

FLUJO ENERGÉTICO E INDICADORES DE EFICIENCIA EN PIVOTES CENTRALES DE RIEGO

ENERGETIC FLOW AND EFFICIENCY INDICATORS IN CENTER PIVOT IRRIGATION

Aureo Cezar-de-Lima^{1*}, Sebastião Camargo-Guimarães-Jr.², Carlos R. Fietz³, José R. Camacho²

¹Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina. CEFET-Petrolina. Unidade Industrial, BR 407, km 08, jardim São Paulo, Petrolina, PE-Brasil (aureocl@terra.com.br). ²Núcleo de Eletricidade Rural e Fontes Alternativas de Energia. Universidade Federal de Uberlândia. Av. Engenheiro Deniz, 1178, Caixa postal 593, CEP 38.400-902. Uberlândia, MG-Brasil (scguimaes@ufu.br) (jrcamacho@ufu.br). ³Embrapa Agropecuária Oeste, BR 163, km 253, Caixa postal 661, CEP 79.804-970. Dourados, MS-Brasil (fietz@cpao.embrapa.br)

RESUMEN

Con un área de riego de aproximadamente 710.6 mil ha, se calcula un consumo anual de 1928 GWh en los sistemas de riego por pivote central instalados en Brasil. Considerando la necesidad de reducir los costos de producción, en este trabajo se estratifican las energías en pivotes centrales y se proponen indicadores que asocian la eficiencia energética a la hídrica y permiten comparar los sistemas de riego en condiciones topográficas diferentes. Estos indicadores fueron aplicados a tres sistemas de riego donde se verificó consumos específicos normalizados, variando entre 12.89 y 31.24 kWh mm⁻¹ ha⁻¹ 10⁻² m⁻¹, y eficiencias de riego entre 8.7% y 21.1%.

Palabras clave: Consumo específico, evaluación, rendimiento, riego por aspersión.

INTRODUCCIÓN

El área irrigada en el Brasil es 3.4 millones ha, o sea, 7.1% del total agrícola sembrada con los 13 principales cultivos en el país. El método de riego por superficie ocupa 1729.8 mil ha, los pivotes centrales 710.6 mil ha, la aspersión convencional 662.3 mil ha, y el riego localizado 337.8 mil ha (Christofidis, 2006).

En la región de Dourados, en la cual está enclavado el Asentamiento Itamarati, pueden ocurrir altos índices de deficiencia hídrica todo el año, justificando técnicamente el uso del riego, en carácter complementario, en los cultivos de soya (*Glycine max*) (Fietz y Urchei, 2002), trigo (*Triticum aestivum*) (Fietz y Urchei, 2003) y maíz (*Zea mays*) (Fietz y Urchei, 2006). Con base en la distribución de la frecuencia de la evapotranspiración de referencia en la región Dourados, se ha objetado el dimensionamiento de sistemas de riego. Para el cultivo del maíz, se tomó 75% como

ABSTRACT

With an irrigated area of approximately 710.6 thousand ha, an annual consumption of 1928 GWh is calculated in the systems of center pivot irrigation installed in Brazil. Considering the need to reduce production costs in this paper, the energies are stratified in center pivot and indicators are proposed that associate energetic efficiency to hydric efficiency and make it possible to compare the irrigation systems under different topographic conditions. These indicators were applied to three irrigation systems where normalized specific consumptions were verified, varying between 12.89 and 31.24 kWh mm⁻¹ ha⁻¹ 10⁻¹ m⁻¹, and irrigation efficiencies between 8.7% and 21.1%.

Key words: Specific consumption, evaluation, yield, sprinkler irrigation.

INTRODUCTION

The irrigated area in Brazil is 3.4 million ha, that is, 7.1% of the total agricultural area sown with the 13 principal crops of the country. The surface irrigation method occupies 1729.8 thousand ha, the center pivot system 710.6 thousand ha, sprinkler-lateral 662.3 thousand ha, and drip irrigation 337.8 thousand ha (Christofidis, 2006).

In the Dourados region, in which the Settlement Itamarati is located, there can be high indices of water shortage throughout the year, technically justifying the use of irrigation, as a complementary measure, in the crops of soybean (*Glycine max*) (Fietz and Urchei, 2002), wheat (*Triticum aestivum*) (Fietz and Urchei, 2003) and maize (*Zea mays*) (Fietz and Urchei, 2006). Based on the distribution of the frequency of the evapotranspiration of reference in the region of Dourados; it has been objected the dimensioning of irrigation systems. For the maize crop, 75% was taken as probability level and with a crop coefficient of 1.05, the evapotranspiration recommended as a parameter for dimensioning irrigation systems is 6.2 mm day⁻¹.

*Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: Noviembre, 2007. Aprobado: Septiembre, 2008.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 42: 869-880. 2008.

nivel de probabilidad y con un coeficiente de cultivo de 1.05, la evapotranspiración recomendada como parámetro para dimensionamiento de sistemas de riego es 6.2 mm día^{-1} .

Con 20.65% del área regada en Brasil, el riego utilizando pivotes centrales, aún en la concepción y proyecto, se hace con conflictos de intereses. Equipos con alto índice de eficiencia propician economía de energía, aumento en la inversión, pero el desconocimiento de indicadores de eficiencia y la competencia entre proveedores resultan en proyectos con elevadas pérdidas. Además, el rendimiento de los pivotes centrales se reduce durante su vida útil debido al desgaste de la bomba y difusores, incrustaciones en las tuberías y fugas. Así, la evaluación de estos sistemas puede determinar el potencial para implementar medidas de eficiencia energética, reducir el desperdicio de energía y agua, y aumentar la productividad del cultivo regado. En Brasil, este potencial está calculado en 20% en el consumo de agua y 30% en el consumo de energía (CEMIG, 1993).

La eficiencia de un sistema de riego por pivote central puede ser analizada mediante indicadores agrícolas y energéticos. Los indicadores agrícolas buscan evaluar la distribución de la lámina de agua en el área de riego y su aprovechamiento; los indicadores energéticos evalúan el consumo específico de energía en los componentes del pivote central.

La calidad de riego de los sistemas pivotes centrales puede ser evaluada por el Coeficiente de Uniformidad de Heerman y Hein (ABNT, 1998) y por la Eficiencia de Aplicación (Bernardo *et al.*, 2005). El Coeficiente de Uniformidad de Heerman y Hein es un indicativo del desempeño del conjunto de emisores en las condiciones de campo, ambiente y presión, donde un valor menor que 80% es caracterizado como malo, entre 80% y 84% regular, 85% y 90% bueno, y, sobre este valor, muy bueno. La Eficiencia de Aplicación alcanza 98% en el riego localizado, se encuentra entre 65% y 85% para riego por aspersión y puede ser inferior a 40% para riego por inundación (Moreira, 2006).

La energía específica en estos sistemas puede ser verificada a través de indicadores de potencia o consumo específico: cv ha^{-1} , kW ha^{-1} , kWh m^{-3} , kWh mm^{-1} (Oliveira *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2001). En la evaluación de once pivotes en la región Oeste de Bahia, Brasil, fueron verificadas potencias específicas entre 1.29 y 2.50 cv ha^{-1} y Eficiencia de Aplicación entre 59.8 y 91.1% (Oliveira *et al.*, 2004).

