

IDENTIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS SUBÓTIMOS DE OPERAÇÃO DO MÓDULO DE BOMBEAMENTO DE UM DISPOSITIVO PARA ELEVAÇÃO ARTIFICIAL BASEADO NO ALGORITMO PSO

André Pimentel Moreira, apmoreira@ifce.edu.br^{1,3}

Herman Augusto Lepikson, herman.lepikson@fieb.org.br²

Leizer Schnitman, leizer@ufba.br³

Geraldo Luis Bezerra Ramalho, leizer@ufba.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, 60040-531

²Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia, Av. Orlando Gomes, 1845 - Piatã, Salvador - BA, 41650-010

³Universidade Federal da Bahia, R. Prof. Aristides Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, 40210-630

Resumo: Nos últimos anos a população do Nordeste do Brasil, principalmente a região do Semiárido vem sofrendo com a escassez de água devido à quantidade insuficiente de chuvas, reservatórios e de água imprópria para o consumo. Dentre as ações de combate a seca, a elevação artificial dos aquíferos subterrâneos apresenta-se como alternativa. Contudo, uma maior profundidade acarreta pressões mais elevadas e consequentemente restringindo o uso de modelos comerciais de bombas devido às limitações operacionais. Este artigo apresenta um dispositivo de bombeamento denominado Bombeamento Linear Submerso de Duplo Efeito (BLS), objeto de recente depósito de patente, que se caracteriza como um sistema hidráulico adaptado para operar no interior do poço. É utilizado o algoritmo da Otimização por Exame de Partícula (PSO) a fim de se obter os parâmetros de operação subótimos do BLS. Os resultados apresentados indicam um reduzido erro de estimação e convergência dos valores testados.

Palavras-chave: elevação artificial, sistemas hidráulicos, inteligência computacional.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o Madeiro e Gama (2017) após o sétimo ano consecutivo de seca, o semiárido brasileiro está com apenas 17% do volume de água, e o total não seria capaz de encher o açude Castanhão em Jaguaribara (CE), o maior açude da região, que tem capacidade para 6,7 bilhões de m^3 , que segundo Departamento Nacional de Obras Contra a Seca (2017) encontra-se no início do volume morto. Os dados incluem os reservatórios dos Estados de Alagoas, Bahia, Ceará, Minas Gerais, Paraíba, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte e Sergipe.

Um estudo realizado indica, que entre 1910 e 2016 somente em duas ocasiões o Estado do Ceará teve cinco anos consecutivos de seca: 1979 a 1983 e de 2012 a 2016. Além disso, os dados comprovam que o período atual de estiagem é o pior já registrado, pois a média de anual desta seca é de apenas 516 mm, enquanto a média anual de 1979 a 1983 foi de 566 mm. Ou seja, de acordo com o estudo, esta é a seca mais grave desde 1910 (Funceme, 2016).

Segundo Marengo e Torres (2017), as projeções climáticas futuras para a área do semiárido indicam grandes aumentos de temperatura e reduções de chuvas, que, juntamente com a tendência de longos e intensos períodos com dias secos consecutivos, o que sugere uma tendência à aridificação na região. Todas essas condições levam a um aumento da evaporação dos reservatórios e lagos, que afetam a irrigação e a agricultura, bem como os principais usos da água, incluindo a energia hidrelétrica, indústria e o bem-estar dos moradores da região.

A pesquisa realizada por Cirilo (2008) revela que as reservas de água doce subterrânea nas bacias sedimentares do Nordeste permitem a captação anual de 20 bilhões de m^3 , por ano, sem colocar em risco as reservas existentes. Esse volume equivale a 60% da capacidade do reservatório de Sobradinho, na Bahia (34 bilhões de m^3), principal responsável pela regularização das vazões do rio São Francisco ou o triplo da capacidade do açude Castanhão no Ceará.

Em 2016, o Governo Federal autorizou, por meio de Medida Provisória, a abertura de crédito extraordinário no valor de R\$ 789,9 milhões para as ações emergenciais de combate a seca no Nordeste, em que mais de R\$ 260 milhões foram alocados em ações para mitigar os efeitos da estiagem na região semiárida e garantir o abastecimento de água à população. Os aportes contemplam, dentre outras ações, a perfuração e instalação de poços para o fornecimento de água (Brasil, 2016).

Inserido no cenário de busca de novos métodos de elevação artificial, este trabalho apresenta a proposta de um método alternativo de elevação artificial denominado de Bombeamento Linear Submerso de Duplo Efeito (BLS), que se caracteriza como um sistema de bombeio de deslocamento volumétrico com acionamento hidráulico apto a operar sub-

merso no fluido, sendo uma alternativa viável para bombeamento de água em poços artesianos profundos, em regiões com baixo índice pluviométrico. O dispositivo de bombeamento proposto neste trabalho foi objeto de recente depósito da patente no Instituto Nacional da Propriedade Intelectual (BR 10 2015 019070 0) e o protótipo encontra-se em fase de desenvolvimento.

