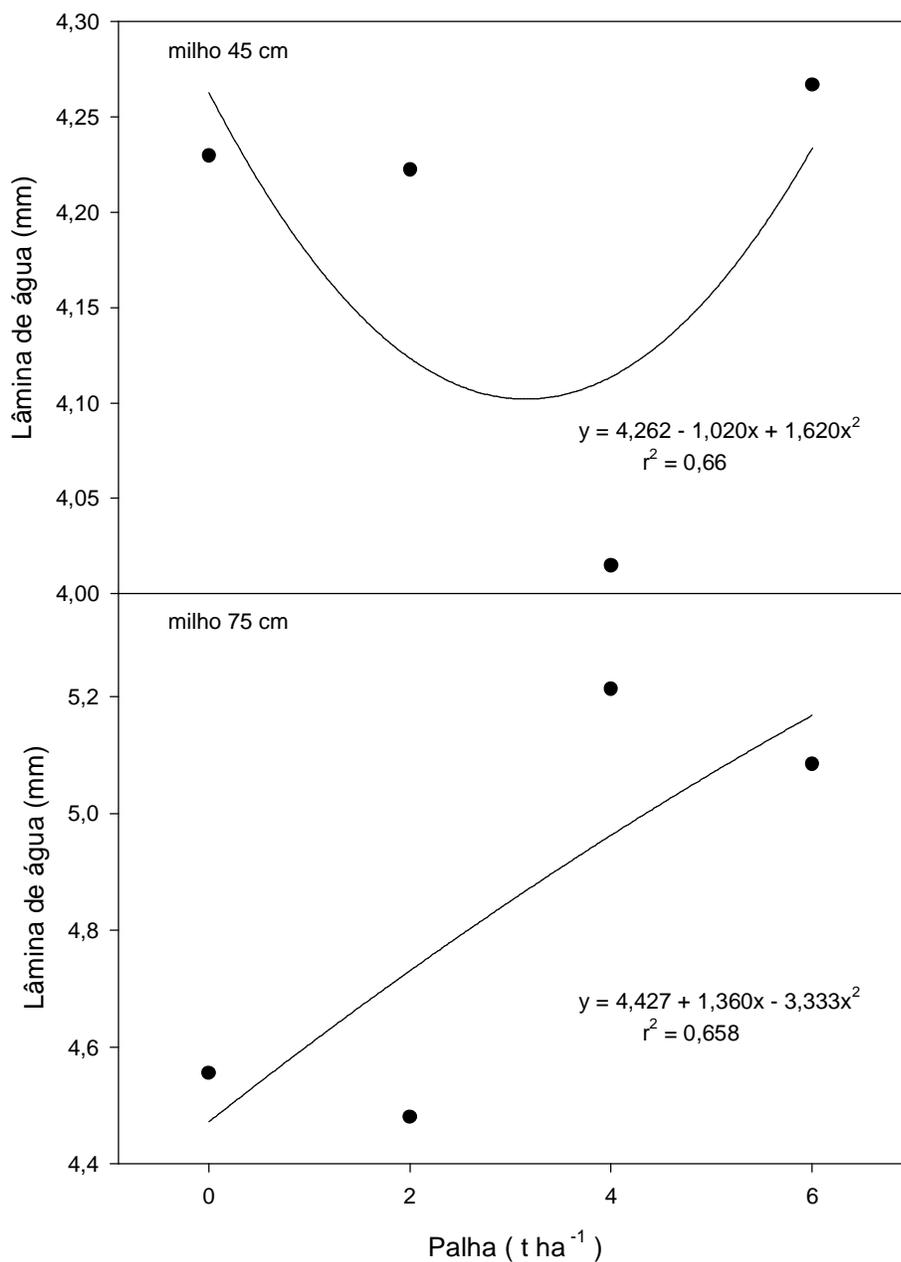


Figura 17. Lâmina de água retida no solo (mm), com 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, nos 37 DAE, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.

A figura 18 apresenta a lâmina de água que atingiu o solo, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas, aos 46 DAE.

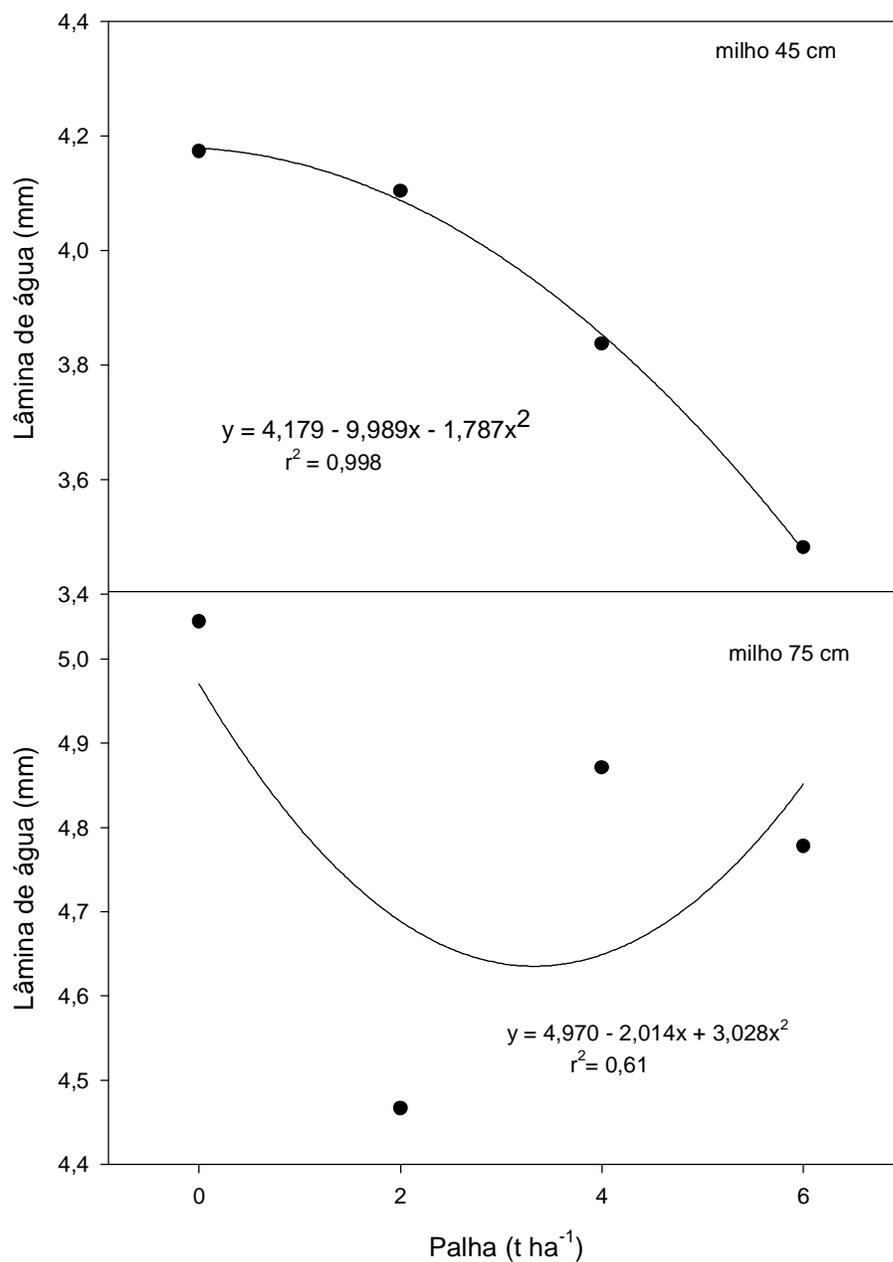


Figura 18. Lâmina de água retida no solo (mm), com 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, aos 46 DAE, nos espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.

Ocorreu variação na lâmina de água que chega ao solo para as diferentes quantidades de palha em cobertura. A lâmina de água foi maior onde havia pouca ou

nenhuma palha em cobertura, demonstrando o mesmo comportamento notado anteriormente. Notou-se um aumento gradual na quantidade de água retida no dossel conforme a planta ia se desenvolvendo e aumentando o índice de área foliar. Isso ocorre porque durante o desenvolvimento das plantas ocorre competição pelos recursos de solo (água e nutrientes) e pelo recurso radiação solar, e, conseqüente diminuição da água que chega ao solo.

A evolução da lâmina de água no solo está apresentada na figura abaixo (19).

A maior lâmina de água foi verificada nas parcelas com menor quantidade de palha na superfície ou sem palha. Conforme ocorreu um aumento do índice de área foliar (conseqüência do desenvolvimento da planta), a planta reteve mais água, diminuindo a água retida no solo. O mesmo comportamento foi verificado nos dois espaçamentos. Trabalhos citados por Moreira et al. (1999) tem demonstrado que, sob sistema de plantio direto ou em sistemas de preparo reduzido, ocorreu maior retenção de água pelo solo, sendo atribuída a maior retenção de água sob plantio direto as alterações sofridas na porosidade e ao maior conteúdo de matéria orgânica (Resende et al., 2003). Esse comportamento pode ser atribuído a maior quantidade de microporos encontrados no sistema plantio direto (Derpsch et al., 1991; Moreira et al., 1995).

O acréscimo na porcentagem de cobertura ocasiona acentuada redução na perda de solo. Resultados semelhantes foram obtidos por Mannering & Meyer (1963), Swanson et al. (1965), Cogo (1981), Lopes (1984) e Amado et al. (1989), os quais podem ser explicados pela ação da cobertura do solo em dissipar a energia cinética do impacto direto das gotas da chuva sobre a superfície, diminuindo a desagregação inicial das partículas de solo e, conseqüentemente, a concentração de sedimentos na enxurrada.