Los indicadores energéticos de potencia y consumo específico actualmente utilizados no son suficientes para caracterizar la eficiencia global de un sistema de riego. Diferentes topografías pueden ocultar

With 20.65% of the irrigated area in Brazil, center pivot irrigation, even in its conception and planning, is carried out with conflicts of interests. Equipments with a high efficiency index propitiate economy of energy and increase in investment, but the ignorance of indicators of efficiency and competition among suppliers results in projects with high losses. In addition, the yield of the center pivot system is reduced during their useful life due to the wearing out of the pump and sprinklers, incrustations in the pipes and leaks. Thus, the evaluation of these systems may determine the potential for implementing measures of energetic efficiency, reducing the waste of energy and water, and increasing the productivity of the irrigated crop. In Brazil, this potential is calculated at 20% in water consumption and 30% in energy consumption (CEMIG, 1993).

The efficiency of a center pivot irrigation system can be analyzed through agricultural and energetic indicators. The agricultural indicators evaluate the distribution of the water depth in the area of irrigation and its use; the energetic indicators evaluate the specific consumption of energy in the components of the center pivot system.

The quality of irrigation of the center pivot systems can be evaluated by the Heerman and Hein uniformity coefficient (ABNT, 1998) and by the Application Efficiency (Bernardo *et al.*, 2005). The Coefficient of Heerman and Hein Uniformity is an indicator of the performance of the sprinklers under field conditions, environment and pressure, where a value lower than 80% is characterized as bad, between 80% and 84% as regular, 85% and 90% good, and higher than this value, very good. The Application Efficiency reaches 98% in the drip irrigation, is between 65% and 85% for sprinkler irrigation and can be lower than 40% for surface irrigation (Moreira, 2006).

The specific energy in these systems can be verified through indicators of power or specific consumption: cv ha^{-1} , kW ha^{-1} , kWh m^{-3} , kWh mm^{-1} (Oliveira *et al.*, 2004; Souza *et al.*, 2001). In the evaluation of eleven center pivot systems in the Western region of Bahia, Brazil, specific power of between 1.29 and 2.50 cv ha^{-1} and Application Efficiency between 59.8 and 91.1% were verified (Oliveira *et al.*, 2004).

The energetic indicators of specific power and consumption presently in use are not sufficient for characterizing the global efficiency of an irrigation system. Different topographies may conceal the evaluations in which, for example, a greater relationship of power per cubic meter may be associated with a higher elevation between the supply source and the irrigation area and not to the lowest energetic efficiency. Thus, the indicators of power or specific energy consumption need to be adapted

las evaluaciones donde, por ejemplo, una mayor relación potencia por metro cúbico puede estar asociada a un mayor desnivel entre la fuente de abastecimiento y el área de riego y no a la menor eficiencia energética. Así, los indicadores de potencia o consumo específico de energía necesitan ser adaptados para caracterizar la eficiencia energética del sistema, posibilitando la comparación entre equipos instalados en condiciones topográficas diferentes a través de un patrón de eficiencia.

En este trabajo se determinan el flujo energético y se proponen indicadores que asocian la eficiencia hidráulica a la energía disipada en sistemas de riego de pivote central. Esta evaluación es aplicada a tres equipos instalados en el Asentamiento Itamarati I, localizado en Ponta Porã, MS, Brasil, (22° 32' S y 55° 43' O). En los últimos treinta años, la Hacienda Itamarati fue un símbolo nacional de la agricultura moderna, combinando técnicas innovadoras con tecnología de punta, como sistemas de riego del tipo pivote central. Los sistemas pivote central fueron dimensionados para el cultivo de trigo, pero debido a los cambios en el mercado agrícola brasileño y mundial, esos equipos son actualmente utilizados principalmente en el riego de soya y maíz, alcanzando productividad media de 3.0 y 6.5 t ha⁻¹.

El consumo específico normalizado en el riego propuesto determina la energía necesaria para regar 1 mm en por lo menos 80% de 1 ha para un desnivel topográfico igual a 100 m. La eficiencia de riego propuesta parte de la obtención de la potencia útil del sistema de riego a partir del caudal útil y del desnivel topográfico de bombeo. Así, el consumo específico normalizado en el riego y la eficiencia de riego en un pivote central posibilitan asociar los indicadores agrícolas a los energéticos del sistema, determinando la dependencia entre energía, eficiencia de aplicación y coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein cuando se establece un área adecuadamente regada.

De esta forma, a partir de los indicadores propuestos se puede evaluar y comparar un sistema de riego por pivote central mediante un patrón de eficiencia bajo cualesquiera condiciones topográficas de instalación. Estos indicadores propician además la competencia por productos más eficientes entre proveedores, así como el seguimiento del desempeño energético durante la vida útil de esos sistemas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Desarrollo de los indicadores de eficiencia

Un pivote central puede ser analizado según su flujo energético (Figura 1). Así, si la potencia de entrada del equipo (Ecuación

to characterize the energetic efficiency of the system, allowing the comparison between equipment installed under different topographic conditions through an efficiency pattern.

In the present study the energetic flow is determined and indicators are proposed that associate the hydric efficiency to the energy dissipated in center pivot irrigation systems. This evaluation is applied to three equipments installed in the Settlement Itamarati I, located in Ponta Porã, MS, Brasil (22° 32' S and 55° 43' W). In the past thirty years, the Itamarati Farm was a national symbol of modern agriculture, combining innovative techniques with state-of-the-art technology, such as center pivot type irrigation systems. The center pivot irrigation systems were set up for the wheat crop, but due to the changes in the Brazilian and world agricultural market, this equipment is now used mainly in the irrigation of soybean and maize, reaching a mean productivity of 3.0 and 6.5 t ha⁻¹.

The normalized specific consumption in the proposed irrigation determines the energy necessary for irrigating 1 mm in at least 80% of 1 ha for a topographic elevation equal to 100 m. The proposed irrigation efficiency departs from the obtainment of the useful power of the irrigation system from the useful flow and topographic pumping elevation. Thus, the normalized specific consumption in the irrigation and the irrigation efficiency in a center pivot make it possible to associate the agricultural indicators to the energetic indicators of the system, determining the dependence between energy, application efficiency and Heerman and Hein uniformity coefficient when an adequately irrigated area is established.

Therefore, from the proposed indicators it is possible to evaluate and compare a center pivot irrigation through an efficiency standard under any topographic conditions of installation. These indicators also propitiate the competition for more efficient products among suppliers, as well as the monitoring of the energetic performance during the useful life of these systems.

MATERIALS AND METHODS

Development of the efficiency indicators

A center pivot system can be analyzed according to its energy flow (Figure 1). Thus, if the input power of the equipment (Equation 1) can be obtained from the energy measured in the motor of the pump, the useful output power should be characterized. Starting from the physical conceptualization, the useful power of the equipment may be determined from the topographic elevation between the supply source and the most unfavorable point of the irrigation area (Equation 2).