Os parâmetros do sistema bombeamento proposto podem ser estabelecidos analiticamente. Contudo, é necessário um conhecimento especializado no projeto de equipamentos para determiná-los, mas sem garantia da maximização do desempenho do sistema de elevação. Neste trabalho é utilizado um método de otimização multivariado para identificar os parâmetros que maximizam a operação do BLS para que posteriormente seja validado experimentalmente.

2. ALGORITMO PSO

O algoritmo PSO (*Particle Swarm Optimization*) é uma técnica de otimização estocástica baseada na população, que apresenta semelhanças a técnicas de computação evolutiva, como por exemplo os Algoritmos Genéticos (Yao *et al.*, 2014).

Segundo Ye *et al.* (2016), no PSO o algoritmo começa gerando aleatoriamente um enxame de partículas que voam através do espaço do problema, e cada partícula apresenta uma solução candidata para o problema de otimização. O valor subótimo de cada partícula pode ser derivado de uma função de aptidão definida pelo usuário que está vinculada à função objetivo (função de custo). Em cada iteração, cada partícula se move em direção à localização ideal, com a velocidade atualizada de acordo com a melhor posição alcançada até agora (a melhor partícula melhorada) e a melhor posição geral obtida a partir de qualquer partícula do enxame até agora (chamada melhor global).

Brentan *et al.* (2017) utilizaram o algoritmo PSO para otimização da relação entre bombas e válvulas a fim de criar condições hidráulicas capazes de satisfazer a demanda sem problemas operacionais, como pressões menores ou superiores aos valores de pressão normativa. Os resultados apresentaram vantagens da aplicação do modelo de previsão da demanda de água apresentado, não só visando a redução do custo de energia, mas também permitindo uma melhor gestão da pressão, eventualmente reduzindo a perda de água.

Rafiq (2018) utilizou o algoritmo PSO na simulação de controle de velocidade de dois atuadores de simples haste em circuitos hidráulicos típicos a fim de obter um desempenho suave e com menos vibração do sistema. Foi proposta uma metodologia para a seleção ótima de componentes hidráulicos (dimensionamento ótimo de componentes). Os resultados obtidos após a otimização mostraram que, em ambas as configurações, o desempenho do sistema foi melhorado em ambas os circuitos hidráulicos.

De acordo com Gaur *et al.* (2011), as etapas de trabalho do método PSO para solução de qualquer otimização pode ser descritas como:

1. Inicializa uma população (matriz) de partículas com posições aleatórias e as velocidades nas dimensões no espaço do problema. As variáveis de decisão em PSO são contabilizadas pela dimensão de cada partícula.
2. Determina o valor da aptidão de cada partícula por uma função de custo.
3. Se o valor atual da partícula for melhor do que o a melhor partícula global, define-se o valor melhor atual igual ao valor global.

A velocidade e posição da partícula podem ser estimadas de acordo com Stoppato *et al.* (2011) e Ye *et al.* (2016) através das Eq. (1) e Eq. (2).

$$v_{id}^{t+1} = \omega \cdot v_{id}^t + c_1 r_1 \cdot (p_{id}^t - x_{id}^t) + c_2 r_2 \cdot (p_{gd}^t - x_{gd}^t), \quad (1)$$

$$x_{id}^{t+1} = x_{id}^t + v_{id}^{t+1}, \quad (2)$$

Em que v_{id}^t é a velocidade da partícula, x_{id}^t é a posição da partícula, p_{id}^t é posição da melhor partícula na iteração corrente, p_{gd}^t é a melhor posição da partícula globalmente, ω é o coeficiente de inércia, c_1 é constante cognitiva e c_2 é a constante social, r_1 e r_2 são números que ficam no intervalo de 0 a 1 que evitam o aprisionamento em mínimos locais mínima e para permitem a divergência de uma pequena porcentagem de partículas para uma exploração mais ampla do espaço de busca.

3. Dispositivo BLS

O dispositivo de bombeamento mecânico linear submerso de duplo efeito (BLS), caracteriza-se por um sistema hidráulico adaptado para operar no interior do poço, que pode ser utilizado em poços com diferentes configurações (lineares ou com desvios) e fluídos com densidades similares à da água. O BLS é composto de dois módulos: o módulo de potência, que não faz parte do escopo desse trabalho e o módulo de bombeamento.

