

ARTIGO TÉCNICO**CARACTERIZAÇÃO DE ESTAÇÕES DE BOMBEAMENTO EM LAVOURAS DE ARROZ DO RIO GRANDE DO SUL**Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n2p342-351/2016>**LUCIANA M. KÖPP¹, MARCIA X. PEITER², ADROALDO D. ROBAINA³,
CARLOS F. TOESCHER⁴**

RESUMO: A importância da lavoura de arroz irrigado no contexto nacional e o elevado uso de água e energia motivaram este trabalho, que teve por objetivo caracterizar estações de bombeamento (EB) presentes nos sistemas de irrigação, na fronteira oeste do Rio Grande do Sul (RS). Foram avaliadas 160 EBs e obtidas as seguintes informações: área de cultivo; vazão; altura geométrica de sucção e de recalque; comprimento e diâmetro das tubulações de sucção e de recalque; identificação das peças especiais usadas nas tubulações; potência ativa e identificação da marca e do modelo de bomba e motor. Com estes dados, foram estimados a altura manométrica, o rendimento global e os índices de desempenho. Os resultados mostram médias de 13,2 m de altura manométrica, 57% de rendimento global, 532,0 L s⁻¹ de vazão, 293,7 ha de área irrigada e 110,5 kW de potência ativa. As tubulações são confeccionadas em chapa de aço soldado, e os diâmetros de 0,48m e 0,64 m totalizam 60% das mesmas. Os índices de desempenho apresentaram as médias de 43,9 W ha⁻¹ m⁻¹, 443,79 W ha⁻¹, 798,83 kWh ha⁻¹ e 0,0644 kWh m⁻³. Os parâmetros avaliados indicam necessidade de estudos sobre aspectos técnicos que permitam o aumento da eficiência de uso de água e de energia.

PALAVRAS-CHAVE: estações elevatórias, bombas hidráulicas, irrigação superficial, sistemas de bombeamento.

CHARACTERIZATION OF PUMPING STATIONS IN IRRIGATED RICE CROPS FROM RIO GRANDE DO SUL, BRAZIL

ABSTRACT: At a national context, the importance of rice irrigated crops and their high water and power consumption prompted this research, which aimed at characterizing pumping stations (PS) of irrigation systems of rice crops in the western border of Rio Grande do Sul state (RS), Brazil. For this, we evaluated 160 PSs by assessing crop acreage; system flow; geometric height, length and diameter of suction and discharge pipes; pinpointing special parts used; active power; as well as pump and engine brand and models. Such data could help estimate head, global yield and performance indices. The results showed averages of 13.2-m head, 57% global yield, 532.0 L s⁻¹ flow, 293.7 irrigated acreage and 110.5 kW active power. Pipelines are made of welded steel plate and tube diameters of 0.48 and 0.64 m represent 60% of them. The performance indices showed averages of 43.9 W ha⁻¹ m⁻¹, 443.79 W ha⁻¹, 798.83 kWh ha⁻¹ and 0.0644 kWh m⁻³. Furthermore, the evaluated parameters revealed the need for further studies on technical aspects that would allow increases in water and power use efficiency.

KEYWORDS: pumping station, water pump, surface irrigation, pumping system.

¹ Eng^o Agrícola, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, FAEM - UFPEL/Pelotas – RS, Fone: (53) 3275-7260, luciana.kopp@ufpel.edu.br

² Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, CCR-UFMS/Santa Maria – RS, mpeiter@gmail.com

³ Eng^o Agrônomo, Prof. Doutor, Departamento de Engenharia Rural, CCR-UFMS/Santa Maria – RS, diasrobaina@gmail.com

⁴ Eng^o Agrônomo, Mestre/ Pelotas-RS, cftoescher@gmail.com

Recebido pelo Conselho Editorial em: 9-4-2015

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 10-2-2016

INTRODUÇÃO

A lavoura de arroz irrigado no RS cultivou 1.113.500 hectares na safra de 2013/2014, perfazendo 45,91% da área cultivada no País com este cereal (CONAB, 2014). A irrigação praticada nas lavouras de arroz no Estado do Rio Grande do Sul é superficial, com inundação contínua, e a água chega nos pontos mais elevados por estações de bombeamento (EB) presentes em 80% das áreas de cultivo, sendo, após, distribuída por gravidade.

As EBs usuais nas lavouras de arroz do RS possuem características diferenciadas dos padrões clássicos descritos por CARVALHO & OLIVEIRA (2008). As variantes presentes foram implementadas, especialmente nas últimas duas décadas, e conferiram-lhes características singulares para atenderem às necessidades e atenuarem as perdas de água e de energia. Estas modificações passaram pela alteração do posicionamento do conjunto elevatório, pelo uso de estruturas flutuantes (balsas), pela substituição de trechos longos de tubulações por canais elevados de terra, pela retirada de peças especiais (curvas, válvulas, registros), pelo uso de inversores de frequência e de chaves de partida eletrônicas tipo soft starter. No entanto, a falta de planejamento é prática usual, e os projetos nem sempre são desenvolvidos por profissionais habilitados, fato também relatado por ROCAMORA et al. (2013) como uma das causas de baixa eficiência nas EBs na Espanha.

Diversos autores (MARCOLIN & ROBAINA, 2002; OCACIA et al., 2002; CARVALHO & OLIVEIRA, 2008; OLIVEIRA FILHO et al., 2011; GOMES & BEZERRA, 2012) indicam que o consumo de energia é dependente da altura de recalque, da tubulação e dos equipamentos utilizados no processo (bomba e motor), apontando possibilidades de ganho em eficiência pela adequação técnica dos mesmos.

