

# DESENVOLVIMENTO DE INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA PARA AVALIAÇÃO DE PIVÔS CENTRAIS DE IRRIGAÇÃO

AUREO C. LIMA <sup>1</sup>, SEBASTIÃO C. GUIMARÃES JR <sup>2</sup>, JOSÉ R. CAMACHO <sup>2</sup>,  
CARLOS H. SALERNO. <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Eng<sup>o</sup> Eletricista, Doutorando, Núcleo de Energia Rural e Fontes Alternativas de Energia – NERFAE/UFU, Uberlândia - MG,

<sup>1</sup> Prof. MSc. do Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina - PE, CEFET-Pet,

Fone: (0XX87) 3863-2330, aureocl@terra.com.br

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Eletricista, Prof. Doutor, NERFAE/UFU, Uberlândia – MG.

Escrito para apresentação no  
XXXV Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola  
31 de julho a 4 de agosto de 2006 – João Pessoa - PB

**RESUMO:** Com uma área irrigada aproximada de 650 mil hectares, é possível estimar um consumo anual de 830 GWh nos sistemas de irrigação por pivô central instalados no Brasil. Considerando a inexistência de regulamentação do consumo específico destes equipamentos, os sistemas de irrigação por pivô central apresentam grande potencial para implementação de medidas de eficiência, bem como a necessidade da proposição de uma metodologia para sua avaliação energética. Analisando a irrigação por meio do subsistema conjunto motor-bomba, adução e sistema de aspersão, é apresentado neste trabalho uma metodologia para a avaliação da eficiência energética e proposto indicadores gerais e específicos para a comparação dos pivôs centrais quanto ao aproveitamento de água e energia na irrigação. Os indicadores proposto são aplicados em um sistema de irrigação sob duas condições de eficiência energética, onde se obtém uma redução de 11,1793 kWh/(mm.ha.dia) para 4,6771 kWh/(mm.ha.dia), ou seja, 58,16 % de economia de energia.

**PALAVRAS CHAVES:** AVALIAÇÃO, ENSAIO, CONSUMO ESPECÍFICO.

## DEVELOPMENT OF EFFICIENCY ENERGY INDICATORS TO EVALUATION CENTER PIVOT

**ABSTRACT:** With an irrigated area of approximately 650 thousand hectares, it is possible to estimate a consumption of 830 GWh per year due to center pivot systems in Brazil. Considering the lack of regulation concerning the specific consumption of these equipments, center pivot systems have a great potential to the implementation of efficiency measures as well as the need to propose a methodology for energy evaluation. Analyzing the irrigation as a subsystem consisting of an electric motor-pump, water supply and sprinkling systems, in this work is presented a methodology for the evaluation of its energy efficiency. General and specific indicators for the comparison of the center pivots concerning the use of water and energy are also proposed. The indicators proposed are applied to a center pivot under two conditions of energy efficiencies, it is obtained a reduction from 11,1793 kWh/(mm.hour.day) to 4,6771 kWh/(mm.hour.day), where 58.16% on energy savings is observed.