O dispositivo BLS apresenta flexibilidade, na forma construtiva, quanto ao potencial de deslocamento volumétrico por ciclo de operação. Embora a concepção inicial da operação do dispositivo seja o bombeamento com um atuador de duplo efeito, o mesmo pode operar com o atuador de simples efeito, método semelhante à bomba de fundo do bombeamento mecânico com hastes (BMH). Contudo, utilizando cilindro hidráulico, é possível aumentar o volume de produção com a adição do segundo atuador de bombeamento com as mesmas características do primeiro.

O ciclo de bombeio dos atuadores de bombeamento é estabelecido com o fluxo volumétrico de uma bomba hidráulica posicionada no módulo de potência, através de um cilindro hidráulico, que pode ser de um cilindro de dupla ação de hastes simples ou hastes duplas, sendo este último utilizado na configuração com duas bombas de duplo efeito.

O módulo de potência hidráulica é composto por motor elétrico submerso (M), bomba de hidráulica (B), filtro (F), válvula de segurança (limitadora de pressão diretamente operada), reservatório com chicana (T), válvula direcional 4/2 vias com duplo acionamento hidráulico (VD_1) e duas válvulas de sequência (Lp_1 e Lp_2). Na Figura 1 é visto o esquema hidráulico da configuração com um atuador de bombeamento e na Figura 2 é ilustrado o mecanismo do sistema de elevação artificial proposto com um cilindro atuador de potência e outro de bombeamento de duplo efeito.

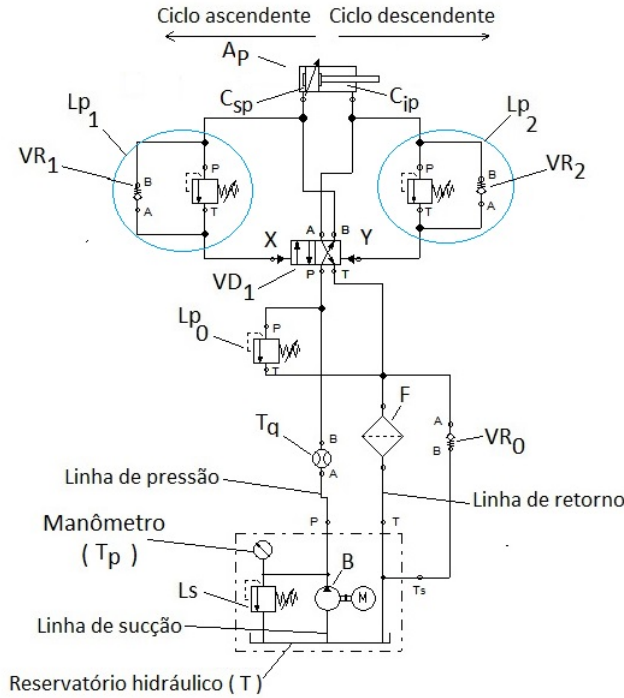


Figura 1: Esquema hidráulico de potência com um atuador de bombeamento.

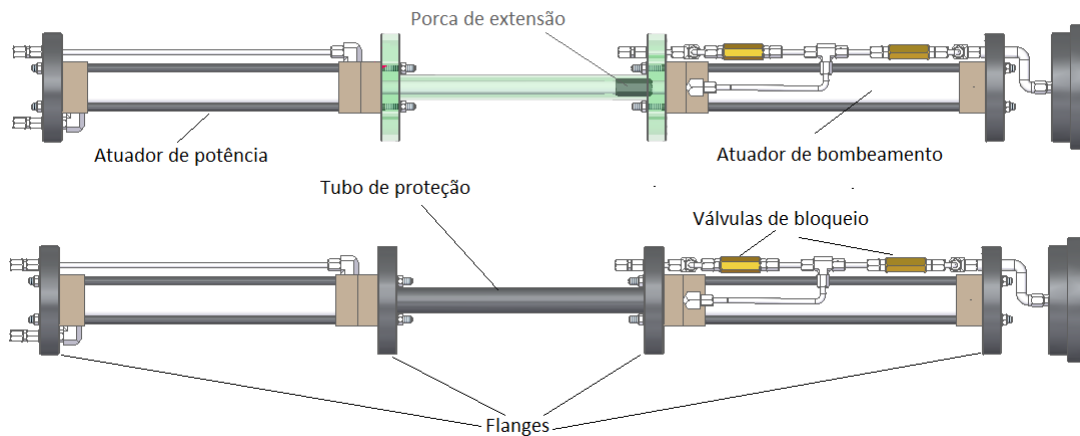


Figura 2: Módulo de bombeamento com simples atuador de bombeamento.