As bombas hidráulicas, usadas sob diferentes estados de conservação, indicam existir equipamentos que associam tempo de uso e falta de manutenção com desgaste e consequente redução da eficiência das mesmas (MARCOLIN & ROBAINA, 2002; URRESTARAZU & BURT, 2012). O uso de motores elétricos superdimensionados e/ou reconicionados induz a redução na eficiência do uso da energia, pois carregamento abaixo de 75% da potência nominal requer maior quantidade de energia elétrica para produzir a mesma energia mecânica (OLIVEIRA FILHO et al., 2010). A tubulação subdimensionada produz excesso de velocidade e aumento de perda de energia, que implica aumento da altura manométrica do sistema e da potência absorvida pela bomba para transpor a vazão estabelecida no projeto. As peças especiais e os acessórios instalados na tubulação também são agentes causadores de perdas de energia e merecem atenção.

A avaliação de desempenho de sistemas é uma técnica moderna que permite reflexão sobre sua performance, e para sua aplicação são definidos indicadores que têm como objetivo simplificar, quantificar, analisar e comunicar a seu respeito, fornecendo informações importantes para o planejamento e o gerenciamento dos processos (DANTAS NETO & FARIAS, 2013). O uso de índices de desempenho na área de irrigação possibilita a identificação de padrões para os dimensionamentos. Já a falta de indicadores que possam ser usados como critério de tomada de decisão, em relação à eficiência energética de uma EB em lavoura de arroz, induz os produtores a temerem o investimento com a troca, substituição ou alteração de itens que compõem o sistema eletromecânico de elevação de água. ROCAMORA et al. (2013) apontam os índices de desempenho como uma ferramenta utilizada para monitorar a qualidade das EBs, mas alertam para a necessidade de verificação dos mesmos com periodicidade. Os indicadores de desempenho que são utilizados com maior frequência relacionam o consumo de energia e a demanda de energia por unidade de área irrigada e de volume de água bombeado (kWh ha^{-1} , kWh m^{-3} , kW ha^{-1} , kW m^{-3}) (SOUZA et al., 2001; MORENO et al., 2010; DANTAS NETO & FARIAS, 2013). OCACIA et al. (2002), estudando lavouras de arroz, estabeleceram um índice que relaciona a potência com a unidade de área e de altura ($\text{W ha}^{-1} \text{m}^{-1}$) e afirmam que os sistemas eficientes devem apresentar valores menores que $30 \text{ W ha}^{-1} \text{m}^{-1}$.

A lavoura de arroz do RS representa cerca de 20% da área irrigada do País (IBGE, 2012) e carece de descrição de seu sistema de irrigação. Este trabalho tem por objetivo caracterizar as EBs

usadas nas lavouras de arroz irrigado por inundação, na região da fronteira oeste do RS, observando sua concepção e seu funcionamento através de levantamento de campo para descrição diagnóstica.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados dados referentes a 160 EBs em quatro municípios localizados na fronteira oeste do RS, sendo 48 em Uruguaiana, 60 em Itaqui, 47 em Alegrete e 5 em São Borja, entre os anos de 2010 e 2012. Foram selecionados 45 produtores, indicados pela concessionária de energia elétrica na região, que usou como critério a intenção dos mesmos em participar do Programa de Eficientização Energética desenvolvido pela empresa.

Através de visitas técnicas, verificou-se marca, modelo e posicionamento (eixo horizontal ou vertical) da bomba e do motor, uso ou não de estrutura flutuante, tipo de chave de partida elétrica, o material das tubulações, seu comprimento e diâmetro. A altura geométrica da EB, de recalque e de sucção, e os respectivos comprimentos das tubulações foram medidos com uso de estação total. A vazão foi obtida com um medidor de vazão ultrassônico portátil por tempo de trânsito, modelo DCT 7088, marca Polysonics®. As grandezas elétricas potência ativa, tensão, corrente e fator de potência foram medidas por analisador de grandezas elétricas. A partir das medidas de tensão, corrente e do fator de potência, a potência elétrica ativa foi conferida pela [eq. (1)].

$$P_{\text{ativa}} = \frac{(\sqrt{3} \cdot V \cdot I \cdot \cos \varphi)}{1000} \quad (1)$$

em que,

P_{ativa} - potência elétrica ativa (kW);

V - Tensão (V);

I - corrente elétrica (A);

$\cos \varphi$ - fator de potência da instalação elétrica.

Os dados foram tabulados e, com base nas medidas realizadas, foi calculada a altura manométrica correspondente a cada estação, usando a [eq. (2)], adaptada de Hazen- Williams. A potência hidráulica necessária para realizar o trabalho de elevar a vazão medida (Q) à altura manométrica (HT), foi determinada pela [eq. (3)]; e o rendimento global da instalação, pela [eq. (4)].

$$AMT = h_g + \left\{ \left(\frac{Q}{0.278 \cdot C \cdot D^{2.63}} \right)^{1.85} \cdot (L + L_{\text{virtual}}) \right\} \quad (2)$$

$$P_{\text{hid}} = \frac{\gamma \cdot Q \cdot AMT}{1000} \quad (3)$$

$$\eta_{\text{global}} = \frac{P_{\text{hid}}}{P_{\text{ativa}}} \cdot 100 \quad (4)$$

em que,

AMT - altura manométrica total (m);

h_g - altura geométrica (m);

Q - vazão medida ($\text{m}^3 \text{s}^{-1}$);

C - coeficiente de rugosidade de Hazen-Williams, adotado valor 90;

D - diâmetro da tubulação (m);

L - comprimento da tubulação (m);

L_{virtual} - comprimento virtual equivalente às peças especiais presentes na instalação (m);

P_{hid} - potência hidráulica (kW);

γ - peso específico do líquido ($N\ m^{-3}$);

η_{global} - rendimento do conjunto de equipamentos da estação de bombeamento (%).

