

# Perdidas de agua por evaporación en maíz con siembra convencional y directa para diferentes niveles de cobertura muerta. I. resultados experimentales

## *Water losses by evaporation in corn with conventional and zero tilling for different levels of dead covering. I. experimental results*

Juliano Gomes de Andrade<sup>1</sup>; Juan Pacheco Seguí<sup>2</sup>; Reimar Carlesso<sup>3</sup>; Célio Trois<sup>1</sup> y Alberto Eduardo Knies<sup>4,5</sup>

**RESUMEN.** El objetivo del presente trabajo fue cuantificar las pérdidas de agua por evaporación del maíz cultivado en dos sistemas de preparación del suelo; siembra convencional y siembra directa con cobertura muerta. El mismo se desarrolló en el área experimental del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad Federal de Santa María, RS- Brasil, en el período noviembre-diciembre del 2006, desde la siembra del maíz hasta que el índice de área foliar alcanzó el valor de 2.7. La humedad del suelo se midió con TDR en las profundidades de 0-10 y 10-30 cm. Se evaluaron tres niveles de cobertura muerta con cero labranza y un cuarto tratamiento de preparación de suelo convencional sin cobertura muerta. Los resultados demuestran un ahorro de agua del orden del 40% cuando se usa siembra directa con cobertura muerta.

**Palabras clave:** Evapotranspiración del maíz, labranza cero.

**ABSTRACT.** The aim of this experiment was to measure the water loss by evaporation in a crop of maize cultivated in two tillage systems; conventional tillage and zero tillage with dead covering. The experiments were developed on the experimental area belonging to the Department of Rural Engineering, Federal University of Santa Maria, RS-Brazil in the period November-December 2006, since the initial stage of maize crop until the foliar area index reached values of the 2.7. Soil moisture was measured with TDR in the depths of 0-10 and 10-30 cm. Three treatments with zero tillage were studied having three levels of dead coverage represented by 0, 3 and 6 t/ha of dry oat straw and a fourth treatment of conventional soil preparation. The results demonstrated a water savings of around 40% when zero tillage is used with dead coverage.

**Keywords:** Corn evapotranspiration, zero tillage.

## INTRODUCCIÓN

La mayor parte del agua que se pierde del suelo antes de que el follaje cierre el campo, no tiene relación alguna con la conformación del rendimiento de la futura cosecha y es por tanto un consumo que afecta directamente la eficiencia de uso del agua del cultivo.

Se ha demostrado que los sistemas de manejo de suelo afectan de manera diferente su densidad, porosidad y la capa-

cidad de almacenamiento de agua en el perfil, en comparación con el suelo virgen (Da Ros, 1997; Klein & Libardi, 2002; Costa, 2003), lo cual, repercute directamente en el desarrollo y la productividad de los cultivos.

Los resultados de los estudios de uso de cobertura muerta en la superficie del suelo demuestran que disminuye la tasa de evapotranspiración, y siempre se espera que un mayor nivel de cobertura del suelo produzca una significativa economía en los costos de operación de los sistemas de riego (Stone

**Recibido** 20/12/09, aprobado 31/03/11, trabajo 28/11, investigación.

<sup>1</sup> MSc., Sistema Irrigación. Universidad Federal de Santa María, Río Grande del Sur, Brasil.

<sup>2</sup> Dr.C. Profesor Titular. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Central de Las Villas. Carretera de Camajuani Km. 5 Santa Clara, Villa Clara, Cuba. [juanps@uclv.edu.cu](mailto:juanps@uclv.edu.cu).

<sup>3</sup> Dr. Profesor Titular del Dpto. de Ingeniería Rural. Universidad Federal de Santa María, R.S- Brasil.

<sup>4</sup> Ing. Agrónomo. Sistema Irriga. Universidad Federal de Santa María, Río Grande del Sur, Brasil.