A fim de maximizar o fluxo volumétrico de produção do sistema de bombeamento BLS, foram relacionados inicialmente os parâmetros construtivos, diâmetros do êmbolo/haste e deslocamento do cilindro de bombeamento. Foi estabelecido como o principal requisito para a melhor condição de funcionamento da bomba BLS, o escoamento laminar do fluido de produção na tubulação de recalque (Fig. 3). Para atingir o objetivo foi estabelecido como função objetivo, o número de Reynolds.

Através de manipulações de equações baseadas nos princípios hidrostáticos, hidrodinâmicos e tecnologia de bombeio mecânico com hastes (BMH) mencionadas em Takács (2003), o fluxo volumétrico máximo do dispositivo BLS, em m^3/d , pode ser descrito pela Eq. (3).

$$Q_{BLS} = 1440 \cdot (d_{b1}^2 + d_{b2}^2) \cdot L \cdot n_c, \quad (3)$$

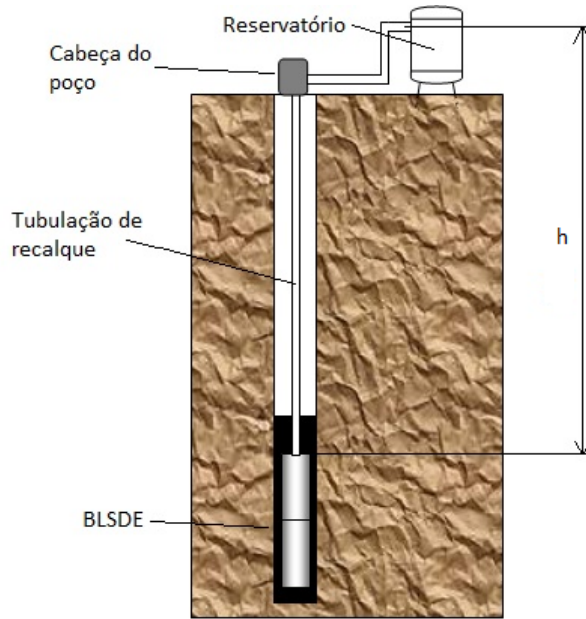


Figura 3: Coluna de elevação do BLS.

Em que d_{b1} e d_{b2} são os diâmetros do êmbolo e da haste do cilindro de bombeamento em metros (m) e L e n_c são o deslocamento (curso) dos cilindros em metros (m) e o número de ciclos de bombeamento (ciclos/min), respectivamente.

O tipo de escoamento do fluido de produção para superfície no interior da tubulação de recalque pode ser relacionado com o número de Reynolds, que segundo Fox (2014) apresenta regime laminar quando o valor for inferior ou igual a 2300. O número de Reynolds do escoamento de produção do BLS pode ser estimado pela Eq. (4).

$$Re = \frac{\vartheta \cdot d_t}{\nu} = \frac{2 \cdot \vartheta \cdot \sqrt{\frac{Q_{BLS}}{86400 \cdot \pi \cdot \vartheta}}}{\nu}, \quad (4)$$

Em que ϑ é a velocidade de escoamento do fluido de produção em metros por segundo (m/s), d_t é o diâmetro da tubulação de recalque em metros (m) e ν é a viscosidade cinemática do fluido em (m²/s). Considerando que os cilindros de potência e bombeamento são conectados pelas hastes, implica que o número de ciclos (n_c) de ambos os cilindros são iguais. Assim, o fluxo volumétrico da bomba hidráulica (Q_b), em litros por minuto (l/min), pode ser descrito pela Eq. (5).

$$Q_b = 1000 \cdot \pi \cdot (2 \cdot d_{p1}^2 - d_{p2}^2) \cdot L \cdot n_c, \quad (5)$$

Em que d_{p1} e d_{p2} são os diâmetros do êmbolo e da haste do cilindro de potência (A_P) em metros (m), respectivamente. A força necessária do cilindro de potência (F_{AP}) para realizar o recalque do fluido de produção, depende da resultante da pressão de coluna (P_C) exercida na área de bombeamento (ciclo ascendente (A_{B1}) ou descendente (A_{B2})). Para que ocorra o ciclo de bombeamento do BLS, a força do atuador de potência deve ser maior que a força de resistência do atuador de bombeamento (D_E). Na Figura 4 são ilustradas as forças e pressões no módulo de bombeamento com simples atuador de bombeamento.