1) puede ser obtenida a partir de la energía medida en el motor de la bomba, la potencia útil de salida debe ser caracterizada. Partiendo de la concepción física, la potencia útil del equipo puede ser determinada a partir del desnivel topográfico entre la fuente de abastecimiento y el punto más desfavorable del área de riego (Ecuación 2).

Las potencias disipadas en la línea de conducción, línea lateral y aspersión pueden ser determinadas a partir de la pérdida de carga (Δh) en cada uno de estos elementos, conforme la Ecuación 3. La potencia disipada en el conjunto motobomba (Ecuación 5) puede ser obtenida a partir de la diferencia entre la potencia de entrada del equipo (Ecuación 1) y la potencia hidráulica en la salida de la bomba (Ecuación 4).

$$P_e = \frac{100 \cdot \gamma \cdot Q_S \cdot H_m}{\eta_{mb}} \quad (1)$$

$$P_{UE} = \gamma \cdot Q_S \cdot h_g \quad (2)$$

$$P_d = \gamma \cdot Q_S \cdot \Delta h \quad (3)$$

$$P_H = \gamma \cdot Q_S \cdot H_m \quad (4)$$

$$P_{dmb} = \gamma \cdot Q_S \cdot H_m \cdot \left(\frac{100 - \eta_{mb}}{\eta_{mb}} \right) \quad (5)$$

donde, P_e es la potencia eléctrica medida en el motor (kW); γ es el peso específico del agua a 4 °C (9.81 kN m⁻³); Q_S el caudal bombeado por el sistema (m³ s⁻¹); H_m es la altura manométrica proporcionada por la bomba (mca); η_{mb} es el rendimiento del conjunto motobomba (%); P_{UE} es la potencia útil del equipo (kW); h_g es el desnivel topográfico entre la fuente de abastecimiento y el aspersor en la condición más desfavorable del sistema (m); P_d es la potencia disipada en el elemento (kW); Δh es la pérdida de carga en el elemento (mca); P_H es la potencia hidráulica en la salida de la bomba; P_{dmb} es la potencia disipada en el conjunto motobomba (kW).

Obtenidas las potencias disipadas en cada elemento del pivote central de riego, es posible determinar sus indicadores de eficiencia. Dividiéndose la potencia de entrada (Ecuación 1) por el caudal a 100 m de altura manométrica, considerando las conversiones de las unidades utilizadas, se obtiene el indicador de eficiencia del conjunto motobomba presentado en IWA (2000) (Ecuación 6).

$$C_{EN} = \frac{P_e}{36 \cdot Q_S \cdot H_m} \quad (6)$$

donde, C_{EN} es el Consumo de energía normalizado en el conjunto motobomba (kWh m⁻³ 10⁻² m⁻¹).

Dividiendo la potencia disipada en la succión, línea de conducción y línea lateral (Ecuación 3) por el caudal y 1 km de tubería,

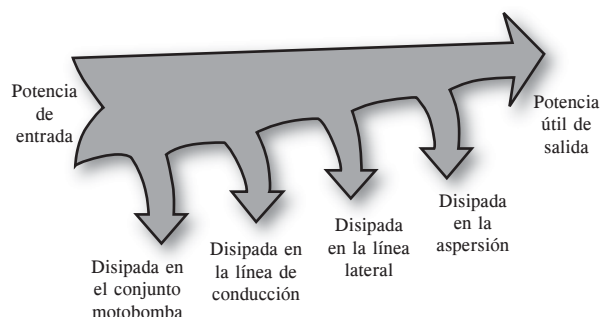


Figura 1. Flujo energético en un pivote central de riego.
Figure 1. Energetic flow in a center pivot.

The power dissipated in the pipeline, lateral and sprinklers may be determined from the load loss (Δh) in each of these elements, according to Equation 3. The power dissipated in the motor pump set (Equation 5) may be obtained from the difference between the input power of the equipment (Equation 1) and the hydraulic power in the output of the pump (Equation 4).

$$P_e = \frac{100 \cdot \gamma \cdot Q_S \cdot H_m}{\eta_{mb}} \quad (1)$$

$$P_{UE} = \gamma \cdot Q_S \cdot h_g \quad (2)$$

$$P_d = \gamma \cdot Q_S \cdot \Delta h \quad (3)$$

$$P_H = \gamma \cdot Q_S \cdot H_m \quad (4)$$

$$P_{dmb} = \gamma \cdot Q_S \cdot H_m \cdot \left(\frac{100 - \eta_{mb}}{\eta_{mb}} \right) \quad (5)$$

where P_e is the electric power measured in the motor (kW); γ is the specific weight of the water at 4 °C (9.81 kN m⁻³); Q_S is the flow pumped by the system (m³ s⁻¹); H_m is the discharge pressure head provided by the pump (mca); η_{mb} is the yield of the motor pump set (%); P_{UE} is the useful power of the equipment (kW); h_g is the topographic elevation between the supply source and the sprinkler under the most unfavorable condition of the system (m); P_d is the power dissipated in the element (kW); Δh is the headloss in the element (mca); P_H is the hydraulic power in the exit of the pump (kW); P_{dmb} is the power dissipated in the motor pump set (kW).

Once obtained the power dissipated in each element of the center pivot system, it is possible to determine their efficiency indicators. Dividing the input power (Equation 1) by the flow at 100 m of manometric height, considering the conversions of the units used, the efficiency indicator of the motor pump presented in IWA (2000) is obtained (Equation 6):

$$C_{EN} = \frac{P_e}{36 \cdot Q_S \cdot H_m} \quad (6)$$

considerando las conversiones de las unidades utilizadas, se determina el consumo específico normalizado en la tubería para 1 km, o sea, la potencia hidráulica por metro cúbico necesaria para conducir el fluido en 1 km de tubería a nivel (Ecuación 7).

$$C_{ENT} = \frac{P_d}{3,6 \cdot Q_S \cdot l} \quad (7)$$

donde, C_{ENT} es el consumo específico normalizado en la tubería para 1 km ($\text{kWh m}^{-3} \text{ km}^{-1}$); l es la longitud de la tubería (m).

Para evaluar el sistema de riego completo se debe considerar el agua disponible para el cultivo. Así, para un área adecuadamente regada de 80% se determina la eficiencia de aplicación (Ecuación 8) y se propone el consumo específico para el riego por aspersión como indicador de eficiencia de este elemento (Ecuación 9).

$$EA_{80} = \frac{Q_{80}}{Q_S} \cdot 100 \quad (8)$$

$$C_{EAsp} = \frac{\gamma}{360} \cdot \left(\frac{H_m}{EA_{80}} \cdot (100 - EA_{80}) + \Delta h \right) \quad (9)$$

donde, EA_{80} es la eficiencia de aplicación para 80% del área adecuadamente regada (%); Q_{80} es el caudal que riega adecuadamente 80% del área (caudal útil) ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$); C_{EAsp} es el consumo específico para riego por aspersión ($\text{kWh mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

La evaluación completa del sistema propuesta en este trabajo puede ser determinada por el consumo específico normalizado en el riego por aspersión (Ecuación 10) y por la eficiencia de riego (Ecuación 11), determinada por la relación entre la potencia útil al riego (Ecuación 12) y la potencia eléctrica de entrada (Ecuación 1).

$$C_{ENI} = \frac{10^4}{3,6} \cdot \frac{\gamma \cdot H_m}{h_g \cdot EA_{80} \cdot \eta_{mb}} \quad (10)$$

$$E_I = \frac{EA_{80}}{100} \cdot \frac{h_g}{H_m} \cdot \eta_{mb} \quad (11)$$

$$P_{UI} = \gamma \cdot Q_S \cdot \frac{EA_{80}}{100} \cdot h_g \quad (12)$$

donde, C_{ENI} es el consumo específico normalizado en el riego en 100 m de desnivel topográfico ($\text{kWh mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} 10^{-2} \text{ m}^{-1}$); E_I es la eficiencia del riego (%); P_{UI} es la potencia útil en el riego (kW).