<sup>5</sup> Con la colaboración del Ing. Agrónomo Giovani Linassi Alonso especialista en Sistemas de Irrigación, Universidad Federal de Santa María, Río Grande del Sur, Brasil.

& Moreira, 2000). Barros & Hanks (1993) y Moreira y Stone (1995) observaron mayor eficiencia de uso de agua en el sistema de siembra directa con cobertura muerta, en relación con otros sistemas de preparación del suelo. Luego, los parámetros de manejo de la irrigación determinados para las condiciones de preparación convencional de suelo, no siempre satisfacen las necesidades del cultivo para el manejo en condiciones de siembra directa. Bragagnolo (1990) afirman que la cobertura del suelo reduce la pérdida de agua por evaporación y disminuye las oscilaciones de la temperatura del suelo, dependiendo de su humedad y de la insolación.

El objetivo del presente trabajo fue determinar la pérdida de agua del suelo por evaporación en la fase inicial de crecimiento del maíz en dos sistemas de manejo del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento fue conducido en el área experimental del Departamento de Ingeniería Rural de la Universidad Federal de Santa Maria, RS, en el período noviembre-diciembre/2006. El área experimental está situada en la latitud de 29° 41' 24''S y longitud de 53° 48'42''O. El suelo es clasificado como Argisol Rojo distrófico arenoso (Embrapa, 1999). El maíz se sembró a una distancia entre plantas de 20 cm y 80 cm entre hileras, con semilla del híbrido Pioneer 30R53, emergió el día 1/11/06. El diseño experimental usado fue en bloques al azar, factorial (4 x2) con cuatro replicas, en parcelas de 4,0 x 3,2 m, como cobertura se usó paja de avena seca, los tratamientos estudiados se detallan en la Tabla 1. La preparación convencional se realizó manualmente en las parcelas del tratamiento 4 y la siembra se realizó con una sembradora pequeña propia para ese trabajo en todas las parcelas experimentales.

**TABLA 1. Tratamientos estudiados en el cultivo de maíz**

| Tratamiento       | Sistema de Cultivo                | Cobertura de paja en t/ha |
|-------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| 1.SD <sub>0</sub> | Siembra directa                   | 0                         |
| 2.SD <sub>3</sub> | Siembra directa                   | 3                         |
| 3.SD <sub>6</sub> | Siembra directa                   | 6                         |
| 4.SC              | Preparación de suelo convencional | 0                         |

Fueron aplicados 20 kg de N·ha<sup>-1</sup> en siembra y 160 kg de N·ha<sup>-1</sup> en forma de urea a los 20 días después de la emergencia (DDE). Semanalmente se medía la altura y el área foliar de dos plantas por cada parcela. Para la determinación del contenido de agua del suelo se utilizó un TDR 100 y se realizaban lecturas automáticas cada 15 minutos en las profundidades de 0-10 y 10-30 cm. Las irrigaciones se efectuaron por aspersión cuando la humedad de las parcelas descendía a valores que comprometían el normal desarrollo de las plantas. Se aplicaban grandes volúmenes con el fin de saturar por igual todos los tratamientos, sus fechas y las lluvias ocurridas en el periodo de la investigación aparecen en la Tabla 2.

Los análisis de la evaporación se realizaron en dos ciclos de secado correspondientes a los períodos 6-13 de noviembre y 3-9 de diciembre/06 por ser los dos ciclos de secado más largos y corresponderse con momentos bien diferentes en cuanto al área foliar del cultivo. La evapotranspiración de referencia (E<sub>to</sub>) calculada por la fórmula de Penman-Monteith para el área experimental, mostró una media de 4.64 y 5.55 mm/día para el primero y segundo ciclo de secado respectivamente.