No movimento descendente, a área (A_{B2}) fica submetida a pressão estática de coluna do fluido (P_C) em Pascal (Pa). Assim, utilizando a Eq. (6) pode-se definir a força de pressão de coluna no ciclo descendente ($F_{P_{Cd}}$) exercida na bomba de duplo efeito (D_E) em Newton (N). Analogamente, a força de pressão de coluna no ciclo ascendente ($F_{P_{Ca}}$) exercida na bomba de duplo efeito (D_E) no ciclo ascendente é dada pela Eq. (7).

$$F_{P_{Cd}} = (P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h) \cdot A_{B2}, \quad (6)$$

$$F_{P_{Ca}} = (P_{atm} + \rho \cdot g \cdot h) \cdot A_{B1}, \quad (7)$$

No BLS com haste simples, a pressão de coluna (P_C) atua de forma sincronizada em relação às áreas dos atuadores de potência e bombeamento. Ou seja, no ciclo descendente a pressão de coluna incide na maior área do atuador de bombeamento (A_{B2}) e para realizar a elevação do fluido, a pressão da bomba hidráulica (P_B) exerce também a pressão na maior área do atuador de potência (A_{P2}). Já no ascendente, as menores áreas dos atuadores de bombeamento e potência (A_{B1} e A_{P1}) estão submetidas à pressão da coluna de produção e da bomba hidráulica, respectivamente. Considerando que as pressões de bombeamento exigidas nos ciclos ascendente e descendente estão diretamente relacionadas com a área a qual a pressão de coluna está atuando, pode-se determinar a pressão necessária de trabalho, em Pascal (Pa), da bomba hidráulica (P_t) do BLS com haste simples, conforme a Eq. (8). Em que η é o coeficiente de correção do fator de carga.

$$P_t = \frac{F_{P_{Cd}}}{\eta \cdot A_{P2}} \quad (8)$$

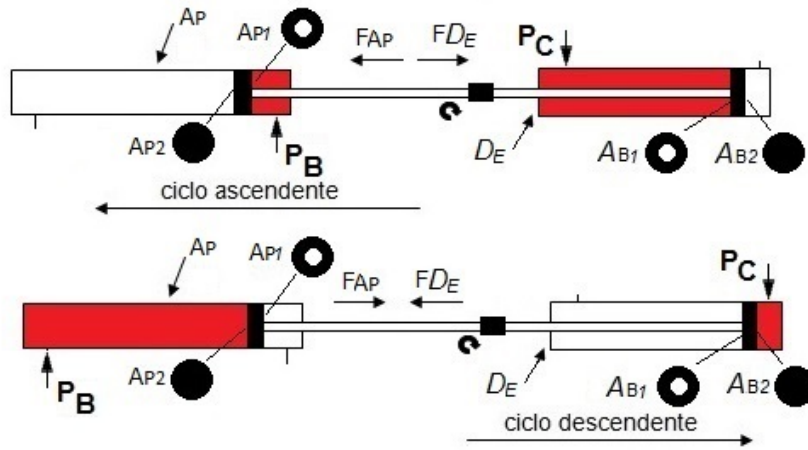


Figura 4: Diagrama de forças do módulo de bombeamento com simples atuador de bombeamento.

Segundo Fialho (2010), o diâmetro do pistão e a força necessária para movimentar o cilindro hidráulico de potência (A_P) é determinada pela Eq. 9 e Eq. 10.

$$d_{p1} = 10 \cdot \sqrt[2]{\frac{F_{AP}}{\pi \cdot P_t}} \quad (9)$$

$$F_{AP} = \frac{F_{PC}}{\eta} \quad (10)$$

Em que,

- d_{p1} - Diâmetros do êmbolo do cilindro de potência [mm];
- F_{AP} - Força do cilindro hidráulico de potência [kgf/cm²];
- F_{PC} - Força do cilindro de bombeamento submetido à pressão de coluna do fluido de elevação [kgf/cm²];
- η - Fator de carga;

Ainda de acordo com Fialho (2010) é possível dimensionar as hastes dos cilindros de potência e bombeamento, considerando os critérios estabelecidos por Euler, o diâmetro do pistão e diâmetro da haste de um atuador através da e Eq. 11, respectivamente:

$$d_h = 10 \cdot \sqrt[4]{\frac{64 \cdot F_{AP} \cdot S \cdot \lambda^2}{\pi^3 \cdot E}} \quad (11)$$

Em que,

- d_h - Diâmetro das hastes dos cilindros hidráulicos de potência e bombeamento [mm];
- F_{AP} - Força de avanço do cilindro de potência [N];
- S - Fator de segurança da haste [3,5 a 5,0];
- λ - Comprimento livre de flambagem [cm];
- E - Módulo de elasticidade do aço [N/cm²].

Foram considerados, neste trabalho, os valores de constante cognitiva c_1 igual a 1 e social c_2 igual a 2 e o coeficiente de inércia ω igual a 0,5 e o espaço de busca conforme descrito na Tabela 1. A função objetivo (f_o) a ser minimizada é determinada pela relação da Eq. (12).

$$f_o = d_t \cdot Q_b \cdot d_{b1} \cdot d_{p1} \cdot d_{p2} \cdot L \cdot h^{-1} \cdot Q_{BLS}^{-2} \cdot S \cdot R_e \quad (12)$$

Tabela 1: Parâmetros escolhidos para o espaço de busca.