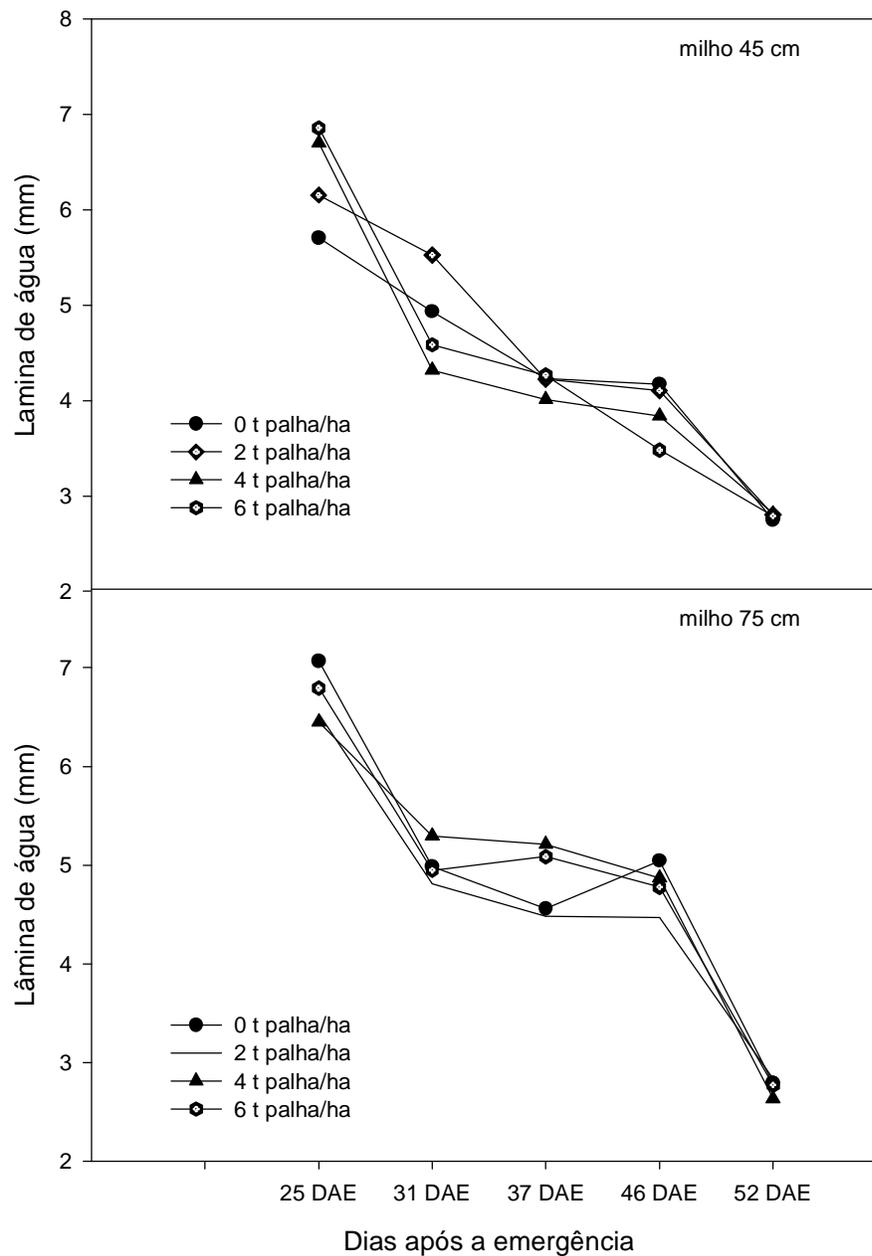


Figura 19. Lâmina de água retida no solo (mm), durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho (25, 31, 37, 46 e 52 DAE), nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.

4.1.3 Lâmina de água retida no dossel vegetativo da cultura do milho, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas.

Na figuras 20 estão apresentadas às retenções de água no dossel de plantas para as quantidades de 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, nos espaçamentos de 45 e 75 cm entre linhas.

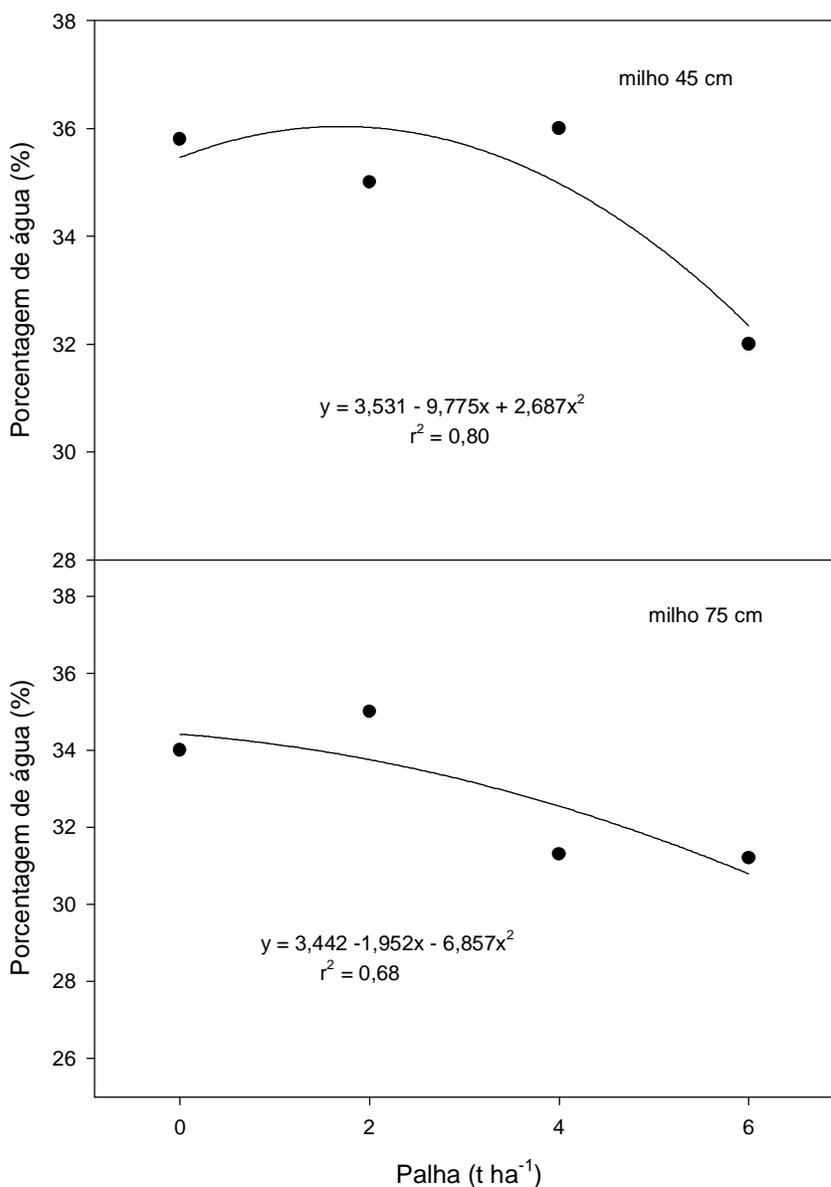


Figura 20. Porcentagem de água retida no dossel de plantas, em 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, aos 31 DAE, nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.

O dossel de plantas apresentou variação para as diferentes quantidades de palha em cobertura no solo (Tabela 3). No solo em que não havia cobertura (0 t ha^{-1}) ocorreu a maior retenção de água no dossel para o espaçamento 45 cm. Esta diferença no dossel pode ter ocorrido devido à quantidade de água retida no dossel ser calculada por diferença. O consumo de água pela planta de milho, nos estádios iniciais de crescimento, raramente excede $2,5 \text{ mm dia}^{-1}$ (Avelar, 1986; Marinato, 1980; Matzenauer et al., 1981), que se aproxima do ocorrido na parcela de 0 t ha^{-1} , onde a retenção pelo dossel chegou ao máximo de 2,3 mm para o dossel do espaçamento 45 cm, enquanto que com o maior espaçamento este valor foi bem menor, ao redor de 1 mm.

Em relação ao dossel de plantas no espaçamento de 75 cm, ocorreu variação significativa na retenção de água no dossel entre as diferentes quantidades de palha.

O consumo de água pelo dossel de plantas tem a tendência de se elevar com o desenvolvimento e crescimento das plantas. Após 100% de cobertura do solo pela cultura, o consumo pode se elevar para 5 a 7,5 mm diários, mas se a temperatura estiver muito elevada e a umidade do ar muito baixa, o consumo poderá chegar até 10 mm dia^{-1} (Avelar, 1986; Marinato, 1980; Matzenauer et al., 1981). Resultados de retenção de água chegaram 3,6 mm neste trabalho.

A retenção de água no dossel aos 46 DAE está apresentada na figura 21.

No dossel, a maior porcentagem de água retida ocorreu onde havia menos palha em cobertura. Quando uma pequena quantidade de água é aplicada, esta é quase totalmente utilizada pela cultura e, para maiores quantidades, os acréscimos na produção são progressivamente menores, indicando perdas de água quando está próximo da condição de máxima produção (Paez, 1995).

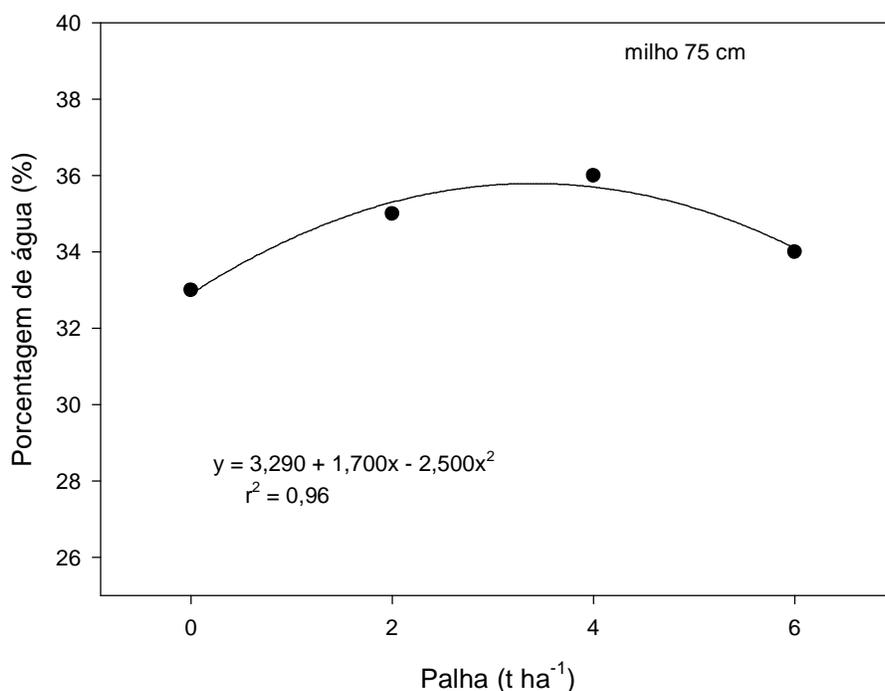


Figura 21. Porcentagem de água retida no dossel de plantas, em 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹, aos 46 DAE, no espaçamento 75 cm entre linhas, em Santa Maria – RS, 2006.