**TABLA 2. Ingresos de agua en el suelo por lluvia y riego durante el experimento**

| Día     | Noviembre/06 |        |       |        |        |        |        | Diciembre/06 |        |       |        |
|---------|--------------|--------|-------|--------|--------|--------|--------|--------------|--------|-------|--------|
|         | 5            | 6      | 14    | 16     | 17     | 18     | 19     | 24           | 25     | 2     | 5      |
| mm      | 43,8         | 1,6    | 32,4  | 14,6   | 35,3   | 9,2    | 0,2    | 22,8         | 5,2    | 33,0  | 1,1    |
| Ingreso | Lluvia       | Lluvia | Riego | Lluvia | Lluvia | Lluvia | Lluvia | Lluvia       | Lluvia | Riego | Lluvia |

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La variación de la extracción de agua del suelo en el estrato 0-10 cm para los dos ciclos de secado que se analizaron aparecen en las Figuras 1 y 2. En la Figura 1 se observa que después del humedecimiento del suelo, los tratamientos sin cobertura muerta presentan una alta evaporación de agua al inicio, la que después disminuye sensiblemente por agotarse la humedad en la capa superficial del suelo. En el primer ciclo de secado estudiado, los tratamientos con cobertura muerta, alcanzan el mayor valor de extracción de agua del suelo un día después que aquellos con suelo descubierto, porque en el primer día del ciclo la paja está muy húmeda y aporta la mayor parte de la demanda evaporativa de la atmósfera.

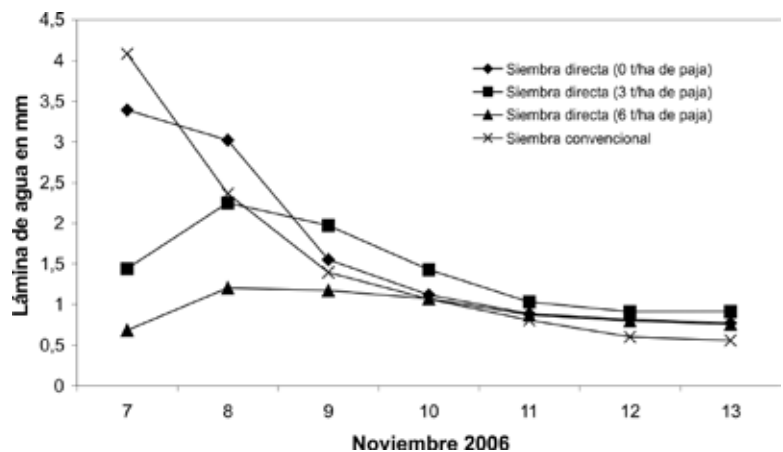


FIGURA 1. Extracción de agua en el estrato 0-10cm en el primer ciclo de secado.

Gajri et al. (1994) en maíz comprobó que la temperatura del suelo a 10 cm de profundidad en el tratamiento con 6 t/ha de paja era menor en seis grados durante los primeros 20 días del cultivo comparado con aquellos con suelo descubierto, pero transcurridos 36 días, esa diferencia se redujo a dos grados.

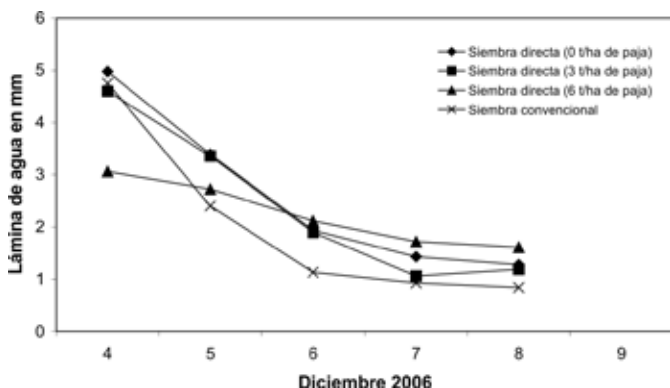


FIGURA 2. Extracción de agua en el estrato 0-10cm para el segundo ciclo de secado.