**KEYWORDS:** ENERGY EVALUATION, SPECIFIC CONSUMPTION.

**INTRODUÇÃO:** Considerando a falta de uma legislação específica para etiquetagem ou padronização da eficiência energética destes equipamentos e a busca pela redução do seu custo em detrimento de sua eficiência, bem como problemas com a manutenção e modernização, os sistemas de irrigação apresentam um elevado potencial para implementação de medidas de eficiência energética. A avaliação hídrica de um sistema de irrigação por pivô central determina a eficiência de distribuição de água através do Coeficiente de Heerman e Hein e a Eficiência de Aplicação de Água. A energia específica nestes sistemas, por outro lado, pode ser verificada através de indicadores como a potência específica por hectare irrigado (cv/ha), consumo de energia por milímetro de irrigação (kWh/mm), potência por metro cúbico (kW/m<sup>3</sup>), potência por hectare (kW/ha), energia por metro cúbico (kWh/m<sup>3</sup>). Assim, um sistema de irrigação por pivô central pode ser efetivamente avaliado quanto a sua eficiência hídrica, todavia, os indicadores de potência ou consumo específico de energia não permitem determinar a eficiência energética do sistema, sendo ainda impróprio para se comparar equipamentos instalados em condições topográficas diferentes. Desta forma, buscando-se a melhoria na eficiência energética e hídrica dos sistemas de produção agrícola, é apresentada neste trabalho uma metodologia para a avaliação dos sistemas de irrigação por pivô central.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Os indicadores propostos neste trabalho constituem-se de gerais, que possibilitam a comparação entre quaisquer sistemas de irrigação por pivô central, e específicos, úteis para a comparação de diferentes propostas e projetos para uma mesma área. A partir da Tabela 01, os indicadores são determinados considerando o conjunto motor-bomba (Equações 1 e 2), a adutora (Equações 3 a 5), e o sistema de aspersão, que se constitui da linha lateral, reguladores de pressão, aspersores e da eficiência de aplicação de água.

Tabela 01. Indicadores propostos para avaliação de sistemas de irrigação por pivô central

INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		ASSOCIADO AO/A:	INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA			
			GERAL	ESPECÍFICO	UNIDADES	Eq.
CONJUNTO MOTOR-BOMBA	Consumo de energia elétrica normalizado no sistema de bombeamento	Rendimento da bomba, do acoplamento e do motor	$C_{EN} = \frac{P}{Q \cdot H} \cdot 100$		kWh/m <sup>3</sup> /100m	1
	Rendimento do conjunto Motor-Bomba		$\eta_{MAB} = \frac{27,25}{C_{EN}}$		Adimensional	2
ADUTORA	Consumo de energia hidráulica normalizado da Adutora		$C_{EHNA} = \frac{P_H}{Q \cdot L} \cdot 1000$		kWh/m <sup>3</sup> /km	3
	Perda de carga	Perda de carga distribuída e localizada na adutora	$h_{f100} = 36,697 \cdot C_{EHNA}$		mca.100m	4
	Consumo de energia elétrica normalizado da Adutora			$C_{EENA} = \frac{C_{EHNA}}{\eta_{MAB}}$	kWh/m <sup>3</sup> /km	5
SISTEMA DE ASPERSÃO	Consumo de energia hidráulica específico na linha lateral e aspersores EM NÍVEL	Perda de carga na turbulência aérea e a tecnologia do aspersor para a precipitação útil	$C_{EHSAN} = \frac{P_H}{Q_{90\%} \cdot H_N} \cdot 10$		kWh/(mm.ha.dia)	6
	Consumo de energia elétrica específico na linha lateral e aspersores EM NÍVEL		$C_{EESAN} = \frac{C_{EHSAN}}{\eta_{MAB}}$		kWh/(mm.ha.dia)	7
	Consumo de energia elétrica específico na linha lateral e aspersores REAL		$C_{EESAR} = \frac{P_H}{Q_{90\%} \cdot H_R \cdot \eta_{MAB}} \cdot 10$		kWh/(mm.ha.dia)	8
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	Consumo de energia específico do sistema de irrigação	Energia para irrigar adequadamente 1 mm em 1 ha durante 1 dia (21 horas)	$C_{EEESI} = \frac{P_E}{Q_{90\%} \cdot H_R} \cdot 10$		kWh/(mm.ha.dia)	9
Onde:	Descrição	Onde:	Descrição			
H	Altura manométrica na bomba[m];	Q	Vazão de bombeamento [m <sup>3</sup> /h];			
H <sub>N</sub>	Altura manométrica na linha lateral em Nível [m];	P <sub>H</sub>	Potência hidráulica [kW];			
H <sub>R</sub>	Altura manométrica na linha lateral em Real [m];	L	Comprimento da adutora [m];			
P	Potência elétrica medida no motor [kW]	Q <sub>90%</sub>	Vazão de bombeamento para 90% da área adequadamente irrigada [m <sup>3</sup> /h]			