O dossel de plantas obteve um aumento gradual da lâmina de água retida pelas plantas conforme se desenvolviam (Figura 22).

A quantidade de água retida no dossel foi menor na fase inicial da cultura, aumentando com o desenvolvimento da planta, conforme aumenta a área foliar. Aos 46 DAE a porcentagem de água retida é menor porque foi colocado menos água no simulador de chuva (em torno de 5 mm).

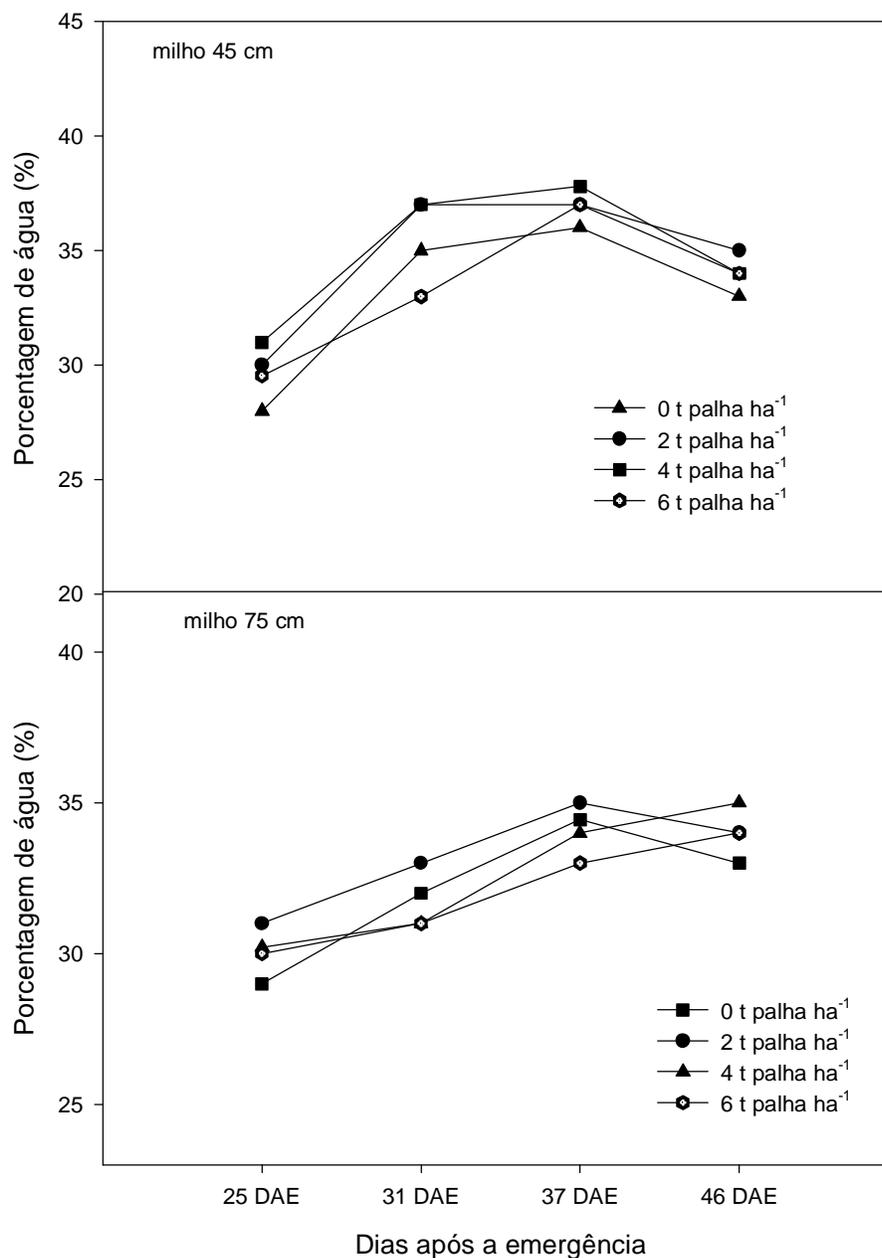


Figura 22. Porcentagem de água retida no dossel, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura do milho (25, 31, 37, 46 e 52 DAE), nos espaçamentos 45 e 75 cm entre linhas, Santa Maria – RS, 2006.

5. Cultura do feijão

5.1 Retenção de água na palha, na cultura do feijão durante o desenvolvimento da cultura.

Na figura abaixo está apresentada a retenção de água na palha sobre a superfície do solo, durante o ciclo da cultura do feijão.

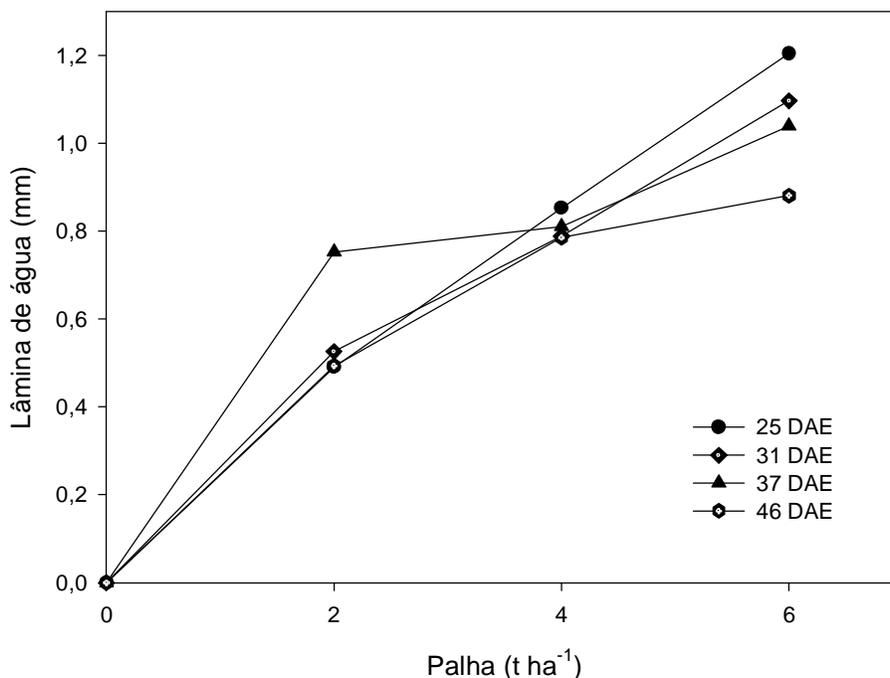


Figura 23. Lâmina de água (mm) retida na palha, em feijão, nas diferentes quantidades de palha (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹), para 25, 31, 37 e 46 DAE, em Santa Maria – RS, 2006.

Conforme a figura 23 a quantidade de palha apresentou variação significativa na retenção de água, diferindo entre todas as quantidades, onde a maior quantidade de água retida foi observada na parcela com maior quantidade de palha. A retenção de água foi maior na fase inicial da cultura, diminuindo com o seu desenvolvimento. A menor perda de água para as maiores percentagens de cobertura, deve-se ao fato de o volume de água permanecer mais tempo retido nos resíduos, retardando a velocidade de escoamento e facilitando a infiltração, fatos esses concordantes com Carvalho et al. (1990). Assim, a cobertura vegetal reduz a velocidade de escoamento de enxurradas e melhora ou mantém a capacidade de infiltração da água no solo, evitando o selamento superficial, provocado pela obstrução dos poros com as partículas finas desagregadas (Castro, 1989).

Desta forma, a água retida na palha apresentou pequena variação durante todo o desenvolvimento da cultura, sendo maior na fase inicial (Tabela 4).

Tabela 4. Causas de variação na retenção de água no dossel vegetativo, palha e solo na cultura do feijão, durante o ciclo da cultura, grau de liberdade (GL), quadrado médio (QM), nos DAE significativos, Santa Maria – RS, 2006.

Causas de variação	GL	QM	F	Significativo
DOSSSEL VEGETATIVO			31 DAE	
Palha	3	0,42	0,591	0,001*
Resíduo	6	0,71		
C.V. (%)	54,00			
			46 DAE	
Palha	3	0,31	0,60	0,005*
Resíduo	6	0,52		
C V (%)	27,1			
PALHA			25 DAE	
Palha	3	0,71	331,91	0,001*
Resíduo	6	0,21		
C V (%)	7,15			
			31 DAE	
Palha	3	0,54	352,47	0,001*
Resíduo	6	0,15		
C V (%)	6,30			
			37 DAE	
Palha	3	0,54	15,30	0,032*
Resíduo	6	0,35		
C V (%)	28,3			
			46 DAE	
Palha	3	0,23	134,27	0,000*
Resíduo	6	0,287		
C V (%)	9,60			
SOLO			31 DAE	
Palha	3	0,34	0,27	0,000*
Resíduo	6	1,29		
C V (%)	18,6			

* = significativo em nível de probabilidade de erro de 5%; ns = não significativo em nível de probabilidade de 5%.

Quanto mais protegida pela cobertura vegetal estiver a superfície do solo contra a ação da chuva, tanto menor será a propensão de ocorrência de erosão nesse solo e da perda de água (Pruski, 1997).

Nos DAE indicados na tabela 4 foi significativa a retenção de água para a cultura do feijão.

5.2 Retenção de água no solo, na cultura do feijão durante o desenvolvimento da cultura

A figura 24 apresenta a quantidade de água que atinge o solo (mm) durante o ciclo da cultura do feijão.