Item	Espaço de busca
Fluxo volumétrico	$6 \text{ m}^3/\text{d} \leq 30 \text{ m}^3/\text{d}$
Diâmetro da tubulação de recalque	$21,60 \text{ mm} \leq d_t \leq 90,12 \text{ mm}$
Diâmetro do embolo do cilindro de bombeamento	$45 \text{ mm} \leq d_{b1} \leq 55 \text{ mm}$
Diâmetro da haste do cilindro de bombeamento	$25 \text{ mm} \leq d_{b2} \leq 35 \text{ mm}$
Diâmetro do embolo do cilindro de potência	$55 \text{ mm} \leq d_{p1} \leq 65 \text{ mm}$
Diâmetro da haste do cilindro de potência	$11 \text{ mm} \leq d_{p2} \leq 25 \text{ mm}$
Deslocamento dos cilindros (curso)	$290 \text{ mm} \leq L \leq 410 \text{ mm}$
Número de ciclos de bombeamento	$4 \leq n_c \leq 10$
Altura manométrica	$90 \text{ m} \leq h \leq 110 \text{ m}$

4. Resultado e Discussão

Os resultados do algoritmo PSO para 30 partículas e máximo de 40 otimizações por partícula e faixa de busca determinada conforme a Tab. 1. A simulação apresenta 1200 interações, contudo, conforme a Fig. 5 e Fig. 6 os valores subótimos convergem com um número menor de interações, sendo o fluxo volumétrico do BLS em $6,72 \text{ m}^3/\text{d}$ e escoamento laminar com coeficiente de Reynolds igual a 1956,34 com o diâmetro da tubulação de recalque igual a 63,28 mm.

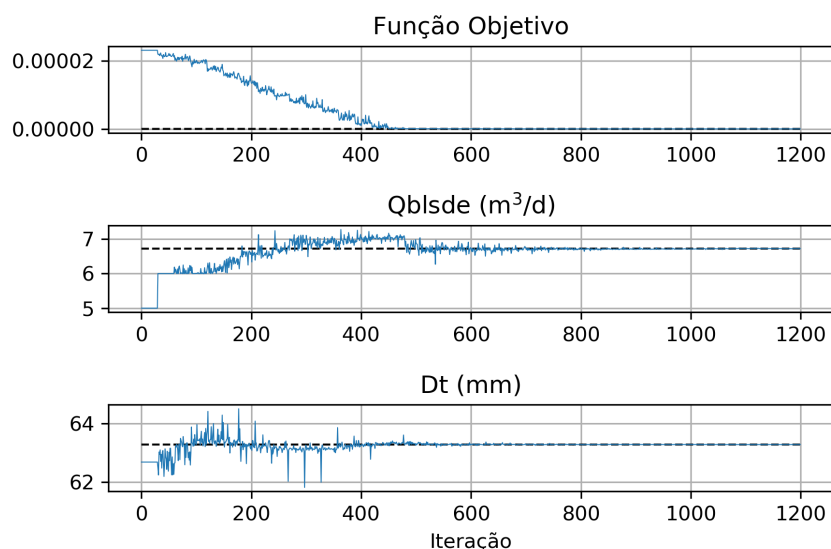


Figura 5: Simulação PSO para Função objetivo, coeficiente de Reynolds e diâmetro da tubulação de recalque.

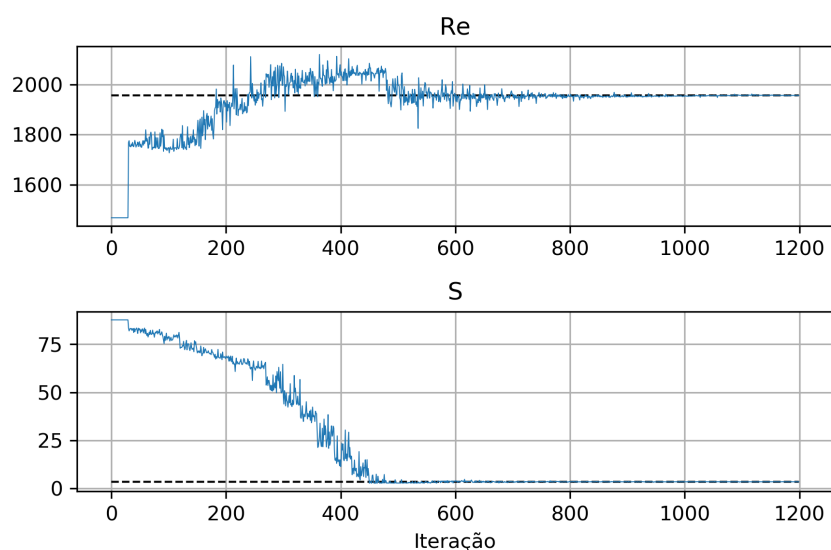


Figura 6: Simulação PSO para Reynolds e coeficiente de segurança das hastes dos cilindros hidráulicos do BLS.