Foram estimados quatro índices de desempenho, conforme as equações 5, 6, 7 e 8:

$$Id_0 = \frac{P_{ativa}}{A \cdot h_g} \quad (5)$$

$$Id_1 = \frac{P_{ativa}}{A} \quad (6)$$

$$Id_2 = \frac{C}{A} \quad (7)$$

$$Id_3 = \frac{C}{V} \quad (8)$$

em que,

Id_0 - índice de desempenho proposto por Ocácia et al. (2002) ($W\ ha^{-1}\ m^{-1}$);

P_{ativa} - potência ativa (W);

A - área cultivada atendida pela EB (ha);

h_g - altura geométrica de recalque (m);

Id_1 - índice de desempenho ($kW\ ha^{-1}$);

Id_2 - índice de desempenho ($kWh\ ha^{-1}$);

Id_3 - índice de desempenho ($kWh\ m^3$);

C - consumo de energia durante todo o ciclo de irrigação (kWh);

V - volume de água bombeado durante todo o ciclo de irrigação (m^3).

Os valores de C e de V foram estimados utilizando o valor médio de 1.800 horas de bombeamento durante o ciclo de irrigação, para todas as EBs.

Os dados medidos e estimados foram tabulados, organizados e analisados de forma a compor resultados diagnósticos para atender ao objeto de estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Área atendida

A área atendida, por EB, variou de 27,9 a 1.217 ha, com média de $293,7 \pm 216,6$ ha, indicando grande variabilidade. A maior ocorrência de áreas foi na faixa de 100 a 400 ha com 71,25% dos casos, ficando 8,75% deles com áreas abaixo de 100 ha e 20% acima de 400 ha, conforme visualizado na Figura 1 A. Estes dados sugerem uma tendência a aumento temporal da área atendida por estação, pois ARNS (1995), estudando 642 EBs na fronteira oeste do RS, constatou 1 estação para cada 190 ha.

Vazão

O valor da vazão variou entre 67 e $1.890\ L\ s^{-1}$, com média de $532,1 \pm 345,3\ L\ s^{-1}$. A vazão por unidade de área, chamada de vazão unitária, ficou entre 0,9 e $2,7\ L\ s^{-1}\ ha^{-1}$. A maior concentração de valores ocorreu entre 1,5 e $2,0\ L\ s^{-1}\ ha^{-1}$ com 55,6% dos casos (Figura 1 B), sendo a média de $1,9 \pm 0,3\ L\ s^{-1}\ ha^{-1}$. A variabilidade dos valores encontrados pode ser atribuída: ao imprevisto na instalação das EBs, pois os equipamentos são aproveitados devido ao rodízio de áreas de cultivo; à falta de controle sobre as vazões e às variabilidades nas texturas e na topografia dos solos cultivados. Os valores médios encontrados por MARCOLIN et al. (2013), em experimento

em parcelas, estiveram entre 1,38 e 1,62 L s⁻¹ ha⁻¹, enquanto SOSBAI (2012) recomenda valores entre 1,00 e 1,40 L s⁻¹ ha⁻¹. Uma das causas de o custo com bombeamento ser mais alto do que o necessário é o excesso de água recalado, e assim a vazão unitária passa a ser um dos itens que merecem controle.

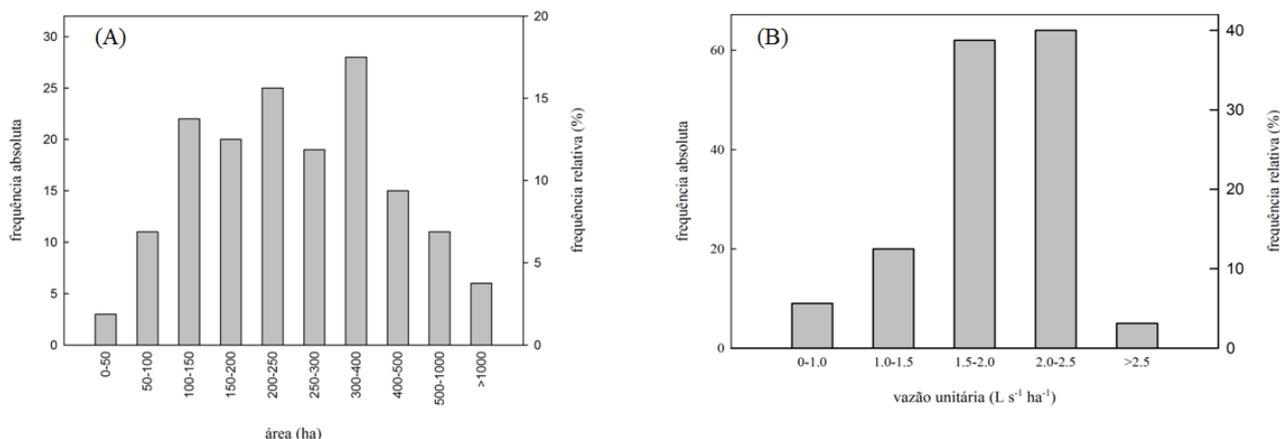


FIGURA 1. (A) Área atendida e (B) vazão unitária das 160 estações de bombeamento estudadas na fronteira oeste do RS, entre 2010 e 2012. (A) **Covered acreage and (B) unit flow rate of the 160 pumping stations investigated in this study, which are located in irrigated rice fields in the western border of Rio Grande do Sul state, between the years of 2010 and 2012.**