En el segundo ciclo estudiado (Figura 2), el día donde se produce el máximo valor de extracción coincide para todos los tratamientos, lo que demuestra el efecto homogeneizador producido por el follaje de las plantas y la absorción radical. Además de eso, los valores máximos de extracción alcanzados con 6 t/ha de cobertura muerta son siempre menores que aquellos alcanzados con el suelo descubierto y semejantes a los que reportan los tratamientos sin cobertura a partir del 4to-5to día del ciclo de secado. El tratamiento de siembra convencional muestra los mayores valores de extracción inicialmente y en los días posteriores es superado por el tratamiento de siembra directa sin paja, a partir de que la humedad del suelo desciende de cierto valor. Resultados similares fueron obtenidos por Dalmago (2004). Stone y Moreira (2000) explican

este comportamiento atendiendo a la discontinuidad creada en los poros capilares del suelo en el sistema de preparación convencional, lo cual condiciona una menor evaporación en comparación con el tratamiento de siembra directa cuando el contenido de humedad del suelo es ligeramente inferior a la capacidad de campo. En el último ciclo analizado del 4-9 de diciembre todos los tratamientos muestran valores superiores de extracción, lo que sin dudas obedece a una participación importante de la transpiración de las plantas con IAF=2,70 y a un ligero incremento de la demanda evaporativa de la atmósfera con relación al primer ciclo de secado. Los tratamientos tienen un comportamiento muy semejante en cuanto al valor de la extracción máxima de agua al inicio del ciclo de secado, diferenciándose solamente aquel que presenta 6 t/ha de cobertura muerta, como puede observarse en la Figura 2. El análisis estadístico para la extracción diaria de agua en el perfil 0-10 cm realizado con los valores al inicio de cuatro diferentes ciclos de secado, aparece en la Tabla 3. En la misma puede notarse que 7 días después de la emergencia las diferencias entre todos los tratamientos eran significativas, sin embargo, ellas fueron paulatinamente desapareciendo hasta que a los DDE 34 las diferencias no resultaron significativas. El análisis realizado para comparar la extracción diaria entre SC y SD<sub>0</sub> (Tabla 3) muestra que no existe diferencia significativa entre ellos desde 21 DDE y hasta 34 DDE en el momento de máxima demanda al inicio del ciclo de secado. Se observó que existen diferencias significativas entre los tratamientos de siembra directa a los 7 DDE, las que comienzan a desaparecer a partir de 21 DDE y a los 34 DDE son semejantes todos los tratamientos estudiados. Es de suponer que a los 34 DDE, una mayor área foliar provoca un incremento de la transpiración en los tratamientos con paja y una disminución de la evaporación en aquellos con suelo descubierto, lo que hace semejante la extracción de agua para todos.

TABLA 3. Comparación de medias de la extracción diaria y acumulada, estrato 0-10 cm

| Tratamientos                           | Días después de la emergencia |         |         |         |
|--|-------------------------------|---------|---------|---------|
|  | 7                             | 21      | 27      | 34      |
| Media de la extracción diaria en mm    |                               |         |         |         |
| Siembra convencional                   | 4,09                          | A 3,30  | A 2,70  | AB 4,76 |
| Siembra directa ( 0 t/ha de paja)      | 3,40                          | B 3,35  | A 3,65  | A 4,98  |
| Siembra directa ( 3 t/ha de paja)      | 1,45                          | C 1,76  | B 2,50  | AB 4,61 |
| Siembra directa ( 6 t/ha de paja)      | 0,69                          | D 1,04  | B 1,82  | B 3,07  |
| C.V %                                  | 16,0                          | 31,8    | 29,8    | 26,6    |
| Media de la extracción acumulada en mm |                               |         |         |         |
| Siembra convencional                   | 8,17                          | A 32,27 | A 41,47 | A 56,76 |
| Siembra directa ( 0 t/ha de paja)      | 7,12                          | A 29,17 | A 39,39 | A 53,16 |
| Siembra directa ( 3 t/ha de paja)      | 3,26                          | B 18,90 | B 24,86 | B 43,44 |
| Siembra directa ( 6 t/ha de paja)      | 2,13                          | B 12,75 | C 17,87 | C 28,58 |
| C.V %                                  | 17,6                          | 11,6    | 13,1    | 11,6    |

Medias con letras diferentes difieren significativamente al 5% del error.