Conforme verificado na figura 24 e na tabela 4, ocorreu variação significativa entre a quantidade de água que chega ao solo para as diferentes quantidades de palha em cobertura, sendo que o solo sem cobertura foi onde ficou retida a maior quantidade de água na fase inicial da cultura.

Com 6 t ha⁻¹ de palha na cobertura uma menor quantidade de água chegou ao solo, ficando mais água retida na palha, demonstrando que a cobertura do solo reduz de forma mais eficiente às perdas de solo quando comparada à redução nas perdas de água, corroborando as observações feitas por Hernani et al. (1997). Isso também foi demonstrado por Moreira et al. (1999), ou seja, que no sistema de plantio direto ou em sistemas de preparo reduzido, ocorreu maior retenção de água pelo solo (Resende et al., 2003).

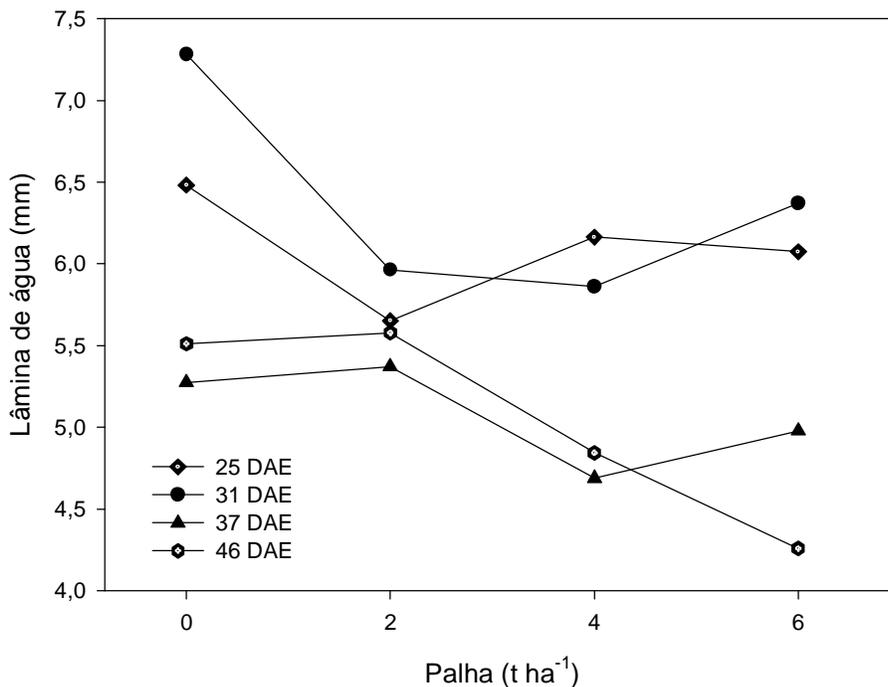


Figura 24. Lâmina de água (mm) retida no solo, em feijão, nas diferentes quantidades de palha (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹), para 25, 31, 37 e 46 dias após a emergência (DAE), em Santa Maria – RS, 2006.

A quantidade de água retido no solo foi maior na fase inicial da cultura, diminuindo conforme a planta se desenvolvia, aumentando desta forma a quantidade de água retida pelo dossel de plantas (Figura 24). Conforme ocorreu um aumento do IAF (conseqüência do desenvolvimento da planta) (Figura 25), a planta reteve mais água, diminuindo a água retida no solo, pois sem a palha, a água precipitada pelo simulador ficou retida no dossel ou no solo, obtendo valores maiores de lâmina de água nestas frações. Independentemente da intensidade de precipitação, o acréscimo na porcentagem de cobertura ocasiona acentuada redução na perda de solo.

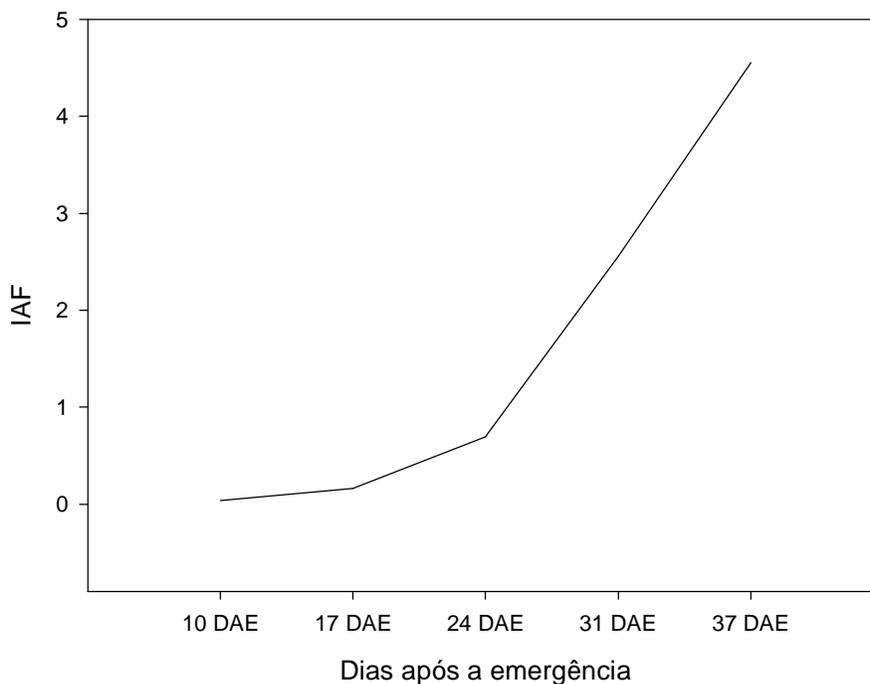


Figura 25. Índice de área foliar (IAF) do feijão, no espaçamento de 45 cm entre linhas, no período dos 10 aos 37 DAE, em Santa Maria – RS, 2006.

5.3 Retenção de água no dossel de plantas, na cultura do feijão durante o desenvolvimento da cultura.

Na figura 26 está demonstrada a quantidade de água que atinge o dossel de plantas (mm), durante o ciclo da cultura do feijão.

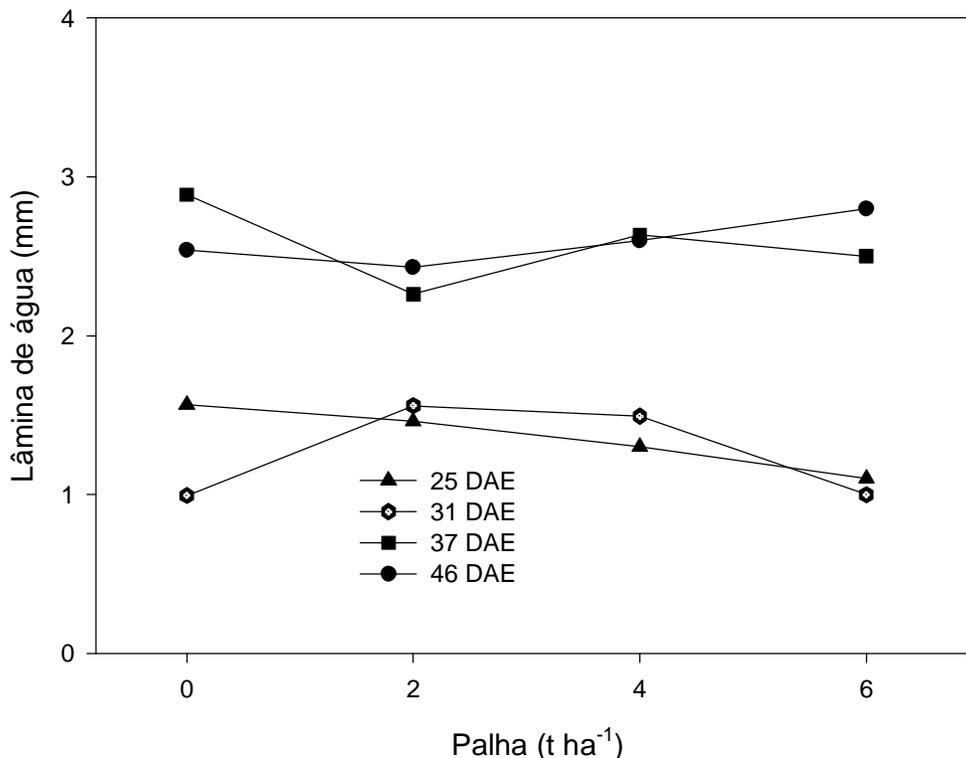


Figura 26. Lâmina de água (mm) retida no dossel de plantas de feijão, em diferentes quantidades de palha (0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹), para 25, 31, 37 e 46 dias DAE, em Santa Maria – RS, 2006.

O dossel de plantas apresentou variação significativa na retenção de água da chuva para as diferentes quantidades de palha em cobertura no solo (Tabela 4). Na fase inicial da cultura a retenção de água no dossel foi menor, aumentando conforme aumentava o índice de área foliar.

Para Queiroz et al. (1996), a aplicação de lâminas de irrigação entre 200 e 800 mm durante todo o ciclo da cultura, torna viável o cultivo do feijão. Já Reichardt (1990) menciona que a necessidade de água para o ciclo da cultura varia de 300 a 500 mm.

A distribuição destas necessidades também varia nos diferentes subperíodos de desenvolvimento da cultura (Matzenauer et al., 1998). O consumo de água pelo dossel de plantas tem a tendência de se elevar com o desenvolvimento e crescimento das plantas. Após 100% de cobertura do solo pela cultura, o consumo

pode se elevar para 5 a 7,5 mm diários, mas se a temperatura estiver muito elevada e a umidade do ar muito baixa, o consumo poderá chegar até 10 mm dia⁻¹ (Avelar, 1986; Marinato, 1980; Matzenauer et al., 1981). Resultados semelhantes foram encontrados neste trabalho, chegando quase a um consumo de 3,0 mm pelo dossel.

O dossel de plantas obteve um aumento gradual da lâmina de água retida pelas plantas conforme iam se desenvolvendo, devido à expansão da área foliar, interceptando maior quantidade de água.