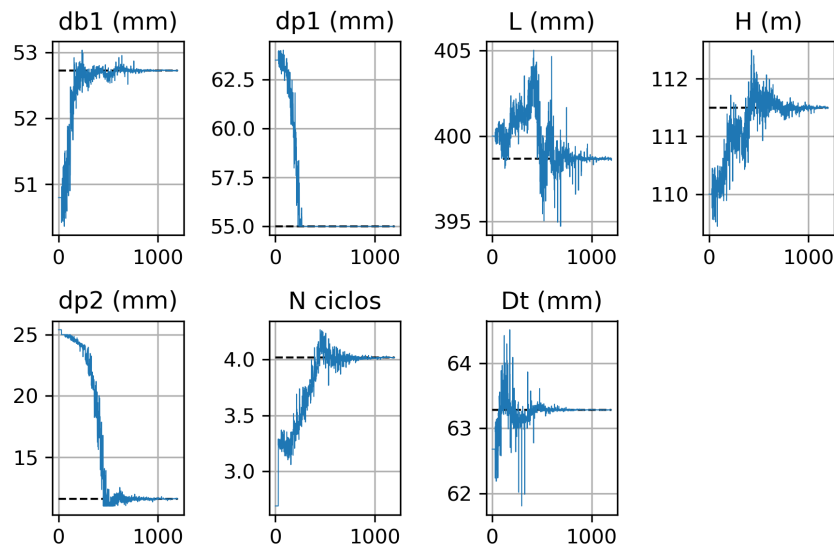


Figura 7: Simulação PSO aplicado ao BLS.

Assim como no fluxo volumétrico do BLS (Q_{BLS}) e Reynolds (R_e), os diâmetros do êmbolo e haste do cilindro de bombeamento, o diâmetro do êmbolo e haste do cilindro de potência, diâmetro da tubulação de recalque (d_t), deslocamento dos cilindros (L) e altura manométrica (h) apresentaram valores subótimos, visto que, nos gráficos da Fig. 5, Fig. 6 e Fig. 7 as curvas convergem e não apresentam mudanças de valores nas demais interações. Na Tab. 2 são apresentados os valores obtidos na simulação do algoritmo PSO.

Tabela 2: Parâmetros estimados com o algoritmo PSO.

Item	Espaço de busca
Fluxo volumétrico	$6,72 \text{ m}^3/d$
Diâmetro da tubulação de recalque	$63,28 \text{ mm}$
Diâmetro do embolo do cilindro de bombeamento	$52,72 \text{ mm}$
Diâmetro da haste do cilindro de bombeamento	$11,58 \text{ mm}$
Diâmetro do embolo do cilindro de potência	$55,00 \text{ mm}$
Diâmetro da haste do cilindro de potência	$11,58 \text{ mm}$
Deslocamento dos cilindros (curso)	$398,68 \text{ mm}$
Número de ciclos de bombeamento	$4,02$
Altura manométrica	$111,50 \text{ m}$
Coefficiente de Reynolds	$1956,34$

5. Conclusão

Considerando que o sistema de bombeamento apresentado é inovador, alguns parâmetros são estabelecidos empiricamente e podem não maximizar a produção do BLS, garantindo requisitos de segurança estrutural. O método PSO apresentou-se uma ferramenta útil para a otimização dos parâmetros operacionais do BLS. Entretanto, os resultados estimados pelo algoritmo PSO apresentam diâmetros de tubulação e cilindros hidráulicos que não são comerciais. Assim, em trabalhos futuros serão ajustados os parâmetros do algoritmo e o espaço de busca a fim de obter medidas comerciais possibilitando uma análise de custos de produção. Algumas variáveis do processo obtidas pelo PSO podem ainda ser otimizadas, contudo, é necessário modificar o espaço de busca, constantes de segurança, como por exemplo o fator de segurança das hastes e coeficiente de carga do cilindros hidráulicos e principalmente a função objetivo, pois através dela pode-se determinar quais variáveis deseja-se minimizar ou maximizar os parâmetros de operação do BLS.