Tubulações

As tubulações de recalque foram medidas em relação ao seu comprimento e diâmetro, sendo indiretamente avaliada sua velocidade de fluxo. O diâmetro das tubulações de recalque variou entre 0,28 e 1,25 m, sendo que 45 EBs usavam tubulação de 0,48 m de diâmetro, e em 51 a tubulação foi de 0,64 m, perfazendo 60% dos casos. Em 74,4% das EBs, a velocidade esteve abaixo de 2,0 m s⁻¹, com média das velocidades de 1,6 ± 0,6 m s⁻¹ inferior à velocidade obtida por MARCOLIN & ROBAINA (2002), de 2,58 m s⁻¹, que apontam este parâmetro como determinante para elevado consumo energético. No entanto, ROBAINA et al. (2004) desenvolveram metodologia própria e obtiveram velocidades entre 0,87 e 1,24 m s⁻¹, simulando para ampla gama de vazões a busca de diâmetro econômico em tubulações de chapa de aço soldado para lavouras de arroz. Neste estudo, 46,88% dos casos apresentaram velocidade entre 0,75 e 1,50 m s⁻¹. A NBR 12.214 orienta o uso de velocidade de 1,5 m s⁻¹ como limitante para tubulações com diâmetro igual ou superior a 0,40 m. Assim, pode-se inferir a necessidade de estudo com relação aos critérios usados na determinação dos diâmetros na situação deste estudo, e, que, segundo informações dos técnicos, é usada como critério de dimensionamento a velocidade limite de 1,5 m s⁻¹.

Em relação ao comprimento, verificou-se a ocorrência de 72,5% dos casos com valores inferiores a 300 m. A média dos comprimentos foi de 234,3 ± 205,6 m, indicando grande variabilidade entre os comprimentos, o que mostra não haver um padrão. Percebeu-se uma tendência ao uso de tubulações mais curtas, com parte da distribuição de água sendo feita por canais em terra, o que se deve ao fato de, em 62,7%, as áreas serem arrendadas, não oportunizando investimentos, pelo tempo de contrato estabelecido (normalmente entre 5 e 10 anos).

Altura manométrica

A altura manométrica variou de 3,2 a 28,4 m, com média de 13,2 ± 5,4 m. Este valor é inferior ao publicado por ARNS (1995), de 17,74 m como média de 642 unidades pesquisadas na mesma região. Este fato pode ser atribuído à preferência por áreas com baixas alturas geométricas associado a medidas de reposicionamento de EB, redução no comprimento das tubulações, adequação dos diâmetros às vazões de projeto e redução de peças especiais.

Apenas 3,1% das EBs avaliadas apresentaram altura manométrica menor de 5,0 m, sendo que 104 delas (65%) tinham altura manométrica entre 5,0 e 15,0m (Figura 2 B). A altura geométrica variou entre 2,0 e 25,62 m, o que pode estar associado à topografia da região, que apresenta relevo suavemente ondulado (4 a 8% de declividade). A perda de energia ficou entre 1,5 e 166,9% da altura geométrica (Figura 2 A), o que é um indício de que existem itens de dimensionamento que devem ser revistos (diâmetro e comprimento da tubulação). Apesar de, em 56,8% dos casos, a perda de energia representar menos de 20% da altura geométrica, em 26% das EBs a perda de energia foi superior a 30% da altura geométrica de recalque e em apenas 25% dos casos estavam abaixo de 10%, o que foi considerado insatisfatório. Observou-se que perdas de energia superiores a 60% ocorreram em EB cuja altura geométrica é inferior a 10 m.