6. CONCLUSÕES

A retenção de água na fase inicial da cultura foi maior no solo, para todas as quantidades de palha, e, na fase final aumentou a retenção de água no dossel.

A maior retenção de água na palha foi na quantidade de 6 t ha^{-1} de palha, para os dois espaçamentos, sendo que a maior retenção ocorreu aos 45 cm entre linhas. O aumento da retenção de água na palha foi proporcional ao aumento da quantidade de palha na superfície do solo.

No dossel de plantas, a retenção foi menor no início e maior no final, com o desenvolvimento da cultura (maior IAF).

No solo a retenção de água foi maior onde havia menos palha (0 t).

A retenção de água na palha foi maior na fase inicial da cultura, e, na maior quantidade de palha em cobertura (6 t ha^{-1}) na cultura do feijão, sendo que no solo a retenção foi maior no início do desenvolvimento da cultura do feijão.

No dossel de plantas no início havia menor retenção de água (1 mm de 8,5 mm), e com o desenvolvimento da cultura esse valor aumentou, chegando ao máximo com o maior valor de IAF (2,8 mm de 8,5 mm) no feijão.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, E.; HSIAO, T. C.; HENDERSON, D. W. **Immediate and Subsequent Growth Responses of Maize** Leaves to Changes in Water Status. *Plant Physiol.*, v.48, p.631-636, 1971.

ALBUQUERQUE, J. A., REINERT, D. J., FIORIN, J. E., RUEDELL, J., PETRERE, C., FONTINELLI, F. **Rotação de culturas e sistemas de manejo do solo: efeito sobre a forma da estrutura do solo ao final de sete anos.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v.19, p.115-119, 1995.

ALCANTARA, J.P; RAMALHO, M.A.P.; ABREU, A. ; SANTOS,J.B. **Avaliação de cultivares de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) em diferentes densidades de semeadura e condições de ambiente.** *Ciência e Prática*. Lavras, v.15, n.4, p.331-428, 1991.

AMADO, T.J.C; COGO, N.P.; LEVIEN, R. **Eficácia relativa do manejo do resíduo cultural da soja na redução das perdas de solo por erosão hídrica.** *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, vol. 13, n.2 , p.251-257:1989.

ANDRADE, F.H.; ANDRADE, F.H; CIRILO, A.; UHART, S.; OTEGUI, M. **Ecofisiologia del cultivo de maiz.** Buenos Aires: Dekalb Press, 292p. 1996.

ANDRADE LIMA, P. R.; LEOPOLDO, P. R. **Interceptação de chuva por mata ciliar na região central do Estado de São Paulo.** *Energia na Agricultura*, v. 14, n.3, p. 25-33, 1999

ARAUJO, W. F., SAMPAIO, R. A; DE MEDEIROS, R. D. **Irrigação e Adubação nitrogenada em milho.** *Scientia Agrícola*. v.56, n 4, p.909-914. Out/dez, 1999.

ARCOVA, F.S; CICCIO, V. de; ROCHA, P. A. **Precipitação Efetiva e Interceptação das Chuvas por Floresta de Mata Atlântica em uma Microbacia.** *Revista Árvore*, Viçosa, v.27, n.2, p.257-262, 2003. Disponível em. Acesso em 19/fev/2007. 2000.

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F.; SANGOI, L. **Arranjo de plantas em milho: análise do estado-da-arte.** *Ciência Rural*, Santa Maria, v.31, p.1075-1084, 2001a.

ARGENTA, G.; SANGOI, G.; SILVA, P.R.F. da.; RAMPAZZO, C.; GRACIETTI, L.C.; STRIEDER, M. FORSTHOFER, E.L.; SUHRE, E. **Potencial de rendimento de grãos de milho em dois ambientes e cinco sistemas de produção.** *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v.4, p. 27-34, 2003.

ARGENTA, G., SILVA, P.R.F. da BORTOLINI, C.G., et al. **Resposta de híbridos simples de milho à redução do espaçamento entre linhas**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 2000.

AVELAR, B.C. **Ciclo de crescimento e desenvolvimento de três cultivares de milho e oito épocas de plantio**. In: Congresso nacional de milho e sorgo, 15, 1984. Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte, Embrapa _CNPMS, p.297-306. 1986.

AVILA, A.M.H. de. **Regime de precipitação pluvial no Estado do Rio Grande do Sul com base em series de longo prazo**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1994. 75p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Fitotecnia. Faculdade de Agronomia, UFRGS. 1994.

BALBINOT, A.A.; FLECK, N.G. **Benefícios e limitações da redução do espaçamento entrelinhas**. Revista Plantio Direto, v.5, p.37-41, 2005.

BERGAMASCHI, H. ET AL. **Variations on the Brazilian soybean production related to the drought occurrences – Preliminary analysis**. In: World Soybean Research Conference, 4., 1989, Buenos Aires. Actas Proceedings. Buenos Aires: Orientacion Grafica Editora, p.2153-2158. 1989.

BERLATO, M.A. **As condições de precipitação pluvial no Estado de Rio Grande do Sul e os impactos das estiagens na produção agrícola**. In: BERGAMASCHI, H. (Coord.). Agrometeorologia aplicada à irrigação. Porto Alegre: Editora da Universidade-UFRGS, p. 11-24, 125p. 1992.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6 Ed. Viçosa : UFV. Imprensa. Universitária. 657 p., 1995.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D.; BATISTELA, O. **Propriedades físicas de um cambissolo húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo**. *Scientiae Agrícola*, Piracicaba, v.58, n.3, p.555-60, 2001.

BINGER, R.L.; MUTCHLER, C.K.; MURPHREE, C.E. **Predictive capabilities of erosion models for diferents storm sizes**. Transactions of the ASAE, st Joseph, v.35, n.2, p.505-513, 1992.

BOLAÑOS, J.; EDMÉADES, G. **The importance of the anthesis-silking interval in breeding for drought tolerance in tropical maize**. Field Crops Research, Amsterdam, v.31, p.233-252, 1996.

BRADY, N. C. **Natureza e propriedades dos solos**. 6 Ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 647 p. 1983.

BRAGAGNOLO, N., Et al. **Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo**. Revista Brasileira De Ciência Do Solo, v.14, p.369-374, 1990.

BRAUNWORTH, W.S. & MACK, H. J. **Evapotranspiration and yield comparisons among soil-water-balance and climate-based equations for irrigation scheduling of sweet corn.** Agronomy Journal, v.79; p.837-841,1987.

CABELGUENNE, M.; JONES, C. A.; WILLIAMS, J. R. **Strategies for Limited Irrigations of Maize in Southwestern France-A Modeling Approach.** Trans. Of the ASAE, V.38(2), p.507-511, 1995.

CAMP, C.R.; CHRISTENBURY, D.; DOTY, W. **Scheduling Irrigation for Corn and Soybean in the Southeastern Coastal Plain.** Transactions of the ASAE. v. 31 (2), p. 513-518, 1988.

CARLESSO, R. & SANTOS, R. F.. **Disponibilidade de água às plantas de milho em solos de diferentes texturas.** Revista Brasileira da Ciência do Solo. v 23; p.17-25.1999.

CARLESSO, R.; PEITER, M.X.; CHRISTOFARI, C. P.; WOLSCHICK, D. **Manejo da Irrigação do milho a partir da evapotranspiração máxima da cultura.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 20, n. 1, p. 15-23, jan. 2000.

CARLESSO, R. **Disponibilidade de água as plantas em solos arenosos.** In: Plantio direto em solos arenosos: alternativas de manejo para a sustentabilidade agropecuária, p.21-51. PPG – agronomia, CCR - UFSM, 1998.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, F.L. **Água no solo: parâmetros para dimensionamentos de sistemas de irrigação.** Santa Maria, Imprensa Universitária, 65p., 2000.

CARLESSO et al. **Disponibilidade, eficiência e racionalidade na utilização de recursos hídricos.** Ciência e Ambiente, v.1, n.1, p. 103-118, 2001.

CASA, R.T.; REIS, E.D.; **Doenças na cultura do milho, estratégias de manejo para alta produtividade.** Piracicaba, ESALQ/USP, 2003, v.4, p.1-18.

CASTRO, O.M. de. **Preparo do solo para a cultura do milho.** Campinas: Fundação Cargil, 41p. (Fundação Cargil. Serie técnica 3) ; 1989.

CARVALHO, F.L.C; COGO, N.P; LEVIEN, R. **Eficácia relativa de doses e formas de manejo de resíduos culturais de trigo na redução da erosão hídrica.** Revista Brasileira de Ciências do solo, v.14, n.2, p. 227-234, 1990.

CICCO, V. et al. **Interceptação das chuvas por floresta natural secundária de Mata Atlântica CE São Paulo.** Silvicultura em São Paulo, v. 20/22, p. 25-30, 1986/88.

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

COGO, N.P. **Effect of residue cover, tillage-induced roughness, and slope length on erosion and related parameters.** 1981. 346 f. Thesis (Ph.D. in Agronomy) - Purdue University, West Lafayette, Indiana, 1981.

CONTE, M. DE; LEOPOLDO, P. **Estação de água de chuva pela cultura do milho.** Engenharia Agrícola, Botucatu, SP. V.10, n.1, p.47-55, 1986.

COSTA, N.M; BRANDAO, S.S.; GALVAO, J.D, GOMES, F.R;. **Efeito do espaçamento entre fileiras da densidade na fileira sobre a produção de grãos e outras características da soja (Glicine Max L).** Experimentiae, Viçosa, v.12, n.12, p.431-476, 1971.

COTRIM, C.E.; et al. **Desempenho de um sistema de irrigação tipo pivô central de baixa pressão.** Irrigação e tecnologia moderna – ITEM, Brasília, n.33, p.21-27. 1998.

CRUZ, J.C. **Effect of crop rotation and tillage systems on some soil properties, root distribution and crop production.** 220f. (Tese Doutorado) – Purdue University, West Lafayette. 1982.

DALMAGO, G.A., BERGAMASCHI, H., BIANCHI, C.A.M., BERGONCI, J.I. & COMIRAN, F. **Evaporação da água na superfície do solo em sistemas de semeadura direta e convencional de milho.** XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Anais..., 2003.