Aplicación de los indicadores

El flujo energético y los indicadores propuestos en este trabajo fueron aplicados a tres equipos instalados en el Asentamiento

where C_{EN} is the normalized consumption of energy in the motor pump set ($\text{kWh m}^{-3} 10^{-2} \text{ m}^{-1}$).

Dividing the power dissipated in the suction, mainline and lateral line (Equation 3) by the flow and 1 km of pipes, considering the conversions of the units used, the normalized specific consumption was determined in the pipelines for 1 km, that is, the hydraulic power per cubic meter necessary to flow in 1 km of level pipes (Equation 7).

$$C_{ENT} = \frac{P_d}{3,6 \cdot Q_S \cdot l} \quad (7)$$

where, C_{ENT} is the normalized specific consumption in the pipeline for 1 km ($\text{kWh m}^{-3} \text{ km}^{-1}$); l is the length of the pipeline (m).

To evaluate the complete irrigation system, the water available to the crop must be considered. Thus, for an adequately irrigated area equal to 80%, the application efficiency is determined (Equation 8) and the specific consumption is proposed for the sprinkler irrigation as efficiency indicator of this element (Equation 9).

$$EA_{80} = \frac{Q_{80}}{Q_S} \cdot 100 \quad (8)$$

$$C_{EAsp} = \frac{\gamma}{360} \cdot \left(\frac{H_m}{EA_{80}} \cdot (100 - EA_{80}) + \Delta h \right) \quad (9)$$

where EA_{80} is the application efficiency for 80% of the adequately irrigated area (%); Q_{80} is the flow that adequately irrigates 80% of the area (useful flow) ($\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$); C_{EAsp} is the specific consumption for sprinkler irrigation ($\text{kWh mm}^{-1} \text{ ha}^{-1}$).

The complete evaluation of the system proposed in this work can be determined by the normalized specific consumption in sprinkler irrigation (Equation 10) and by the efficiency irrigation (Equation 11), determined by the relationship between the power useful to the irrigation (Equation 12) and the electric power of entrance (Equation 1).

$$C_{ENI} = \frac{10^4}{3,6} \cdot \frac{\gamma \cdot H_m}{h_g \cdot EA_{80} \cdot \eta_{mb}} \quad (10)$$

$$E_I = \frac{EA_{80}}{100} \cdot \frac{h_g}{H_m} \cdot \eta_{mb} \quad (11)$$

$$P_{UI} = \gamma \cdot Q_S \cdot \frac{EA_{80}}{100} \cdot h_g \quad (12)$$

where C_{ENI} is the normalized specific consumption in the irrigation in 100 m of topographic elevation ($\text{kWh mm}^{-1} \text{ ha}^{-1} 10^{-2} \text{ m}^{-1}$); E_I is the irrigation efficiency (%); P_{UI} is the useful power in the irrigation (kW).

Itamarati I, localizado a 22° 32' S y 55° 43' O, en el municipio de Ponta Porã-MS (Cuadro 1). El área del asentamiento es 25.1 mil ha donde 1145 familias riegan 7.2 mil ha por medio de 58 pivotes centrales (INCRA, 2002). Con aproximadamente 1% del área de riego por pivotes centrales en Brasil, los equipos instalados en el Asentamiento Itamarati I poseen una vida media superior a 15 años, 943 motores con potencia total de 16.3 mil cv, un consumo de 8.3 GWh y factura de energía de 665.6 mil dólares en 2004.

El caudal fue obtenido a través del medidor ultrasónico del caudal y velocidad de líquidos Fuji Portable Flowmeter PORTAFLOW X. La velocidad del viento fue determinada por un anemómetro ANM-10 de Hidrología S. A., y la temperatura y humedad por un termo-higrómetro MF972B de More Fitness.

Para determinar el Coeficiente de Uniformidad de Heerman y Hein se realizó el ensayo del pivote central conforme a ABNT (1998). Los colectores fueron instalados en dos líneas formando un ángulo de 3° y espaciados a 3 m. Se hizo un ensayo en cada pivote con velocidad de rotación de la línea lateral ajustada para aplicar una lámina superior a 15 mm.

El rendimiento del conjunto motobomba fue obtenido de la relación entre la potencia hidráulica y la potencia eléctrica medida en el motor (ABNT, 1975). La pérdida de carga en la línea de conducción resulta de la diferencia de las presiones entre dos puntos de la tubería, considerando el desnivel topográfico (Batista y Coelho, 2003).

La potencia del motor fue obtenida por medio del medidor universal de grandezas MUG – Elo Sistemas Eletrônicos. El desnivel y la longitud de la línea de conducción fueron obtenidos por un GPS Garmin etrex modelo Vista y el perfil topográfico de la parcela regada fue determinada con un nivel Heerbrugg Wild NA 2 GPM3.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados se presentan en el Cuadro 2. La baja eficiencia de aplicación verificada en los tres pivotes se debe a fugas en la línea lateral, pérdidas por evaporación y deriva por viento y, más significativamente, al volumen del agua percolada profundamente (Figura 2).

Las láminas líquidas obtenidas a partir del Cuadro 2 fueron 6.51, 2.98 y 5.74 mm d⁻¹ para los pivotes 1, 2 y 3. Se observó que el pivote 1 atiende la demanda

Application of the indicators

The energetic flow and the indicators proposed in the present work were applied to three sets of equipment installed in the Settlement Itamarati I, located at 22° 32' S and 55° 43' W, in the municipality of Ponta Porã-MS (Table 1). The area of settlement is 25.1 thousand ha where 1145 families irrigate 7.2 thousand ha by means of 58 center pivot systems (INCRA, 2002). With approximately 1% of the area of center pivot irrigation in Brazil, the equipment installed in Settlement Itamarati I have a lifetime of more than 15 years, 943 motors with total power of 16.3 thousand cv, a consumption of 8.3 GWh and energy expenditure of 665.6 thousand dollars in 2004.

The flow was obtained through the ultrasonic meter of the flow and velocity of liquids Fuji Portable Flowmeter PORTAFLOW X. The wind velocity was determined by an anemometer ANM-10 of Hidrologia S. A., and the temperature and humidity by a thermo-hydrometer MF72B of More Fitness.

To determine the Heerman and Hein uniformity coefficient, the assay was made of the center pivot system according to ABNT (1998). The collectors were installed in two lines forming an angle of 3° and spaced at 3 m. An assay was made in each center pivot system with rotation velocity of the lateral adjusted to depth of water applied more than 15 mm.