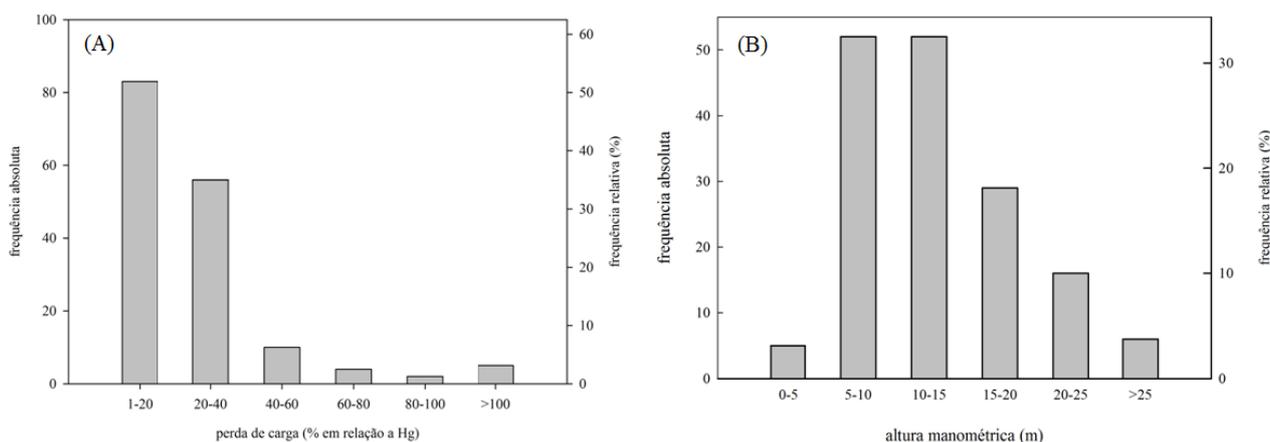


FIGURA 2. (A) Perda de energia em relação à altura geométrica (%) e (B) altura manométrica (m) das 160 EBs estudadas na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, entre 2010 e 2012. **(A) Hydraulic head loss according to geometric height (%) and (B) head height (m) of the 160 studied pumping stations in irrigated rice crops from the western border of Rio Grande do Sul state, between the years of 2010 and 2012.**

Potência ativa e nominal

Em todas as EBs estudadas, o acionamento utilizado foi com motor elétrico. A potência ativa variou de 14,8 a 401,0 kW (20,1 a 544,8 cv), com maior frequência na faixa de 50 a 150 kW (67,9 a 203,8 cv), perfazendo 62,5% das ocorrências. A potência ativa média das instalações estudadas foi de $110,5 \pm 61,7$ kW ($150,1 \pm 83,8$ cv), valor superior ao encontrado por ARNS (1995), de 83,9 kW, o que se justifica pelo aumento da área média irrigada.

Em relação às potências instaladas (potência nominal do motor), a faixa de valores encontrados foi de 14,7 a 368,0 kW (20 a 500 cv), com média de $111,7 \pm 58,1$ kW ($151,8 \pm 78,9$ cv). A faixa de 50 a 150 kW (135 a 200 cv) foi a mais frequente, com 68,12% dos casos. Uma observação complementar foi a de que, entre os 160 motores avaliados, 116 já haviam sido rebobinados pelo menos uma vez, o que pode ser um fator de redução no rendimento global.

A diferença entre a potência nominal e a potência ativa é um dos fatores determinantes da eficiência do motor elétrico. Em 38,2% das EBs as potências ativas medidas foram inferiores à potência nominal, apresentando um fator de carga - relação entre a potência ativa e a potência nominal do motor- inferior à unidade (Figura 3 A). OLIVEIRA FILHO et al. (2010) encontraram potências nominais entre 15 e 88% acima da potência ativa, caracterizando folga excessiva. No caso deste estudo, a diferença pode ter sido gerada pelo imprevisto nas instalações, em função do rodízio de áreas, normalmente com 2 anos de cultivo e 3 de pousio, e conseqüentemente alteração nas condições de trabalho das EBs, gerando como prática usual o aproveitamento de equipamentos em situações diferentes daquelas de projeto. OLIVEIRA FILHO et al. (2010) afirmam que a utilização acumulada de fatores de segurança e de acréscimo de potência, no dimensionamento de motores,

para acionamento de bombas hidráulicas, gera rendimento inferior aos dos mesmos sistemas, quando calculados sem esses fatores.

As chaves de partida dos motores, em 100% das EBs, eram eletrônicas (“soft starter”), fato esse que justifica a inexistência de registros na saída das bombas.

Bombas

Observou-se a ocorrência de cinco marcas diferentes de bombas, as quais serão chamadas de A, B, C, D e E neste trabalho, sendo a marca A caracterizada por bombas cujo rotor é produzido artesanalmente a partir de carcaças sucata. Em 7,5% das instalações, encontraram-se bombas submersas instaladas. Houve o predomínio da marca D, que apareceu em 52,5% dos casos, sendo justificado seu uso expressivo pela faixa de cobertura (vazão e altura manométrica) e preço, em comparação às demais marcas. Em média, das 160 EBs avaliadas, existe uma bomba para cada 293 ha de arroz irrigado, com vazão de 532 L s^{-1} e altura manométrica de 13,2 m.

Em relação ao tamanho, 87,5% das bombas estudadas possuem flange de entrada entre 250 e 500 mm. Foi observada a existência de bombas com mais de 30 anos de operação, porém este dado não foi quantificado, pois em expressiva maioria os produtores não sabiam informar a idade dos equipamentos.

Rendimento global

O rendimento global encontrado foi abaixo de 60%, em 55% das EBs, e em 24,4% delas foi superior a 70%, sendo sua distribuição apresentada na Figura 3 B. Em média, o rendimento foi de $57 \pm 15\%$, valor acima do encontrado por MOISES (2009), de 50% para as EBs que analisou na região central do RS, onde as bombas usadas são de menor tamanho e, portanto, fisicamente aptas a menores rendimentos. Em EBs que atendem a sistemas de irrigação localizada na Espanha, VERA et al. (2010) e MORENO et al. (2010) encontraram 50,2 e 47,9%, respectivamente, para o rendimento global. A escolha de bomba, cujo rendimento seja superior a 75%, combinando com o uso de motor elétrico, trabalhando em plena carga para a obtenção do máximo rendimento, que deve ser superior a 90% (OLIVEIRA FILHO et al., 2010) e com sistema de transmissão mecânica ajustado, conduzem à expectativa de rendimento global acima de 65%. Das 160 EBs avaliadas, 56 (35%) apresentaram rendimento global acima de 65%, o que indica necessidade de melhorias técnicas a serem propostas, visando a aumentar este índice.