La extracción de agua acumulada, para diferentes momentos aparece también en la tabla 3, allí se aprecia que no existe diferencia estadística entre la siembra directa sin paja y la siembra convencional durante los 34 días estudiados y es significativamente menor la pérdida de agua cuando se usan 6 t/ha de paja en comparación con todos los tratamientos estudiados. En la Figura 3,

se aprecia que la pérdida de agua en el estrato 0-10 cm alcanzó valores muy próximos a 55 mm en los tratamientos sin cobertura muerta y valores de 43 y 28 mm para los tratamientos con 3 y 6 t/ha de cobertura muerta respectivamente. La cobertura muerta disminuyó la evaporación de agua del suelo en el perfil 0-10 cm en 18 y 46% para 3 y 6 t/ha de paja respectivamente, en comparación con la siembra directa en suelo desnudo.

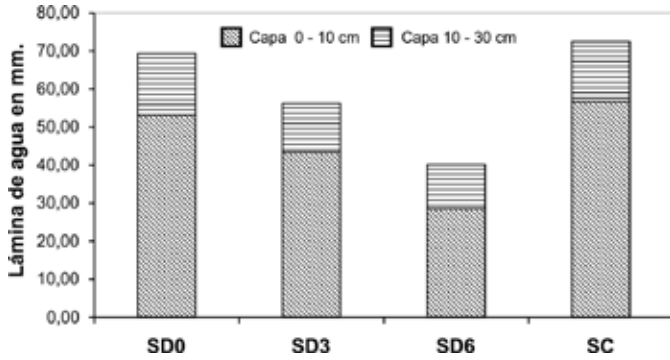


FIGURA 3. Extracción acumulada por tratamientos hasta 34 DDE.

La extracción diaria de agua del suelo en la capa 10-30 cm fue muy baja para los dos ciclos de secado estudiados, en las figuras 4 y 5 se muestra que los más altos valores al inicio de los ciclos de secado corresponden a la siembra convencional. La extracción máxima diaria de agua de ese estrato en todos los tratamientos, presenta valores del orden de 0.5-1.4 mm/día en los momentos de mayor demanda, los valores más altos aparecen en el último ciclo cuando las plantas tenían un mayor desarrollo y probablemente debido al efecto de la absorción radical. El análisis estadístico para la profundidad 10-30 cm (Tabla 4) demostró que al inicio del cultivo, los tratamientos sin cobertura muerta extraen significativamente más agua de ese estrato en comparación con el uso de 6 t/ha de paja, las diferencias desaparecen para 34 DDE, probablemente por la intervención de la absorción radical. La extracción diaria en el estrato 10-30 cm no presenta diferencias significativas entre los tratamientos sin cobertura, como puede verse en la Tabla 4. También puede observarse que la extracción diaria es más alta para la siembra convencional en todas los momentos analizados, los cuales, se corresponden con inicios de ciclos de secado, sin embargo, la siembra convencional no presenta diferencia significativa con la siembra directa sin paja en la ex-

tracción acumulada de agua, porque la siembra convencional pierde más intensamente agua por evaporación al inicio del ciclo de secado, pero los valores de extracción diaria bajan rápidamente, y en los días siguientes el tratamiento de siembra directa sin cobertura (SD<sub>0</sub>), mantiene los más altos valores de extracción (Figuras 4 y 5).

Ello se explica según Phillips (1984) porque debido a la rotura de la continuidad de los poros en la preparación convencional, en la medida que el suelo se seca, forma un estrato aislado en la superficie, el cual funciona como si fuera un "mulching" adicionado a la misma y tiene por tanto, efecto semejante a una camada de paja sobre el suelo. De esta forma en un período de sequía prolongado la evaporación de agua del suelo en siembra directa sin cobertura puede ser mayor que en la preparación convencional, lo que concuerda con el modelo presentado por Lemon (1956).