The yield of the motor pump equipment was obtained from the relationship between the hydraulic power and the electric power measured in the motor (ABNT, 1975). The headloss in the pipeline results from the difference of the pressures between two points of the pipes, considering the topographic elevation (Batista and Coelho, 2003).

The power of the motor was obtained by means of the universal greatness measurer (UGM) – Elo Sistemas Eletrônicos. The elevation and length of the mainline were obtained by a GPS Garmin etrex model Vista and the topographic profile of the irrigated area was determined with a Heerbrugg Wild NA 2 GPM3 level.

RESULTS AND DISCUSSION

The results are shown in Table 2. The low application efficiency verified in the three center pivot systems is because of leaks in the lateral, losses from evaporation and wind drift, and more significantly, the deep water percolation (Figure 2).

Cuadro 1. Características de los pivotes ensayados en el Asentamiento Itamarati I en abril de 2006.

Table 1. Characteristics of the pivots tested in the Settlement Itamarati I in April of 2006.

Pivote	Área de riego (ha)	Desnivel topográfico (m)	Succión [†]		Línea de conducción [‡]		Línea lateral [†]	
			diámetro (mm)	longitud (m)	diámetro (mm)	longitud (m)	longitud (m)	presión final (mca)
1	118.1	36.0	309	29.0	300	1142.0	613.0	14.1
2	114.6	39.7	260	8.0	200	1466.0	604.0	14.1
3	108.0	64.4	261	15.0	300	2298.0	586.2	14.1

[†] de hierro galvanizado; [‡] de hierro cementado.

Cuadro 2. Indicadores agrícolas y condiciones climáticas durante los ensayos realizados en los pivotes del Asentamiento Itamarati I en abril de 2006.**Table 2.** Agricultural indicators and climatic conditions during the assays carried out in the pivots of the Settlement Itamarati I in April of 2006.

Pivote	Caudal (m ³ s ⁻¹)	Tiempo de una vuelta (h)	Lámina bruta diaria (mm)	C _{uH} [†] (%)	Eficiencia de aplicación [¶]	Condiciones climáticas medias		
						Temperatura (°C)	H. R. [§] (%)	Viento (m s ⁻¹)
1	0.130	56.0	8.27	89.2	78.8	30.4	64	3.9
2	0.077	112.0	5.04	72.5	59.1	30.5	40	1.6
3	0.104	76.1	7.30	86.7	78.6	27.0	51	0.9

[†] Coeficiente de uniformidad de Heerman y Hein.[¶] Considerando 80% del área adecuadamente regada.[§] Humedad relativa del aire.

hídrica para el cultivo del maíz, y los pivotes 2 y 3 proporcionan sólo 48% y 93% de la evapotranspiración recomendada.

Los indicadores energéticos, potencia y consumo específico reportados se muestran en el Cuadro 3. Considerando la potencia instalada, el pivote 1 fue el equipo más eficiente con 1.56 kWh ha⁻¹; el pivote 3, con 2.04 kWh ha⁻¹, presentó la mayor potencia específica. El consumo específico nuevamente determinó al pivote 1 como el más eficiente y el pivote 2 fue el que consumió más energía en el riego.

A partir de las características determinadas en el ensayo (Cuadro 4), los flujos de potencia de los equipos fueron obtenidos a través de la potencia disipada en cada elemento del pivote central (Figura 3).

En la Figura 3 se observa que el pivote 3 consume 41.2% de su energía en el conjunto motobomba, mientras que el pivote 1 necesita 25.4%. Se verificó que la bomba del pivote 3 estaba trabajando fuera del punto de rendimiento máximo de la curva del equipo.

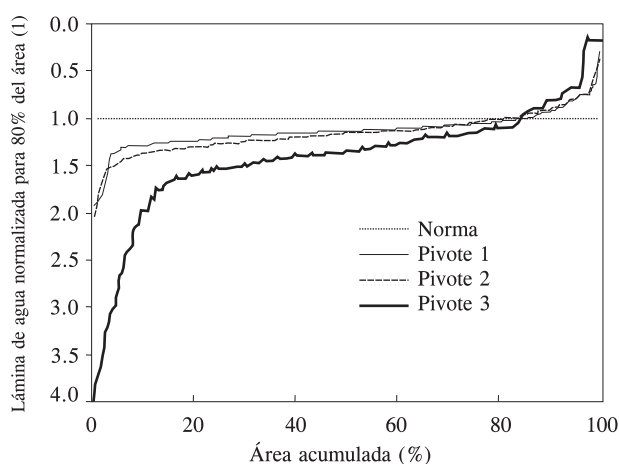
Debido a la menor longitud de la tubería, las pérdidas en la succión tienen poca representatividad en el conjunto; sin embargo, la potencia disipada en la línea de conducción del pivote 2, con 1466 m y velocidad del fluido igual a 2.5 m s⁻¹, equivale a 31.8%, mientras que con 2298 m y velocidad igual a 1.5 m s⁻¹ esta tubería del pivote 3 pierde apenas 5.0% de su energía total. Las condiciones de uso y manutención pueden justificar la elevada pérdida encontrada en la línea de conducción del pivote 2. Con velocidad del fluido de hasta 5.1 m s⁻¹, las pérdidas energéticas en las líneas laterales representan 11.1% y 26.8% para los pivotes 2 y 1. Considerando útil toda agua bombeada, se obtienen los porcentajes de potencia disipada en los aspersores entre 5.2% y 9.1% para los pivotes 2 y 1. Los porcentajes de la potencia útil del equipo varían entre 14.8% para el pivote 2 y 26.6% para el 3.

Así, la evaluación directa por potencia o consumo específico de un sistema de riego, conforme puede

The net irrigation depth obtained from Table 2 were 6.51, 2.98 and 5.74 mm day⁻¹ for center pivot systems 1, 2 and 3. It was observed that pivot 1 attends the maize crop water requirements, and center pivot systems 2 and 3 provide only 48% and 93% of the recommended evapotranspiration.

The energetic indicators, power and specific consumption reported are shown in Table 3. Considering the installed power, center pivot system 1 was the most efficient equipment with 1.56 kWh ha⁻¹; pivot 3, with 2.04 kWh ha⁻¹, presented the highest specific power. Once more the specific consumption determined pivot 1 as the most efficient and pivot 2 consumed the most energy in the irrigation.

From the characteristics determined in the assay (Table 4), the flows of power of the equipment were

**Figura 2.** Distribución de las láminas colectadas normalizadas para 80% del área adecuadamente regada en los pivotes ensayados del Asentamiento Itamarati I en abril de 2006.**Figure 2.** Distribution of the normalized water levels collected for 80% of the adequately irrigated area in the central pivots tested in the Settlement Itamarati I in April of 2006.

Cuadro 3. Indicadores energéticos de los pivotes ensayados en el Asentamiento Itamarati I en abril de 2006.
Table 3. Energetic indicators of the pivots tested in the Settlement Itamarati I in April of 2006.