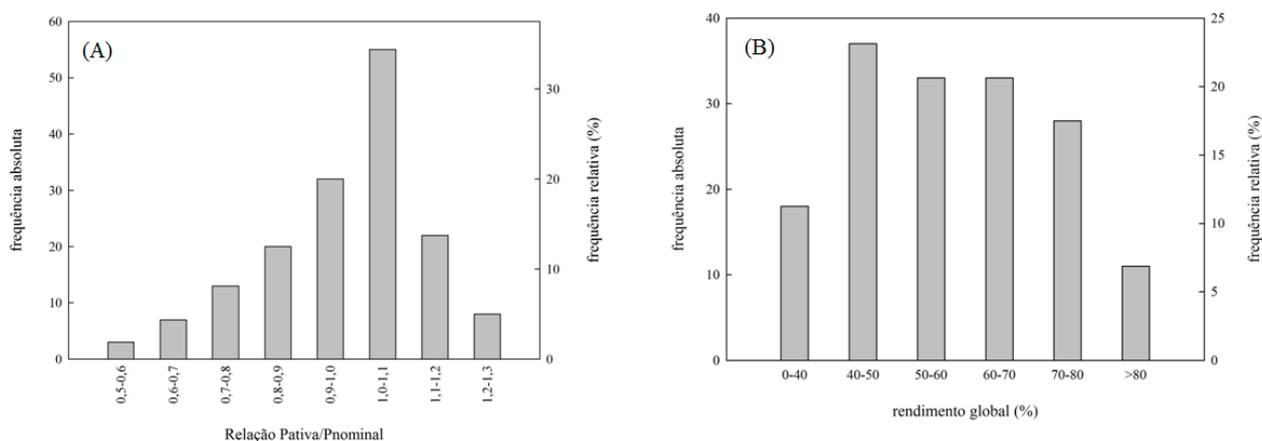


FIGURA 3. Relação entre a potência ativa e a potencia nominal (A) e rendimento global (B) para as 160 EBs estudadas na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, entre 2010 e 2012. **Relationship between active power and rated power (A) and global yield (B) of the 160 studied pumping stations in irrigated rice crops from the western border of Rio Grande do Sul state, between the years of 2010 and 2012.**

Índices de desempenho

A Figura 4 apresenta a distribuição dos índices de desempenho avaliados. Das 160 EBs estudadas, a média do Id_0 foi de $43,9 \pm 16,8 \text{ W ha}^{-1} \text{ m}^{-1}$, variando entre $14,8$ e $116,6 \text{ W ha}^{-1} \text{ m}^{-1}$, sendo que 16,87% das EBs apresentaram índice abaixo de $30 \text{ W ha}^{-1} \text{ m}^{-1}$, valor preconizado por OCACIA et al. (2002) como limite para a obtenção de um bom desempenho. A variabilidade observada na Figura 4 A pode ser atribuída ao fato de lavouras pequenas, com menores potências instaladas, terem reduzido apelo ao processo de uso eficiente de energia, fato observado por OCACIA et al. (2002) que encontraram valores entre $25 \text{ W ha}^{-1} \text{ m}^{-1}$ e $104,2 \text{ W ha}^{-1} \text{ m}^{-1}$.

Já em relação ao índice Id_1 , caracterizado pela relação entre a potência e a área atendida (Figura 4 B), 75% das EBs apresentaram valor abaixo de 550 W ha^{-1} , com média de $443,79 \pm 206,28 \text{ W ha}^{-1}$, valor inferior aos encontrados por MARCOLIN & ROBAINA (2002), de $684,5 \text{ W ha}^{-1}$ em 31 EBs na região central do RS. Este índice deve ser usado com cautela como indicador de eficiência energética, pois não permite a comparação de sistemas com características físicas diferentes. De maneira geral, também se pode observar que, nas lavouras menores, os índices tendem a apresentar um valor mais alto, indicando que, nas potências mais baixas, existe menor preocupação com eficiência no uso da energia devido ao menor consumo.