A perda de água no sistema de aspersão está associada à lâmina que não é aproveitada pela planta, seja por não alcançar o solo ou porque, acima da capacidade de infiltração, escorre superficialmente, ou ainda, ultrapassando a profundidade efetiva das raízes, percola profundamente, conforme apresentado por Cuenca (1989) e Bernardo (2005). O indicador desenvolvido para avaliar o sistema de aspersão, denominado “Consumo de energia hidráulica específico na linha lateral e aspersores em nível” relaciona a energia hidráulica necessária para irrigar adequadamente um milímetro em 90 % de um hectare durante 21 horas de um dia, quando a linha lateral encontra-se em nível, Equação 6. A avaliação completa da irrigação desenvolvida neste trabalho, adequada para a comparação das alternativas de projetos de irrigação, consiste no “Consumo de Energia Específico no Sistema de Irrigação” apresentado na Equação 9. São também apresentados na Tabela 1 outros indicadores propostos neste trabalho para a avaliação de um sistema de irrigação por pivô central.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** Os indicadores propostos serão utilizados na avaliação de quatro sistemas de irrigação dos 58 pivôs do Assentamento Itamarati I, localizado na cidade de Ponta Porã – MS. Para a consolidação da metodologia proposta, os indicadores foram empregados na avaliação de um sistema de irrigação por pivô central em uma condição inicial de baixa eficiência (situação A) e uma segunda condição onde são implementadas medidas de eficiência energética (situação B), indicadas na Tabela 2.

Tabela 02. Características de um pivô central em duas condições de projeto.

item	Situação A	Situação B
Área irrigada (ha)	104,5	104,5
Vazão (m <sup>3</sup> /h)	400	400
Lamina bruta em 21 horas (mm)	8,04	8,04
Lâmina coletada em 21 horas (mm)	7,68	7,68
Lâmina útil para 90% da área adequadamente irrigada	4,60	6,57
Altura geométrica (m)	60	60
Diâmetro da adutora	10" (250 mm)	12"(300 mm)
Comprimento da adutora (m)	1040	1040
Diâmetro da tubulação aérea	576.7 m de 6 5/8"	8 5/8" (213 mm): 336.3 m + 6 5/8"(163 mm): 240.4 m
Pressão no balanço (mca)	20	13
Altura manométrica total (mca)	154	103
Rendimento do motor (%)	88	95
Rendimento da bomba (%)	75	77
Potência de entrada (cv/kW)	347,4/255,7	207,7/152,9
Coefficiente de Uniformidade de Heerman e Hein (C <sub>UH</sub> ) (%)	75	91

Fonte: Adaptado de Pessoa (2005).

Utilizando os dados da Tabela 2 e as equações da Tabela 1 é possível se determinar os índices de eficiência energética dos subsistemas conjunto motor bomba, adutora e sistema de aspersão, bem como do conjunto completo para as situações “A” e “B” conforme são apresentados na Tabela 3. É possível se observar a redução do consumo específico de energia do sistema de irrigação de 11,1793 kWh/(mm.ha.dia) para 4,6771 kWh/(mm.ha.dia). Isto representa um consumo 58,16 % menor de energia para o desenvolvimento do mesmo trabalho. A redução do consumo específico obtida no sistema de irrigação deve-se à melhoria da eficiência do conjunto motor-bomba, da adutora e do sistema de aspersão. Com a substituição da bomba e do motor, o rendimento do conjunto aumentou de 0,6600 para 0,7315. A tubulação da adutora de maior diâmetro resultou na redução da perda de carga de 2,7019 mca.100m para 1,1462 mca.100m. A substituição de parte da tubulação aérea e dos aspersores possibilitou a redução do Consumo de Energia Hidráulica Específico na Linha Lateral e Aspersores em Nível de 3,1805 kWh/(mm.ha.dia) para 1,0229 kWh/(mm.ha.dia).