Pivote	Potencia del motor	Potencia instalada específica		Potencia medida	Consumo específico	
		(cv ha ⁻¹)	(kW ha ⁻¹)		(kWh m ⁻³)	(kWh mm ⁻¹)
1	250	2.12	1.56	197.0	0.421	497
2	300	2.62	1.93	203.1	0.731	837
3	300	2.78	2.04	247.6	0.660	713

Cuadro 4. Características determinadas en los ensayos de los pivotes del Asentamiento Itamarati I en abril de 2006.
Table 4. Characteristics determined in the assays of the pivots of Settlement Itamarati I in April of 2006.

Pivote	Rendimiento de la motobomba (%)	Pérdida de carga (mca)				Altura manométrica (mca)
		Succión	Línea de conducción	Línea lateral	Aspersión	
1	75	0.7	23.2	41.4	14.1	115.3
2	63	0.4	85.3	29.8	14.1	169.2
3	59	0.8	12.1	51.2	14.1	142.5

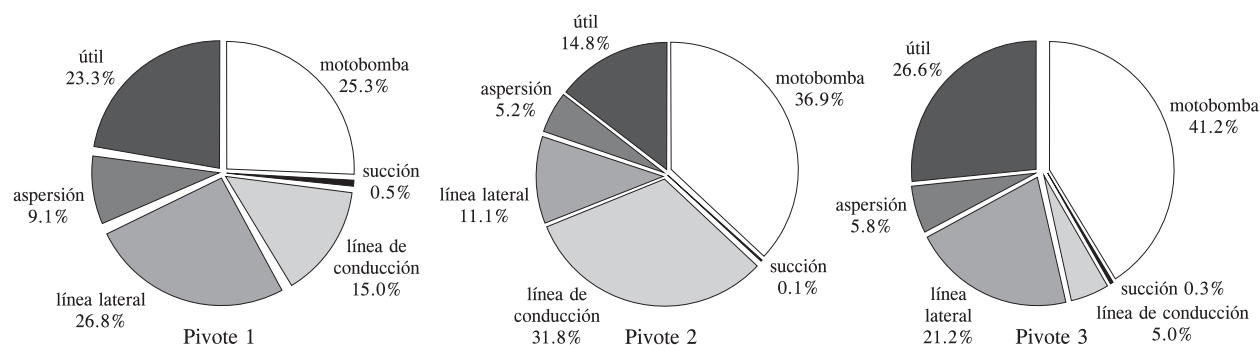


Figura 3. Flujo energético en los equipos de riego ensayados en el Asentamiento Itamarati I en abril de 2006.
Figure 3. Energetic flow in the irrigation equipment tested in Settlement Itamarati I in April of 2006.

observarse en el flujo energético (Figura 3), no permite determinar un patrón y caracterizar la eficiencia de sistemas diferentes, una vez que se consideran conjuntamente las potencias útiles y las pérdidas. De esta forma, la evaluación energética de los sistemas de riego fue obtenida a partir de los indicadores de eficiencia presentados y propuestos en este trabajo.

Iniiciando por el conjunto motobomba se determinó el consumo específico normalizado (Figura 4), se puede verificar que el conjunto motobomba del pivote 1 presenta el mejor desempeño, con consumo igual a $0.365 \text{ kWh m}^{-3} 10^{-2} \text{ m}^{-1}$ y el conjunto motobomba del pivote 3 posee el mayor consumo específico normalizado ($0.463 \text{ kWh m}^{-3} 10^{-2} \text{ m}^{-1}$).

A partir de las pérdidas de carga de las tuberías de succión, conducción y línea lateral (Cuadro 4) se determinó el consumo específico normalizado en las tuberías (Ecuación 5), como se presenta en la Figura 5. En la Figura 5b se aprecia una variación en el

obtained through the power dissipated in each element of the center pivot system (Figure 3).

In Figure 3 it is observed that pivot 3 consumes 41.2% of its energy in the motor pump set, while pivot 1 requires 25.4%. It was verified that the pump of pivot 3 was working beyond the point of maximum yield of the curve of the equipment.

Because of the small length of the pipe, the losses in suction line have little representation in the set; however, the power dissipated in the mainline of pivot 2, with 1466 m and flow velocity equal to 2.5 m s^{-1} , is equivalent to 31.8%, while with 2298 m and velocity equal to 1.5 m s^{-1} , this pipeline of pivot 3 loses just 5.0% of its total energy. The conditions of use and maintenance can justify the high loss found in the mainline of pivot 2. With flow velocity of up to 5.1 m s^{-1} , the energetic losses in the lateral represent 11.1% and 26.8% for center pivot systems 2 and 1. Considering all pumped water as useful,

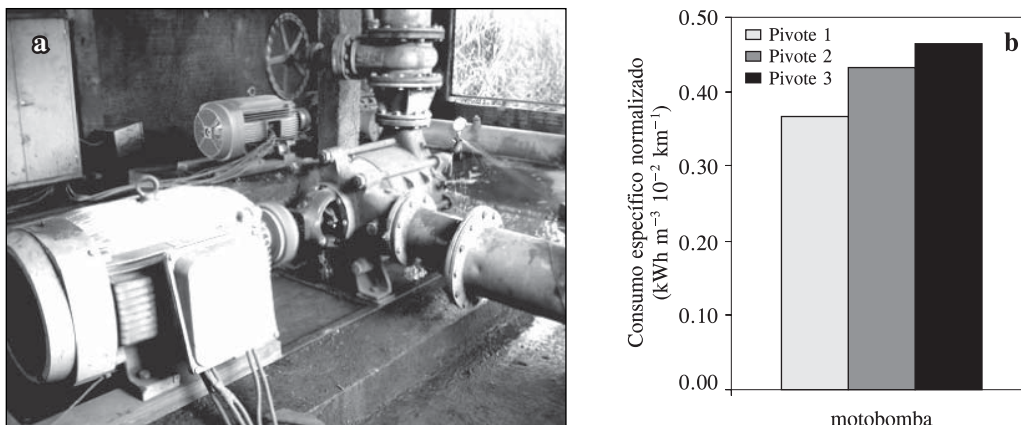


Figura 4. (a) Conjunto motobomba del pivote 1; (b) Consumo específico normalizado en los conjuntos motobombas ensayados en abril de 2006.

Figure 4. (a) Motor pump set of pivot 1; (b) Normalized specific consumption in the motor pump sets tested in April of 2006.

consumo entre 0.01 y 0.24 kWh m⁻³ km⁻¹ en la línea de conducción y la línea lateral del pivote 3. Altas velocidades del fluido justifican el consumo de energía obtenido en esta tubería.

Analizando el sistema de riego completo (Figura 6a), se obtiene el consumo específico normalizado en el riego donde, con 12.89 kWh, el pivote 3 proporciona 1 mm de agua en por lo menos 80% del área de riego cuando el desnivel topográfico es igual a 100 m, mientras que los pivotes 1 y 2 necesitan 14.91 y 31.24 kWh mm⁻¹ ha⁻¹ 10⁻² m⁻¹. Así, a diferencia de la evaluación inicial presentada en el Cuadro 3, a pesar de la mayor potencia específica instalada, el pivote 3 es 2.42 veces más eficiente que el pivote 2 y 1.15 veces que el pivote 1.