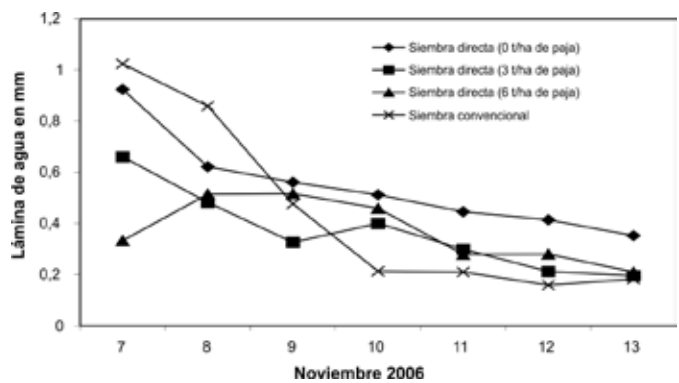


FIGURA 4. Extracción de agua en el estrato 10-30 cm durante el primer ciclo de secado.

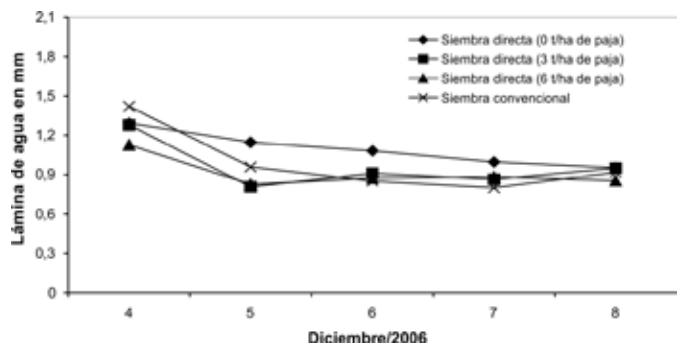


FIGURA 5. Extracción de agua en el estrato 10-30 cm para el segundo ciclo de secado.

TABLA 4. Comparación de medias de la extracción diaria de agua en el estrato 10-30 cm

| Tratamientos                               | Días después de la emergencia |    |      |   |      |   |
|--|-------------------------------|----|------|---|------|---|
|  | 7                             |    | 21   |   | 34   |   |
| <b>Media de la extracción diaria en mm</b> |                               |    |      |   |      |   |
| Siembra convencional                       | 1.01                          | A  | 0.94 | A | 1.42 | A |
| Siembra directa ( 0 t/ha de paja)          | 0.92                          | A  | 0.72 | B | 1.29 | A |
| Siembra directa ( 3 t/ha de paja)          | 0.66                          | AB | 0.51 | B | 1.28 | A |
| Siembra directa ( 6 t/ha de paja)          | 0.41                          | B  | 0.57 | B | 1.13 | A |
| C.V %                                      | 31                            |    | 19   |   | 26   |   |

Medias con letras diferentes difieren significativamente al 5% del error.

La extracción acumulada total del estrato 0-30 cm puede apreciarse también en la Figura 3, donde se destaca la mayor lámina de agua evaporada por el estrato 0-10 en los 34 días analizados. El análisis estadístico para el estrato 0-30 cm. se presenta en la Tabla 5, en ella se observa que no existe diferencia significativa entre los tratamientos sin cobertura muerta, independientemente del sistema de cultivo, y los tratamientos

con 3 y 6 t/ha de paja ahorran significativamente más agua en comparación con los anteriormente mencionados. Finalmente, resulta significativamente menor la pérdida de agua acumulada hasta 30cm de profundidad cuando se usan 6 t/ha de paja, en comparación con 3 t/ha de paja durante los primeros 34 días del ciclo vegetativo del maíz.