DARIVA, T.; JOBIM, J.D.C.; SILVA, M.D. da. **Efeito do espaçamento e da densidade de plantio sobre o rendimento de grãos na cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Revista do Centro de Ciências Rurais, Santa Maria, v.5, n.4, p.259-264, 1975.

DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. **The effects of soil moisture stress at different stages of growth on the development and yield of corn.** Agronomy Journal, Madison, v.52, p.272-274, 1960.

DERPSCH, R.; ROTH, C.H.; SIDIRAS, N.; KOPKE, U. **Controle da erosão no Paraná., Brasil: sistemas de cobertura do solo, plantio direto e preparo conservacionista do solo.** Eschborn: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ)/Londrina: IAPAR, 272p. (Sonderpublikation der GTZ, n.245) 1991.

DOORENBOS, J., & PRUIT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements.** 2. ed. Roma: FAO, 179p. (Irrigation and Drainage, Paper 24). 1975.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos.** Roma: FAO, 212 p. (estúdio FAO : Riego y Drenaje, 33) 1979.

DOORENBOS, J., & KASSAN, A. H. **Yield response to water.** Rome: FAO, 306p. (Irrigation and Drainage, Paper 33). 1979.

DUTRA, L.G.; RIBEIRO, M.J. del P.; MORAES, E.A.; BRAGA, T.M. **Da resposta diferencial de duas variedades de feijão a interação entre níveis de fósforo, espaçamento entre fileiras e densidade nas fileiras sobre a produção de grãos e outras características agrônômicas da cultura.** In: EMGOPA (Goiânia, GO). Relatório técnico UEPAE-1. Goiânia, p.44-45. 1977.

DUVICK, D.N., CASSMAN, K.G. **Post-green revolution in yield potential of temperate maize in the north-central united states.** Crop Science, Madison, v.39, p.1622-1630, 1999.

ECK, H.V. **Effects of water deficits on yield, yield components, and water use efficiency of irrigated corn.** Agronomy Journal. 75.1035-1040, 1999.

EDWARDS, W.M; OWENS, L.B. **Large storm effects on total soil erosion.** Journal os |Soil and Water Conservation, Ankeny, v.46, n.1, p.75-78, 1991.

ELTZ, F. L. F., PEIXOTO, R. T. G., JASTER, F. **Efeitos de sistemas de preparo do solo nas propriedades físicas e químicas de um Latossolo Bruno Álico.** R. Bras. Ci. Solo, Campinas, 13:249-267, 1989.

EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos.** Manual de métodos de análise solo. 2 Ed. Rio de Janeiro. Embrapa-cnps, 212p. 1997.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Brasília. Embrapa, 412p. 1999b.

ESPINDOLA, E.A. **Resposta de três cultivares de soja *Glycine max* (L.) Merrill à população de plantas, correção da acidez e adubação do solo.** Pelotas: UFPEL, 1978, 105p. Dissertação de mestrado

FANCELLI, A. L. **Irrigação por aspersão no Rio Grande do Sul.** Santa Maria, RS. 2001.

FANCELLI, A.L.; DOURADO-NETO, D. **Tecnologia da produção do milho.** Piracicaba. Publique. 1997. 174p.

FANCELLI, A.L. **Sistemas de produção de feijão irrigado.** Piracicaba, FEALQ/ESALQ/USP, 2001.211p.

FAO/UNESCO. **Soil characteristics** from FAO. Disponível em: <http://daac.gsfc.nasa.gov/>.

FISCHER, K. S.; PALMER, F.E. **Tropical maize.** In: Goldsworthy, P.R.; Fisher, N.M. (ed.). The physiology of tropical field crops. Wiley. p.231-248. 1984.

FRANKEN, W; LEOPOLDO, P.R., MATSUI, E.; RIBEIRO, M.N.G. **Interceptação das precipitações em floresta amazônica de terra firme.** *Acta Amazonica*, 12 (suplemento): 15-22. 1982a.

GOFF, B.F.; BENT, G.C.; HART, G.E. **Influence of rainfall intensity on the interrill erodibility of two rangeland soils.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.37, n.5p.1445-1448, 1994.

GUANDIQUE, M.E. **Balço hídrico no solo e consumo de água pela cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado.** Piracicaba, 1993. 94 p. Dissertação

(mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de agricultura Luis de Queiroz, USP. 1993.

HARVEY, A.M. **Geomorphological response to an extreme flood: a case from Southeast Spain**. *Earth Surface Processes, Landforms*, v.9, p.267-279; 1984.

HELVEY, J.D. **Interception by Eastern White Pine**. *Water Resources Research*, Washington, 3 (3): 723-729. 1967.

HELVEY, J. D. & PATRIC, J. H.. **Design criteria for interception studies**. *International Association of Scientific Hydrology, Symposium Design of Hydrological Networks*, Publication n° 87: 131-137. 1965a.

HELVEY, J. D. & PATRIC, H.H.. **Canopy and litter interception of rainfall by hardwoods of Eastern United States**. *Water Resources Research*, Washington, 1(2): 193-206. 1965b.

HERNANI, L.C.; SALTON, J.C.; FABRICIO, A.C.; DEDECEK, R.; ALVES JUNIOR, M. **Perdas por erosão e rendimentos de soja e de trigo em diferentes sistemas de preparo de um Latossolo roxo de Dourados – MS**. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa – MG, v.21, n.4, p.667-676, 1997

HILLEL, D. **Solo e água: fenômenos e princípios físicos**. 1. Ed. Porto Alegre, Departamento de Solos/UFRGS, 231 p.; 1970.

HILLEL, D. **Fundamentals of soil physics**. Academic Press, San Diego, California, 1980.

HORNER, W.W.; JENS, S.W. **Surface runoff determination from rainfall without using coefficients**. *Transactions of the ASCE*, v.107, p.1039-1117, 1941.

HOWELL, T.A. **Irrigation role in enhancing water use efficiency**. In: *National Irrigation Symposium*. American Society of Agricultural Engineers, Phoenix, Arizona, p.66-80. 2000.

HOWELL, T.A.; Hiller, E.A. **Optimization of water use efficiency under high frequency irrigation – I. Evapotranspiration and yield relationship**. *Transactions of the ASAE*, v.18, p.873-878. 1995.

IBGE. 1990 E 1999. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Anuário Estatístico do Brasil**, 2001.

JADOSKI, S. O. **População, espaçamento de plantas e manejo da irrigação para a cultura do feijoeiro**. Santa Maria: UFSM, 1999. 111p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água e Solo) Universidade Federal de Santa Maria, 1999.

JARDIM, F.C.S; HOSOKAWA, R.T.. **Estrutura da floresta equatorial úmida da estação experimental de silvicultura tropical do INPA.** *Acta Amazonica*, v.16(17), p.411-508. 1986/87.

JENSEN, M.E. **Design and operation of farm irrigation system.** St. Joseph(MI), ASAE, 1981.

JORDAN, C.F.; HEUVELDOP, J. **The water budget of an Amazonian rainforest.** *Acta Amazônica*, v.11;; p.87-92. 1981.

KASELE, I.N.; NYIRENDA, F.; SHANAHAN, J.J. et al. **Ethephon alters corn growth, water use, and grain yield under drought stress.** *Agronomy Journal*, Madison, v.86, p.283-288, 1994.

KASPERBAUER, M.J.; KARLEN, D.L.**Plant spacing and reflected far-red light effects on phytochrome-regulated photosynthate allocation in corn seedlings.** *Crop Science*, Madison, v.34, n.6, p.1564-1569, 1994.

KELSO, G. **Ring infiltration rates under center-pivot irrigation systems.** *American Society of Agricultural Engeniers*, n.2517, 26p. 1983.

KIEHL, J. K. **Manual de edafologia.** Relações solo-planta. São Paulo: Ceres. 262 p. 1979.

LAMM, F. L.; MANGES, H. L.; STONE, L. R. et al. **Water Requirement of subsurface drip-irrigated corn in northwest Kansan.** *Transactions of the ASAE*. V.38 (2): p. 441-448. 1995.

LEPSCH, I. F. **Influência dos fatores edáficos na produção.** In: CASTRO, P. R. C., FERREIRA, S.O., YAMADA, T. *Ecofisiologia da produção agrícola.* Piracicaba: POTAFOS, 1987, p. 83-100.

LEWIS, A. **A água para o mundo.** Recorde. Rio de Janeiro. 1965.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo.** 3 Ed. São Paulo : ESALQ-USP, 497 p. 1995.

LIMA, W.P. **Interceptação da chuva por povoamentos de eucaliptos e de pinheiros.** *IPEF*, Piracicaba, v.13; p. 75-90,1976.

LIMA. P.R.A.; LEOPOLDO; P.R. **Interceptação de Chuva por Mata Ciliar na Região Central do Estado de São Paulo**, 1997. Disponível em: <http://www.fca.unesp.br/posgradua/energia/revista/V14n3> Acesso em 23/fev/07.

LOPES, P.R.C. **Relações da erosão com tipos e quantidades de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo.** 1984. 119 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1984.

LOPES, A.C. **Coeficientes de cultura e relação Etr/Etc para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris*) irrigado.** Viçosa, 1989. 76 p. Dissertação (mestrado em engenharia agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1989

LOPES, P.R.C; COGO, N.P.; LEVIEN, R. **Eficácia relativa de tipo e quantidade de resíduos culturais espalhados uniformemente sobre o solo na redução da erosão hídrica.** Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas. V.11, n.1, p.71-75, 1987.

LOOMIS, R.S., CONNORS, D.J. **Crop ecology: productivity and management in agricultural systems.** Cambridge : Cambridge University, 550p. 1992.

LUPATINI, G. C. **Milho para produção de qualidade.** In: Confinamento, pastagens e suplementação para produção de bovinos de corte. UFSM. Santa Maria, RS. 1999.

MALUF, J.R. et al. **Agroclimatologia do Estado do Rio Grande do Sul: IV – Balanço hídrico, normal climatológica 1912 – 1975.** In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 2., 1981, Pelotas. Resumos ampliados. Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, p.57-93.; 1981.