El desgaste, la baja presión en el final de la línea lateral y, en especial, la utilización de bocales fuera de especificación, determinaron el elevado consumo

the percentages of dissipated power obtained in the sprinklers are between 5.2% and 9.1% for center pivot systems 1 and 2. The percentages of the useful power of the equipment vary between 14.8% for pivot 2 and 26.6% for pivot 3.

Therefore, the direct evaluation for power or consumption specific of an irrigation system, as can be observed in the energetic flow (Figure 3), does not make it possible to determine a pattern and characterize the efficiency of different systems, once the useful powers and the losses have been considered together. Thus, the energetic evaluation of the irrigation systems was obtained from the efficiency indicators presented and proposed in the present work.

Starting with the motor pump set, the normalized specific consumption was determined (Figure 4). It can be verified that the motor pump set of center pivot system 1 presents the best performance, with

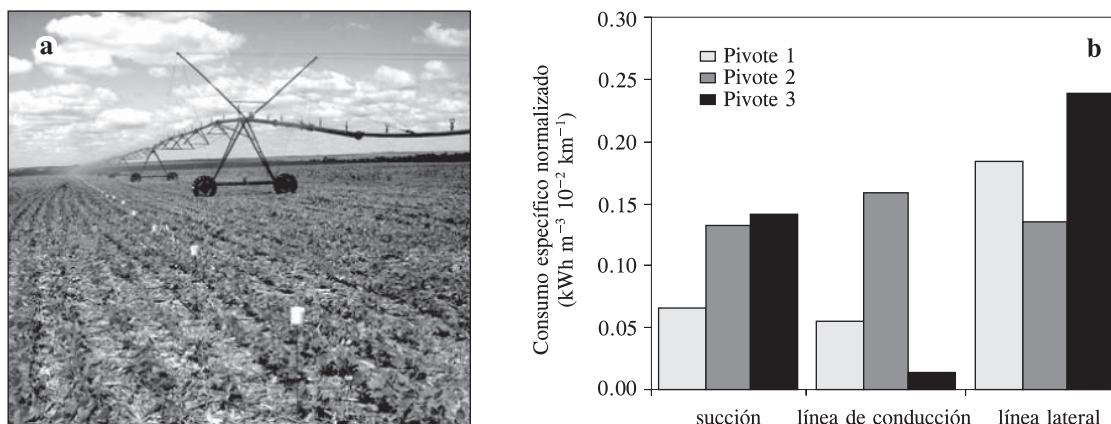


Figura 5. (a) Línea lateral del pivote 2; (b) indicadores de eficiencia energética en las tuberías ensayadas en abril de 2006.

Figure 5. (a) Lateral line of pivot 2; indicators of energetic efficiency in the pipelines tested in April of 2006.

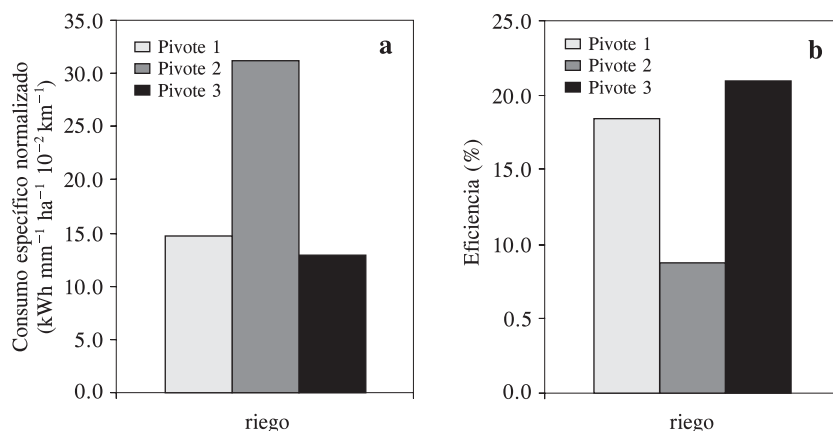


Figura 6. (a) Consumo específico normalizado en el riego; (b) Eficiencia de riego de los sistemas ensayados en abril de 2006.

Figure 6. (a) Normalized specific consumption in the irrigation and (b) Irrigation efficiency of the systems tested in April of 2006.

específico normalizado del pivote 2 del Asentamiento Itamarati I.

La eficiencia de riego (Figura 6b) varía de 8.7% a 21.1% para los pivotes 2 y 1 y determina que en el primero 91.3% de la energía absorbida por el motor es disipada en el conjunto motobomba debido a su rendimiento, en las tuberías de succión, conducción y línea lateral por roce, en los reguladores de presión y en los difusores para la formación y distribución de las gotas, por evaporación, deriva por viento, fugas y percolación profunda.

El consumo específico normalizado de 31.24 kWh mm⁻¹ ha⁻¹ 10⁻² m⁻¹ y la eficiencia de riego igual a 8.7% obtenidas para el pivote 2 caracterizan elevadas pérdidas de agua y energía eléctrica en el Asentamiento Itamarati I. De esta forma, la evaluación de la eficiencia energética durante el proyecto y a lo largo de la vida útil de los pivotes puede auxiliar al agricultor en la elección y el monitoreo de su sistema, así como estimular el desarrollo de proyectos y equipos de riego más eficientes.

La sustitución de los aspersores y reguladores de presión de los tres equipos ensayados, la utilización de bombas con rendimiento igual a 0,8 en los pivotes 2 y 3 y la manutención de la línea de conducción del pivote 2, pueden elevar la eficiencia de los equipos para 23.4, 27.8 y 31.4% y reducir el consumo específico normalizado para 11.63, 9.82 y 8.68 kWh mm⁻¹ ha⁻¹ 10⁻² m⁻¹ en los pivotes 1, 2 y 3.

De esta forma, la implementación de medidas de eficiencia energética puede propiciar el aumento en el rendimiento medio de 11.53%, economía anual de energía igual a 76.74 mil dólares en el asentamiento Itamarati y 24.33 millones de dólares en los pivotes centrales instalados en Brasil.

CONCLUSIONES

A pesar de que los indicadores existentes permitieron caracterizar un pivote central en particular, la

consumption equal to 0.365 kWh m⁻³ 10⁻² m⁻¹ and the motor pump set of pivot 3 has the highest normalized specific consumption (0.463 kWh m⁻³ 10⁻² m⁻¹).

From the headlosses of the suction and mainlines and lateral line (Table 4), the normalized specific consumption was determined in the pipeline system (Equation 5), as shown in Figure 5. A variation in consumption can be verified in Figure 5b of between 0.01 and 0.24 kWh m⁻³ km⁻¹ in the mainline and the lateral of pivot 3. Elevated flow velocities justify the energy consumption obtained in this pipeline.

Analyzing the complete irrigation system (Figure 6a), the normalized specific consumption is obtained in the irrigation, where, with 12.89 kWh, center pivot system 3 provides 1 mm of water in at least 80% of the irrigation area when the topographic elevation is equal to 100 m, while center pivot systems 1 and 2 require 14.91 and 31.24 kWh mm⁻¹ ha⁻¹ 10⁻² m⁻¹. Thus, contrary to the initial evaluation presented in Table 3, despite the higher specific power installed, pivot 3 is 2.42 times more efficient than pivot 2 and 1.15 times more efficient than pivot 1.