**TABLA 5. Comparación de medias de la extracción de agua acumulada en el estrato 0-30 cm**

| Tratamientos                      | 34 días después de la emergencia |   |
|-----------------------------------|----------------------------------|---|
|                                   | Media en mm                      |   |
| Siembra convencional              | 72.46                            | A |
| Siembra directa ( 0 t/ha de paja) | 69.32                            | A |
| Siembra directa ( 3 t/ha de paja) | 56.18                            | B |
| Siembra directa ( 6 t/ha de paja) | 40.12                            | C |
| C. V %                            | 10.1                             |   |

Medias con letras diferentes difieren significativamente para 5% del error.

### CONCLUSIONES

- Para maíz con IAF menor de 0,17, el máximo valor de extracción en el estrato 0-10 cm con 3 y 6 t/ha de cobertura muerta se alcanza un día después que en aquellos tratamientos con suelo descubierto.
- La preparación convencional del suelo sin cobertura, alcanza los valores más altos de evaporación el primer día del ciclo de secado, pero en los días siguientes, es superada por los valores de evaporación en la siembra directa sin cobertura muerta.

- El uso de 6 t/ha de paja en siembra directa presenta una evaporación acumulada de agua en el estrato de suelo de 0- 30 cm significativamente menor que usar 3 t/ha hasta 34 días después de la emergencia.
- El uso de cobertura muerta en la siembra directa de maíz produce una disminución en las pérdidas de agua, que varía de 19 a 42% para 3 y 6 t/ha de paja respectivamente, en comparación con la siembra directa en suelo desnudo hasta 34 días después de la emergencia.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, L.C.G.; R.J HANKS: "Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation". *Agronomy Journal, Madison*, 85, 692-697 1993.

BRAGAGNOLO, N: "Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo". *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 14, 369-374, 1990

COSTA, F. S.: "Propriedades de um Latossolo Bruno afetadas pelos sistemas plantio direto e preparo convencional". *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, Viçosa, 27(3): 527-535, 2003.

Da ROS, C. O.: "Manejo de solo a partir de campo nativo: efeito sobre a forma e estabilidade da estrutura ao final de cinco anos". *Revista Brasileira da Ciência do Solo*, Campinas, 21(2): 241-247, 1997.

DALMAGO, G. A.: *Dinâmica da água no solo em cultivos de milho sob plantio direto e preparo convencional*. 245pp., **Defesa de Tese, (Doutorado em Engenharia Agrícola)**, UFRS. Porto Alegre, Brasil. 2004.

EMBRAPA: *Sistema brasileiro de classificação de solos*, 412pp., Serviço de produção de informação, Brasília, Brasil, 1999.

GAJRI, P.R; ARORA, V.K & M.R.CHAUDHARY: "Maize growth responses to deep tillage, straw mulching and farmyard manure in coarse textured soils of N.W. India". *Soil Use and management* 10, 15-20. 1994.

KLEIN, V. A. and L. LIBARDI: "Condutividade hidráulica de um latossolo roxo, não saturado sob diferentes sistemas de uso e manejo", Santos Maria, *Ciência Rural*, 32(6): 945-953, 2002.

LEMON, E. R.: *The potentialities for decreasing soil moisture evaporation loss*, In: **Proceeding of Soil Science of América Journal**, n. 1, p. 120-125, Madison, v. 20, 1956.

MOREIRA, J.A.A. e L.F. STONE: Sistema radicular do feijoeiro afetado pelo preparo do solo e pela lâmina de irrigação. In: **Congresso Brasileiro de Ciência do Solo**, 25, 1995, p.1746-1748, Viçosa. Resumos... Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 3, 1995.

PHILLIPS, R. E.: "Soil moisture". IN: PHILLIPS, R. E; PHILLIPS, S. H. NO- Tillage Agriculture: principles and practices pp. 67-86, Van Nostrand Reinhold Company, New York, USA, 1984.

STONE, L.F e A. A: MOREIRA: "Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro". *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília*, 35(4): 835-841, 2000.