MANNERING, J.V.; MEYER, L.D. **The effect of various rates of surface mulch an infiltration and erosion.** Soil Science Society of American Proceeding, Madison, v.27, n.1, p.84-6, 1963.

MARINATO, R. **Irrigação em milho.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.6, n.72, p.42-45, dez.1980.

MASSIGMAN, A. **Ecofisiologia do feijoeiro.** V. Relação entre o rendimento de grãos e a deficiência hídrica do solo. Rev. Bras. de Agrometeorologia, v.6, n.1, p.63-68, 1998.

MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H.; BERLATO, M. et al. **Evapotranspiração da cultura do milho.** II. Relação com a evapotranspiração de Tanque Classe A, com a evapotranspiração de referência e com a radiação solar global, em três épocas de semeadura. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 15-21, 1998.

MATZENAUER, R. & SUTILI, R. **A água na cultura do milho.** Ipagro Informa, v.26: p.17-32 ;1983.

MATZENAUER, R. et al. **Evapotranspiração da cultura do milho.** I – efeito de épocas de semeadura. Revista Brasileira de Agrometeorologia Santa Maria, v.6, n.1, p.9-14, 1998a.

MATZENAUER, R. et al. **Análise agroclimática das disponibilidades hídricas para a cultura da soja na região do planalto médio do Rio Grande do Sul.** Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, v.6, n.2, p.263-275, 1998b.

MATZENAUER, R. et al. **Relações entre a evapotranspiração máxima do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) com a evapotranspiração de referência e com a**

radiação solar global. Revista Brasileira de Agrometeorologia. Santa Maria, v.7, n.2, p.173-178, 1999.

MATZENAUER, R.; WESTPHALEN, S.L.; BERGAMASCHI,H.; SUTILL, V.R. **Evapotranspiração do milho (Zea mays L) e sua relação com a evaporação do tanque classe A.** Agronomia Sulriograndense, Porto Alegre, v.17, n.2, p.273-295, 1981.

MEDEIROS, S. L. P.; WEATPHALEN, S. L.; MATZENAUER, R. et al. **Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 26(1): p.1-10 ,1991.

MEDINA, S.G. **Estudio de la densidad de siembra óptima para producción de semilla de poroto.** Alubia em primavera, bajo riego. Salta: INTA, 30p. 1992.

MEYER, L.D. **Rainfall simulators for soil erosion research.** In: LAL, R. Soil Erosion Research Methods. Delray Beach: ST. Lucie Press. p.83-103. 1994.

MELO FILHO, J. F., SILVA, J. R. C. **Erosão, teor de água no solo e produtividade do milho em plantio direto e preparo convencional de um Podzólico Vermelho-Amarelo no Ceará.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.17; p.291-297, 1993.

MEROTTO JUNIOR, A.; ALMEIDA, M.L.; FUCHS, O. **Aumento no rendimento de grãos de milho através do aumento da população de plantas.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 27, p. 549-554, 1999.

MICHELE, A. S. **Precipitación e Intercepción en Ecosistemas Boscosos de los Andes Venezolanos.** Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas (ICAE), Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela. Disponível em . Acesso em 23/fev/07.

MIRANDA, R.A; BUTLER,D.R.**Interception of rainfall in a hedgerow apple orchard.** Journal of Hidrology, v.87, p.245-253.1986.

MORENO, J. **Clima do Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: secretaria de agricultura e abastecimento, diretoria de terras e colonização, secção de geografia, 1961.

MOREIRA, J.A.; SANTOS, A.B.; DINIZ, A. **Relação massa/volume e retenção de água de um Latossolo Vermelho-Amarelo de Jussara, GO.** In: Congresso Brasileiro de ciência do solo, 25. 1995, Viçosa. Resumos...Viçosa: SBCS/UFV, v3.; p.1746-1748. 1995.

MOREIRA, J.A.; STONE, L.F.; SILVA, S.C., SILVEIRA, P.M. **Irrigação do feijoeiro no sistema plantio direto.** Santo Antonio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, 1999. 31p. (Embrapa Arroz e Feijão, circular técnica, 33).

MOURA, R.L. de COSTA, M.S.S.; ROMILDO, E.P. MENDES, C.V. **Efeitos da adubação nitrogenada, do espaçamento e densidade de semeadura sobre o**

rendimento do feijão. In: REUNIÃO TÉCNICA ANUAL DO FEIJÃO, 14, 1977 Porto Alegre: IPAGRO, p.79-86. 1977

MUNDSTOCK, C.M. **Densidade de semeadura de milho para o Rio grande do Sul.** Porto Alegre: UFRGS; ASCAR. 35p. 1977. (Boletim técnico, 1).

MUNDSTOCK, C.M.; SILVA, P.R.F.da. **Manejo da cultura do milho.** Porto Alegre: UFRGS, 76 p. 1989. (Boletim técnico).

MUNDSTOCK, C.M. **Densidade de semeadura no milho para o Rio Grande do Sul.** Porto Alegre: UFRGS/ASCAR, 35p. 1977a.

MUNDSTOCK, C.M. **Milho: distribuição da distância entre linhas.** Lavoura Arrozeira, Porto Alegre, n.299, p.28-29, 1977b.

MUNDSTOCK, C.M., SILVA, P.R.F. da. **Manejo da cultura do milho.** Porto Alegre: UFRGS, Faculdade de Agronomia, Departamento de Plantas de Lavoura, 1989. 76p. (Datilografado)

NeSMITH, D.S.; RITCHIE, J. **Short-and Long-Term Response of Corn to a Pre-Anthesis Soil Water Deficit.** Agronomy Journal, v.84; p.107-113, 1992.

NORTON, L.D.; BROWN, L.C.; **Time – effect on water erosion for ridge tillage.** Transactions of the ASAE, v.35, p.473-478, 1992.

OTTMAN, M. J.; WELCH, L.F. **Planting patterns and radiation interception, plant nutrient and yield in corn.** Agronomy journal, Madison, v.81, n.2, p.167-174, 1989.

PAEZ, A.; GONZALES, M.E.; YRAUSQUIN, O.X.; et al. **Water stress and clipping management effects on guineagrass: I. Growth and biomass allocation.** Agronomy Journal, Madison, v.87, p.698-706, 1995.

PAZ, V.P.S.; TEODORO, R.E.F. & MEDONÇA, F.C. **Recursos Hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.4, n.3, p.465-473, 2000.

PEIXOTO, C.M. **Mais plantas, menos espaço.** Cultivar, Pelotas, p. 25-28, 2002.

POTAFOS. **Seminário sobre fisiologia de produção e manejo de água e de nutrientes na cultura do milho de alta produtividade.** Departamento de Agricultura, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP. 11-12/04-1996.

PRUSKI, F.F.; SILVA, D.D.; SANTOS, W.L.; RODRIGUES, L.N.; ANTUNES, V.L. **Infiltração da água no solo.** Viçosa - MG: *Engenharia na Agricultura*, 26 p. (Caderno Didático, 25). 1997.

PRUSKI, F.F. **Aplicação de modelos físicos -matemáticos para a conservação de água e solo.** In: SILVA, D.D. PRUSKI, F.F. (Coord.). Recursos hídricos e desenvolvimento sustentável da agricultura. Viçosa, MG: UFV, p.129 -72. 1997.

QUEIRÓZ, J. E.; CALHEIROS, C. B. M.; PESSOA, P. C. S. et al. **Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro**: Terra como fator limitante da produção. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v. 31, n. 1, p. 55-61, 1996.

QUEIROZ, E.F. **Efeito da época de plantio e população sobre o rendimento e outras características agrônômicas de quatro cultivares de soja, *Glycine max* (L.) Merrill**. Porto Alegre: UFRGS, 1975.108p. Dissertação de Mestrado.

RAO, A.S. **Interchew trees**. Journal of Hydrology, v.90, p.293-301. 1987.

READ, R.G. **Microclimate as background environment for ecological studies of insects in a tropical forest**. Journal of Applied Meteorology, v.16; p. 1282-1291. 1977.

REYNOLDS, E.R. & LEYTON, L.. **Measurement and significance of throughfall in forest stands**. In: *The Water Relations of Plants*. Blackwell Scientific Publication, London: p. 127-141. 1963.

RESENDE, M.; FRANÇO,G.E.; COUTO, L.; **Cultivo de milho irrigado**. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003, 39p. (Embrapa milho e sorgo, Circular técnica, 6)

REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. 1. Ed. São Paulo, Manole, 1990. 188p.

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

RITCHIE, J. T. & JOHNSON, B. S. **Soil and plant factors affecting evaporation**. Madison: ASA, CSSA, and SSSA, p. 363-390, 1990.

ROBINS, J. S. & DOMINGO, C. E. **Some effects of severe soil moisture deficits as specific growth stages in corn**. Agronomy Journal.v. 45; p.618-621, 1953.

ROCHA, J.A.M. **Produção de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em populações variáveis quanto ao número e ao arranjo de plantas**. Piracicaba: USP-ESALQ, 1991. 48p. Dissertação de Mestrado.

ROGERSON, T.L. & BYRNES, W.R.. **Net rainfall under hardwoods and red pine in Central Pennsylvania**. Water Resources Research, Washington,v.4(1); p.55-57.1968.

SAEG. **Sistema para análises estatísticas**. Fundação Arthur Bernardes. Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais. www.saeg.com.br; versão 9.1 – 2006.

SALATI, E.; SCHUBART, H. O. R.; JUNK, W.; OLIVEIRA, A.E.O. **Amazônia: desenvolvimento, integração e ecologia**. Brasiliense/CNPq, 1985.

SALTON, J.C.; MIELNICZUUK, J. **Relações entre sistemas de preparo, temperatura e umidade de um podzólico Vermelho-escuro de Eldorado do Sul (RS)**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v.19; n.2, p.313-319, 1995.

SANGOI, L. **Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield**. Ciência Rural, Santa Maria, 2000,.

SANGOI, L. **Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield**. Ciência Rural, Santa Maria, v.31, p.159-168, 2001.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F.; ALMEIDA, M.L.; HEBERLE, P.C. **Row spacing reduction influencing maize grain yield in regions with a short summer**. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, 861-869, 2001b.