Tabela 03. Indicadores de eficiência energética aplicados ao sistema de irrigação da Tabela 02.

INDICADORES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA		ASSOCIADO AO/A:	ÍNDICES DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA				UNIDADES
			SITUAÇÃO "A"		SITUAÇÃO "B"		
			GERAL	ESPECÍFICO	GERAL	ESPECÍFICO	
CONJUNTO MOTOR-BOMBA	Consumo de energia elétrica normalizado no sistema de bombeamento	Rendimento da bomba, do acoplamento e do motor	0,4129		0,3725		kWh/m <sup>3</sup> /100m
	Rendimento do conjunto Motor-Bomba		0,6600		0,7315		Adimensional
ADUTORA	Consumo de energia hidráulica normalizado da Adutora		0,0736		0,0312		kWh/m <sup>3</sup> /km
	Perda de carga	Perda de carga distribuída e localizada na adutora	2,7019		1,1462		mca.100m
	Consumo de energia elétrica normalizado da Adutora			0,1116	0,0427		kWh/m <sup>3</sup> /km
SISTEMA DE ASPERSÃO	Consumo de energia hidráulica específico na linha lateral e aspersores EM NÍVEL		3,1805		1,0229		kWh/(mm.ha.dia)
	Consumo de energia elétrica específico na linha lateral e aspersores EM NÍVEL	Perda de carga na turbulação aérea e a tecnologia do aspersor para a precipitação útil		4,8189	1,3984		kWh/(mm.ha.dia)
	Consumo de energia elétrica específico na linha lateral e aspersores REAL			4,8189	1,3984		kWh/(mm.ha.dia)
SISTEMA DE IRRIGAÇÃO	Consumo de energia específico do sistema de irrigação	Energia para irrigar adequadamente 1 mm em 1 ha durante 1 dia (21 horas)		11,1793	4,6771		kWh/(mm.ha.dia)

Lima (2005)

Considerando que a demanda hídrica necessária na irrigação obtida da situação "A", 4,6 mm diários para 90% da área adequadamente irrigada, a potência elétrica de entrada na situação "B" será igual a 107 kW, ou seja, as medidas de eficiência energética implementadas propiciaram a redução de 148,7 kW da potência inicial de 255,7 kW, quando se mantém constante a lâmina útil.

**CONCLUSÃO:** Considerando a ampla utilização dos sistemas de irrigação por pivô central, bem como seu elevado potencial para implementação de medidas de eficiência energética, verificou-se a necessidade da avaliação destes sistemas quanto ao uso integrado de energia e água. Os indicadores de eficiência energética obtidos no sistema de irrigação analisado, 11,1793 kWh/(mm.ha.dia) e 4,6771 kWh/(mm.ha.dia), reafirmam a necessidade do controle de projeto e da manutenção nestes equipamentos de forma a auxiliar o agricultor na escolha e monitoramento de seu sistema, bem como estimular o desenvolvimento de projetos e equipamentos mais eficientes.

#### REFERÊNCIAS:

BERNARDO, Salassier; SOARES, Antonio Alves; MANTOVANI, Everardo Chartuni. **Manual de irrigação**. 7ª ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 611p.

CUENCA, Richard H. **Irrigation System Design: An engineering approach**. New Jersey. 1989. 547 p.

LIMA, Aureo Cezar de. **Desenvolvimento de indicadores de eficiência energética para sistemas de irrigação por pivô central: Estudo de caso no Assentamento Itamarati – Ponta Porã - MS**. Qualificação de doutoramento pela FEELT – UFU, Uberlândia-MG; 165 p.; 2005.

PESSOA, Paulo César Silveira. **Otimização hidráulica e energética de sistemas de irrigação em olericultura**. Disponível em: [www.pivotvalley.com.br/valley/mestre/otimizacaohidraulica.doc](http://www.pivotvalley.com.br/valley/mestre/otimizacaohidraulica.doc). Acessado em: 26 jan. 2005.