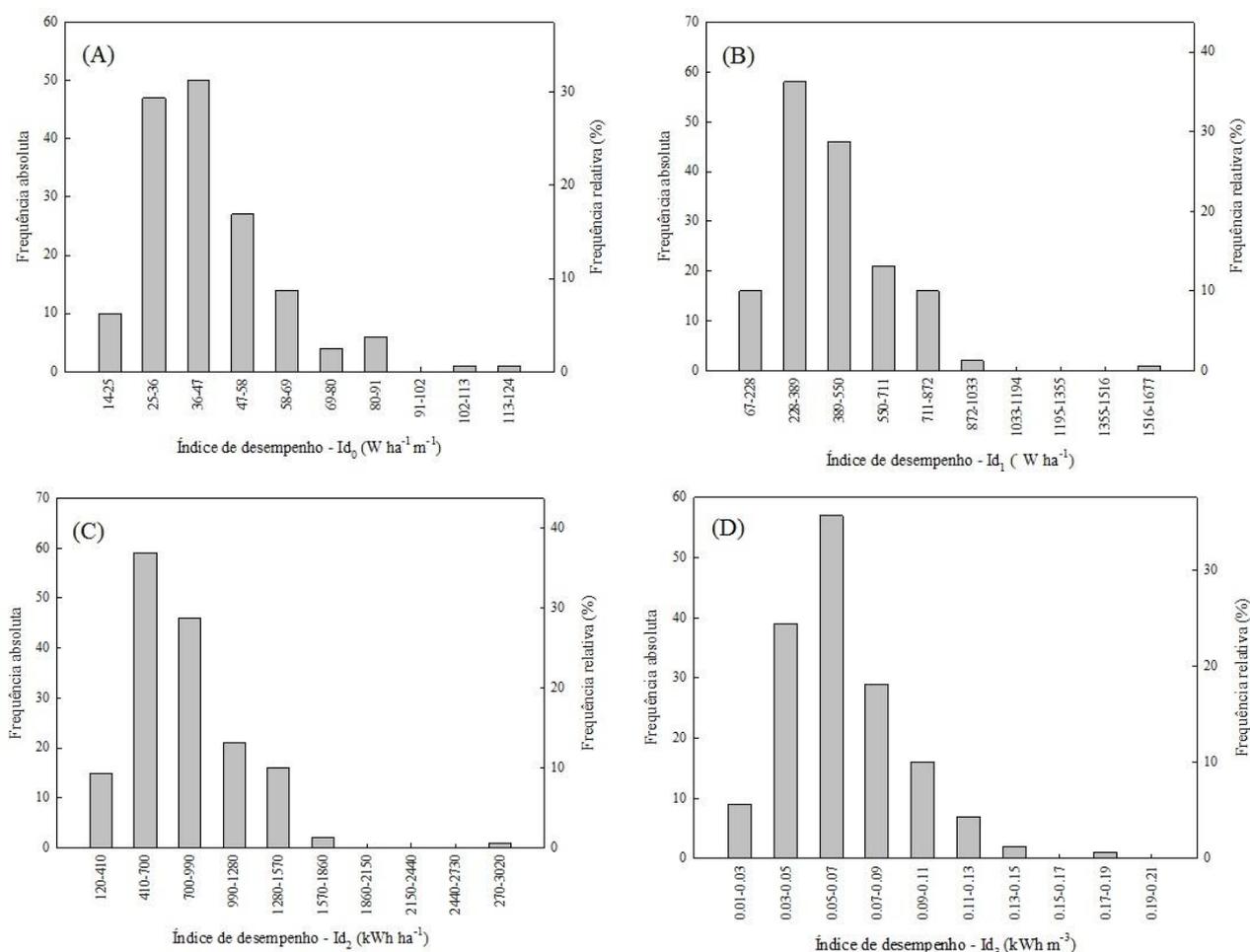


FIGURA 4. Índices de desempenho Id_0 (A), Id_1 (B), Id_2 (C) e Id_3 (D) para as 160 EBs estudadas na fronteira oeste do Rio Grande do Sul, entre 2010 e 2012. **Performance indices - Id_0 (A), Id_1 (B), Id_2 (C) and Id_3 (D) of the 160 studied pumping stations in irrigated rice crops from the western border of Rio Grande do Sul state, between the years of 2010 and 2012.**

Estudando o consumo das EBs foram avaliados os índices Id_2 e Id_3 , cujas médias foram de 798,83 kWh ha⁻¹ e 0,0644 kWh m⁻³, respectivamente. A variabilidade destes índices nas EBs estudadas pode ser observada nas Figuras 4 C e 4 D. Estes índices não são recomendados como referência, pois não demonstraram uniformidade. Alguns estudos, em diferentes locais, indicam expressiva variabilidade, podendo estar associadas às alturas manométricas características do local, ao sistema de irrigação usado e ao tipo e tamanho das bombas. Neste sentido, MORENO et al. (2010) estudaram 15 EBs na Espanha, em sistemas de irrigação pressurizado (microaspersão e gotejamento), encontrando as médias de 2.792 kWh ha⁻¹ e de 0,872 kWh m⁻³. URRESTARAZU & BURT (2012) avaliaram mais de 15.000 EBs na Califórnia e obtiveram a média de 0,16 kWh m⁻³. SOUZA et al. (2001), acompanhando o período de 10 anos no perímetro irrigado Senador Nilo Coelho, observaram a redução de 0,5 para 0,3 kWh m⁻³ e de 689,26 para 378,33 kWh ha⁻¹, enquanto MEDEIROS et al. (2003), no perímetro irrigado Pirapora, encontraram 0,47 kWh m⁻³ e 4.401 kWh ha⁻¹, o que demonstra grande variabilidade desses indicadores, sendo, portanto, difícil efetuar comparações sob diferentes condições.

As observações feitas mostram expressiva variabilidade entre as grandezas avaliadas, indicando falta de padrão para dimensionamento dos elementos constituintes de uma estação de bombeamento de água, em lavouras de arroz, na fronteira oeste do RS. Os itens vazão, perda de energia, rendimento e índices de desempenho devem ser estudados para identificação de critério de dimensionamento que auxiliem na determinação de sistemas eficientes em relação ao uso de energia.

CONCLUSÕES

Os indicadores obtidos permitem caracterizar as estações de bombeamento de água usadas em lavouras de arroz irrigado na fronteira oeste do RS. Os valores médios obtidos foram de 13,2 m para altura manométrica, 57% para o rendimento global, 532,0 L s⁻¹ para vazão, 293,7 ha para área irrigada e 110,5 kW para potência ativa. As tubulações são confeccionadas em chapa de aço soldado, e os diâmetros de 0,48m e 0,64 m totalizam 60% das mesmas. Os índices de desempenho apresentaram as médias de 43,9 W ha⁻¹ m⁻¹, 443,79 W ha⁻¹, 798,83 kWh ha⁻¹ e 0,0644 kWh m⁻³. Sugere-se que estudos posteriores determinem índices de desempenho que possam ser usados como critério de dimensionamento e parâmetros de projetos.