SANGOI, L.; GRACIETTI, M.A.; RAMPAZZO, C.; BIANCHET, P. **Response of Brazilian maize hybrids from different eras to changes in plant density**. Field Crops Research, Amsterdã, v.79, p.39-51, 2002a.

SANGOI, L.; SILVA, P.R.F.; ARGENTA, G.; HORN, D. **Bases morfofisiológicas para aumentar a tolerância de cultivares de milho a altas densidades de plantas**. In: REUNIÃO TÉCNICA CATARINENSE DE MILHO E FEIJÃO, 4., 2003, Lages, SC. Resumos Expandidos... Lages: CAV-UDESC, p.19-24. 2003.

SANGOI, L.; ENDER, M.; GUIDOLIN, A.F. Influence of row spacing reduction on maize grain yield in regions with a short summer. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.6, p.861-869, 2001.

SANTA CECILIA, F.C.; RAMALHO, M.A.P.; SOUZA, A.F. de. **Efeitos do espaçamento de plantio na cultura do feijão**. Agros, Lavras, v.4, n.1, p.11-21, 1974.

SANTOS, R.Z.; ANDRÉ, R.G. **Consumo de água nos diferentes estádios de crescimento da cultura do feijoeiro**. Pesquisa Agropecuária Brasileiro, Brasília, v.27, p.534-48, 1992.

SILVA, C.C. da BEVITORI, R. **Colheita e beneficiamento de feijão**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.17, n.178, p.54-63, 1994.

SILVA, P.R.F. da. **Densidade e arranjo de plantas em milho**. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19, 1992, Porto Alegre, RS. Conferências... Porto Alegre: Secretaria da Agricultura – CIENTEC-ABMS, p.291-294. 1992.

SILVEIRA, R. C.; SALVADOR, N. **Uso de um simulador de chuvas no estudo de perdas de solo e água em parcelas com resíduos culturais de milho**. Revista Ciência Agrotécnica, Lavras, v.24, n.3, p.718-729, jul/set , 2000.

SIMONE, M. de FAILDE, V.; GARCIA, S. PANADERO, P.C. **Adaptación de variedades y líneas de judías secas (*Phaseolus vulgaris* L.) alare colección mecanica directa.** Salta : INTA, 5p. 1992.

SMITH, M.K.. **Throughfall, stemflow and interception in pine and eucalypt forest.** Australian Forestry, Canberra, 36(3): 190-197. 1973.

STEELE, D. D.; STEGMAN, E. C.; GREGOR, B. L. **Field comparisons of irrigation scheduling methods for corn.** Transactions of the ASAE, v.37 (4); p.1197-1203. 1994.

STEGMAN, E. C. **Efficient irrigation timing methods for corn production.** Trans. of the ASAE. V.29(1); p.203-210, 1986

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. **Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.34, n.1, p.83-91, 1999.

STRIEDER, M.L.; SILVA, P.R.F.; RAMBO, L.; ARGENTA, G.; SANGOI, L.; SILVA, A.A. ENDRIGO, P.C. **A resposta do milho irrigado ao espaçamento entrelinhas depende do híbrido e da densidade de plantas.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.41, 2006.

SOARES, J. **Introdução a Hidrologia de Florestas.** Capítulo 6 – Evaporação e evapotranspiração. Set/2004. Disponível em: . Acesso em 22 fev 07.

SOARES, A. S. **Modelo para avaliação do efeito de déficit e do excesso hídrico sobre o rendimento do milho na localidade de Urussanga,** Piracicaba, SP. 88p. (Mestrado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. 1996 .

SWANK, W.T.; GOEBEL, N.B. & HELVEY, J.D. **Interception loss in loblolly pine standsof the South Carolina Piedmont.** Journal of Soil and Water Conservation, Ankeny, v.27(4); p.160-164. 1972.

SWANSON, N.P.; DEDRICK, A.R.; WEAKLY, H.E.; HAISE, H.R. **Evaluation of mulches for water-erosion control.** Transactions of the ASAE, St. Joseph, v.8, n.3, p.438-40, 1965

TAIZ, L.; ZEGER. **Plant Physiology.** California: The Benjamin/Cummings Publishing Company, Inc.; Redwood City, 1991.

THOMAZ, E L **Processos hidrogeomorfológicos e o uso da terra em ambiente subtropical** – Guarapuava–PR São Paulo, Tese (Doutorado em Ciência, área Geografia Física) – Faculdade de Filosofia Letras Ciências Humanas, Universidade de São Paulo. , 2005.

TOLLENAAR, M. **Is low plant density a stress in maize?** Maydica, Bergamo, v.37, n.2, p.305-311, 1992.

TOLLENAAR, M.; LEE, E. **Yield potential, yield stability and stress tolerance in maize**. Field Crops Research, Amsterdam, v. 75, p. 161-169, 2002.

TONELLO, K.; CARDOSO, C. A.; DIAS, H.; SILVA, A.; ALVES, M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. **Precipitação efetiva em plantios de Pinus**. Revista da Madeira, v.14, n. 83, agosto.2004.

TUCCI, C.E.M. 1993. Interceptação. In: Tucci, C. E. M., (org), **Hidrologia: ciência e aplicação**. Porto Alegre, ABRH/Editora da Universidade/UFRGS, EDUSP. p. 243-252.

UBARANA, V. N. **Observations and modelling of rainfall interception at two experimental sites in Amazônia**. In Amazônia Deforestation and Climate, eds. Gash, J. H. C.; Nobre, C. A.; Roberts, J. M.; Victoria, R. L., 1996.

VALADÃO, L.T.; KLAR, A. **Evapotranspiração do feijoeiro comum (phaseolus vulgaris L.), em dois níveis do lençol freático**. In: Congresso Nacional de Irrigação e drenagem, 11, Campinas, 1996. Anais... Campinas: Associação Brasileira de irrigação e drenagem, v.1, p.163-176. 1996.

VIEIRA, M.J. **Propriedades físicas do solo**. In: IAPAR. Plantio Direto no Estado do Paraná. Londrina, cap.2, p.19-32. 1981 (IAPAR. Circular, 23).

VIETS, F.G. **Fertilizers and efficient use of water**. Advances in Agronomy, v.14, p.223-264. 1962.

WAINWRIGHT, J. **Infiltration, runoff and erosion characteristics of agricultural land in extreme storm events**, SE France. Catena, v.26, p.27-47, 1996.

ZINKE, P.J.. **Forest interception studies in the United States**. In: International Symposium on Forest Hydrology. Pergamon-Press, New York. 1967.

ANEXOS

5 m

2 m

Feijão

Milho

1ª repetição

2ª repetição

3ª repetição

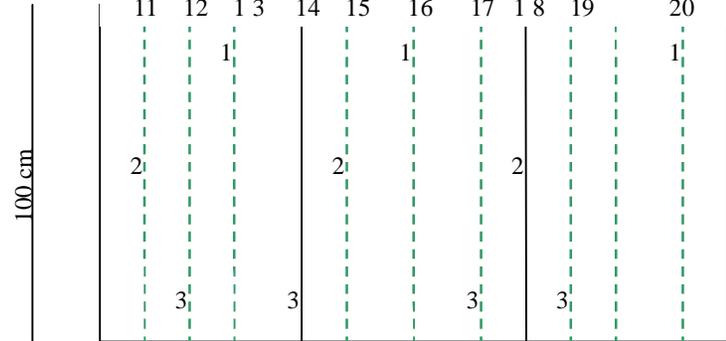
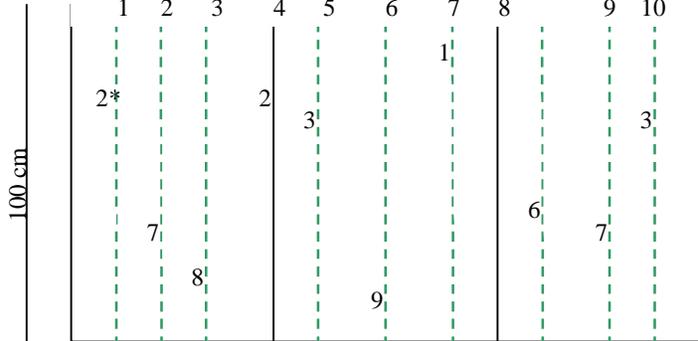
1ª repetição

2ª repetição

3ª repetição

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

11 12 13 14 15 16 17 18 19 20



45 cm

180 cm

640 cm

45 cm

180 cm

640 cm

2,5 m

Milho

Milho

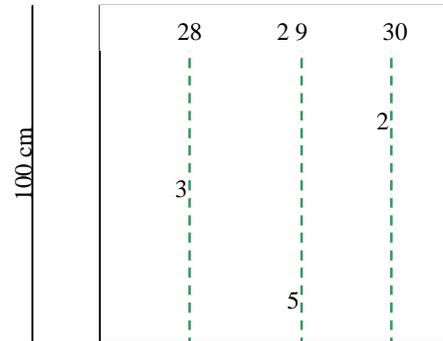
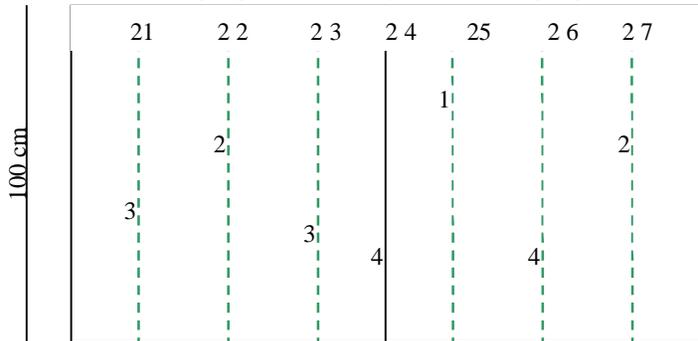
3ª repetição

1ª repetição

2ª repetição

21 22 23 24 25 26 27

28 29 30



100 cm

100 cm

75 cm

300 cm

600 cm

300 cm

1,5 m

* plantas analisadas

PLANETARIO