Wearing out, the low pressure at the end of the lateral line, and especially, the use of non-specified sprinkler nozzles determined the elevated normalized specific consumption of center pivot system 2 of Settlement Itamarati I.

Irrigation efficiency (Figure 6b) varies from 8.7% to 21.1% for center pivot systems 2 and 1 and determines that in the former, 91.3% of the energy absorbed by the motor is dissipated in the motor pump set due to its yield, in the suction, mainline and lateral line from friction headloss, in the pressure regulators and in the sprinklers for the formation and distribution of the drop, from evaporation, wind drift, leaks and deep percolation.

The normalized specific consumption of 31.24 kWh mm⁻¹ ha⁻¹ 10⁻² m⁻¹ and the irrigation efficiency equal to 8.7% obtained for pivot 2 characterize

metodología propuesta integra los indicadores agrícolas y energéticos en una evaluación global de este sistema de riego, y a su vez, permiten determinar un patrón de eficiencia.

El conocimiento de los consumos normalizados en el conjunto motobomba y en las tuberías permite evaluar los gastos energéticos de cada elemento del sistema, comparar diferentes proyectos y evaluar la eficiencia a lo largo de la vida útil de un sistema de riego.

El indicador propuesto para evaluar los aspersores, integrando el consumo específico de energía al aprovechamiento hídrico a través de la eficiencia de aplicación, determina el gasto energético real de este elemento y puede ser utilizado como parámetro para la valorización de tecnologías eficientes. La eficiencia de riego, a partir de la caracterización de la energía útil de un sistema de riego, a su vez, posibilita visualizar el potencial para reducción de las pérdidas de agua y energía en un pivote central.

El indicador general, consumo específico normalizado en el riego, complementa la evaluación actualmente empleada en pivotes centrales de riego, permitiendo integrar los parámetros agrícolas y energéticos para caracterizar estos sistemas con cualesquiera características de instalación.

La evaluación de los sistemas de pivotes central y la implementación de medidas de eficiencia energética pueden reducir el desperdicio de energía y agua, y aumentar la productividad del cultivo regado.

LITERATURA CITADA

- ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). 1975. NBR 6397 - Ensaio em bombas hidráulicas de fluxo. 48 p.
- ABNT. 1998. NBR 14244 - Equipamento de irrigação mecanizada - Pivô central e lateral móvel providos de emissores fixos ou rotativos - Determinação da uniformidade de distribuição de água. 11 p.
- Batista M. B., e M. M. L. P. Coelho. 2003. Fundamentos de Engenharia Hidráulica. Belo Horizonte: Editora UFMG - Escola de Engenharia da UFMG, 440 p.
- Bernardo S., A. A. Soares, e E. C. Mantovani. 2005. Manual de Irrigação. 7ª ed. Viçosa: Ed. UFV. 611 p.
- Christofidis, D. 2006. Água: gênese, gênero e sustentabilidade alimentar no Brasil. Brasília. Febrero. <http://www.pt.genderandwater.org/content/download/2996/33129/file/AguasustentabilidadealimentarBrasil1.pdf>. 18 p.
- CEMIG (Companhia Energética de Minas Gerais). 1993. Estudo de Otimização Energética. Belo Horizonte, 1993. 22 p.
- Fietz R., C., e M. A. Urchei. 2002. Deficiência hídrica da cultura da soja na região de Dourados, MS. Rev. Bras. Engenharia Agríc. e Ambiental, Campina Grande (PB), 6(2): 262-265.
- Fietz R., C., e M. A. Urchei. 2003. Deficiência hídrica da cultura de trigo na região de Dourados, MS. In: XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2003, Goiânia (GO). XXXII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Jaboticabal (SP): Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola.
- Fietz R., C., e M. A. Urchei. 2006. Influência da época de semeadura na deficiência hídrica do milho safrinha na região de

elevated losses of water and electric energy in Settlement Itamarati I. Thus, the evaluation of the energetic efficiency during the project and throughout the useful life of the center pivot can aid the farmer in the selection and monitoring of the system, as well as to stimulate the development of projects and more efficient irrigation equipment.

The substitution of the sprinklers and pressure regulators of the three equipments tested, the use of pumps with yield equal to 0,8 in center pivot systems 2 and 3 and the maintenance of the mainline of pivot 2, may elevate the efficiency of the equipment to 23.4, 27.8 and 31.4% and reduce the normalized specific consumption to 11.63, 9.82 and 8.68 kWh mm⁻¹ ha⁻¹ 10⁻² m⁻¹ in center pivot systems 1, 2 and 3.

Therefore, the implementation of measures of energetic efficiency can propitiate an increase in mean yield of 11.53%, annual economy of energy equal to 76.74 thousand dollars in the Itamarati settlement and 24.33 million dollars in the center pivot systems installed in Brasil.

CONCLUSIONS

Although the existing indicators allowed the characterization of a center pivot system in particular, the proposed methodology integrates the agricultural and energetic indicators in a global evaluation of this irrigation system, and make it possible to determine a standard of efficiency.

The knowledge of the normalized consumptions in the motor pump set and in the pipeline makes it possible to evaluate the energetic expenditures of each element of the system, to compare different projects and to evaluate the efficiency throughout the lifetime of an irrigation system.

The indicator proposed to evaluate the sprinklers, integrating the specific consumption of energy to hydric use through the application efficiency, determines the actual energetic expenditure of this element and can be used as a parameter for the valoration of efficient technologies. The irrigation efficiency, from the characterization of the useful energy of an irrigation system, in turn, allows the visualization of the potential for the reduction of losses of water and energy in a center pivot system.

The general indicator, normalized specific consumption in the irrigation, complements the evaluation presently used in center pivot irrigation, allowing the integration of agricultural and energetic parameters to characterize these systems with any type of installation characteristics.

The evaluation of center pivot irrigation systems and the implementation of measures of energetic

- Dourados, MS. In: XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 2006, João Pessoa. XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola. Jaboticabal (SP): Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola.
- INCRA (Ministério do Desenvolvimento Agrário. Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária). 2002. Superintendência Regional do Mato Grosso do Sul - Cartografia e Geoprocessamento. Mapa Assentamento Itamarati I. Campo Grande. Gome Brasil.
- IWA (International Water Association). 2000. Performance indicators for water supply services. Versão portuguesa: Indicadores de desempenho para serviços de abastecimento de água. Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 200 p.
- Moreira, H. 2006. Sistema de suporte à decisão agrícola (SISDA): manejo dos cultivos e dos recursos hídricos. 8 p. Mayo. <http://www.mma.gov.br/port/srh/acervo/publica/doc/anais2.pdf>.
- efficiency can reduce the waste of energy and water, and increase the productivity of the irrigated crop.
- End of the English version—
- *—
- Oliveira, A. S., F. A. C. Pereira, V. P. S. Paz, e C. A. Santos. 2004. Avaliação do desempenho de sistemas pivô central na região oeste da Bahia. Irriga 9: 126-135.
- Souza, G. H. F., R. A. L. Brito, J. Dantas Neto, J. M. Soares, e T. Nascimento. 2001. Desempenho do distrito de irrigação Senador Nilo Coelho. Rev. Bras. Engenharia Agríc. Ambiental 5: 204-209.