REFERÊNCIAS

- ARNS, R. Racionalização do uso de energia elétrica em bombeamentos de arrozais na Fronteira-Oeste do Rio Grande do Sul. **Lavoura Arrozeira**. Porto Alegre, v.48, n.418, jan./fev., p.14-17, 1995.
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**, v. 1 - Safra 2013/14, n. 6 - Sexto Levantamento. Brasília, 2014, p.1-83.
- CARVALHO, J.A.; OLIVEIRA, L.F.C. **Instalações de bombeamento para irrigação** - Hidráulica e consumo de energia. Lavras: Editora UFLA, 2008.
- DANTAS NETO, J.; FARIAS, M.S.S. Indicadores de desempenho como instrumento de gestão em projetos de irrigação. In: AGUIAR NETO, A.O.; BASTOS, E.A. (Org.). **Princípios agrônomicos da irrigação**. Brasília: EMBRAPA, 2013.
- GOMES, H.P.; BEZERRA, S.T.M. Ações de eficiência energética. In: GOMES, H.P.; CARVALHO, P. S. O. (Org.). **Manual de sistemas de bombeamento** - eficiência energética. João Pessoa: Editora Universitária, UFPB, 2012. p.129-140.
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006** - Brasil, grandes regiões e unidades da federação - segunda apuração. Rio de Janeiro: Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, 2012.

- MARCOLIN, E.; ROBAINA, A.D. Consumo de energia e eficiência das estações de bombeamento de lavouras de arroz irrigado. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.32, n.2, p.229-235, abr. 2002.
- MARCOLIN, E.; JAEGER, R.L.; FONSECA, E.L. Rendimento de grãos e eficiência de uso da água em lavouras comerciais de arroz irrigado no RS. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ARROZ IRRIGADO, 8., 2013, Santa Maria. **Anais...**
- MEDEIROS, S. de S.; SOARES, A.A.; RAMOS, M.M.; MANTOVANI, E.C.; SOUZA, J.A.A. Avaliação da eficiência do uso da energia elétrica no Perímetro Irrigado de Pirapora, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.7, n.2, p.394-398, 2003. doi: 10.1590/S1415-43662003000200035
- MOISES, N.D. **Energia elétrica para a irrigação do arroz na área da CELETRO**. 2009. 92f. Dissertação (Mestrado em Energia, Ambiente e Materiais) - Universidade Luterana do Brasil, Canoas, 2009.
- MORENO, M.A.; ORTEGA, J.F.; IGNACIO, J.; TARJUELO, J.M. Energy analysis of pressurized irrigation delivery systems: monitoring and evaluation of proposed measures for improving energy efficiency. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.28, n.5, p.445-460, 2010. doi:10.1007/s00271-010-0206-8
- OCACIA, G. C.; DUARTE, H. A.; MARTINS, F. M. Uso racional de energia em estações de bombeamento de água para irrigação de arroz. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. **Anais...** Disponível em: http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC_0000_000022002_000200063&lng=en&nrm=abn. Acesso em: 23 jul. 2014.
- OLIVEIRA FILHO, D.; RIBEIRO, M.C.; MANTOVANI, E.C.; SOARES, A.A.; FERNANDES, H.C. Dimensionamento de motores para o bombeamento de água. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.6, p.1012-1022, nov./dez. 2010. doi:10.1590/s0100-69162010000600003
- OLIVEIRA FILHO, D.; SAMPAIO, R.P.; MORAES, M.J.; PIZZIOLO, T.A.; DAMIÃO, J.H.A. Metodologia de diagnóstico energético em estação de captação de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, n.10, out. 2011. doi: 10.1590/S1415-43662011001000015
- ROBAINA, A.D., CALGARO, M., PEITER, M. X. Tubulações em sistemas de recalque. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.4, p.1065-1068, jul./ago., 2004. doi:10.1590/s0103-84782004000400015
- ROCAMORA, C.; VERA, J.; ABADÍA, R. Strategy for efficient energy management to solve energy problems in modernized irrigation: analysis of the Spanish case. **Irrigation Science**, Heidelberg, v.31, n.5, p.1139-1158, 2013. doi: 10.1007/s00271-012-0394-5
- SOSBAI - SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO. **Arroz irrigado: Recomendações técnicas para o sul do Brasil**. Itajai, 2012, 179 p.
- SOUZA, G. H. F. de ; BRITO, R. A. L.; DANTAS NETO, J.; SOARES, J. M.; NASCIMENTO, T. Desempenho do Distrito de Irrigação Senador Nilo Coelho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.2, p.204-209, 2001. doi: 10.1590/S1415-43662001000200005
- URRESTARAZU, L.P.; BURT, C.M. Characterization of pums for irrigation in Central Califórnia: Potential energy savings. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.138, n.9, p.815-822, Sept. 2012. Doi:10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000463
- VERA, J.; ABADÍA, R.; MORA, M; ROCAMORA, M.C. Eficiencia energética de instalaciones de bombeo em pozos para extracción de águas de riego sunterrâneas. In: CONGRESO NACIONAL DE RIEGOS, 28. 2010, Léon, **Anais...** 15-16.