6. REFERÊNCIAS

- Brasil, 2016. "Governo autoriza aporte de R\$ 789,9 milhões para ações emergenciais". Ministério da Integração. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/cidadania-e-justica/2016/07/governo-autoriza-aporte-de-7899-milhoes-para-acoes-emergenciais>>. Acesso em: 05 dez. 2017.
- Brentan, B.M., Luvizotto Junior, E., Montalvo, I., Izquierdo, J. e Pérez-García, R., 2017. "Near real time pump optimization and pressure management". *Procedia Engineering, Elsevier Ltd*, Vol. 186, p. 666 – 675. XVIII International Conference on Water Distribution Systems Analysis.
- Cirilo, A.J., 2008. "Políticas públicas de recursos hídricos para o semi-árido". *Scientific Electronic Library Online*, Vol. 22, No. 63, pp. 71–397.

- Fialho, A.B., 2010. *Automação Hidráulica: projetos, dimensionamento e análise de circuitos*. Érica Ltda, São Paulo-Brasil, 5th edition. ISBN 978-85-7194-892-1. 284 p.
- Fox, R.W., 2014. *Introdução à mecânica dos fluidos*. Livros Técnicos e Científicos Ltda, Rio de Janeiro, Brasil, 8th edition. ISBN 978-85-216-2302-1. 871 p.
- Funceme, 2016. "Ceará passa pela pior seca prolongada desde 1910". Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/comunicacao/noticias/740-ceara-passa-pela-pior-seca-prolongada-desde-1910#todospelaagua>>. Acesso em: 01 dez. 2017.
- Gaur, S., Chahar, B. e Gailliot, D., 2011. "Analytic elements method and particle swarm optimization based simulation-optimization model for groundwater management". *Journal Of Hydrology. Saint-etienne*, , No. 402, pp. 217–227.
- Madeiro, C. e Gama, A., 2017. "Monitoramento dos reservatórios da região do semiárido". Disponível em: <<https://noticias.uol.com.br/cotidiano/ultimas-noticias/2017/05/29/no-7-ano-de-seca-metade-dos-reservatorios-do-semiarido-esta-abaixo-de-10.html>>. Acesso em: 19 ago 2017.
- Marengo, J.A. e Torres, R.R., 2017. "Drought in northeast brazil - past, present and future". *Theoretical and Applied Climatology*, Vol. 129, No. 3, pp. 1189–1200.
- Rafiq, M., 2018. "Velocity control of single-rod hydrostatic actuators: component sizing and controller design". p. 141. Master of Science, Department of Mechanical Engineering University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba, Canada.
- Stoppato, A., Cavazzini, G., Ardizzon, G. e Rossetti, A., 2011. "Particle swarm optimization)-based model for the optimal management of a small pv(photovoltaic)-pump hydro energy storage in a rural dry area". *Journal Of Vibration And Control*, , No. 76, pp. 168–174.
- Takács, G., 2003. *Sucker-Rod Pumping Manual*. PennWell Corporation, Tulsa, Oklahoma - USA. ISBN 978-0-87814-892-9. 421 p.
- Yao, J., Jiang, G., Gao, S., Yan, H. e Di, D., 2014. "Particle swarm optimization-based neural network control for an electro-hydraulic servo system". *Journal of Vibration and Control*, Vol. 20, No. 9, pp. 1369–1377.
- Ye, Y., Yin, C.B., Gong, Y. e jing Zhou, J., 2016. "Position control of nonlinear hydraulic system using an improved pso based pid controller". *Mechanical Systems And Signal Processing*, Vol. 20, No. 9, pp. 241–259.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

IDENTIFICATION OF THE SUBOPTIMAL PARAMETERS OF OPERATION OF THE PUMPING MODULE OF A DEVICE FOR ARTIFICIAL ELEVATION BASED ON THE PSO ALGORITHM

André Pimentel Moreira, apmoreira@ifce.edu.br^{1,3}

Herman Augusto Lepikson, herman.lepikson@fieb.org.br²

Leizer Schnitman, leizer@ufba.br³

Geraldo Luis Bezerra Ramalho, leizer@ufba.br¹

¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, Av. Treze de Maio, 2081 - Benfica, Fortaleza - CE, 60040-531

²Centro Integrado de Manufatura e Tecnologia, Av. Orlando Gomes, 1845 - Piatã, Salvador - BA, 41650-010

³Universidade Federal da Bahia, R. Prof. Aristides Novis, 2 - Federação, Salvador - BA, 40210-630

Resumo: In recent years, the population of the Northeast of Brazil, especially in the semi-arid region, has been suffering from water shortages due to insufficient rainfall, reservoirs and inadequate water for consumption. Among the actions to combat drought, artificial elevation of underground aquifers is an alternative. However, greater depth results in higher pressures and consequently restricts the use of commercial pump models due to operational limitations. This paper presents a pumping device called the Double Effect Submersible Linear Pumping (BLS), an object of a recent patent deposit, which is characterized as a hydraulic system adapted to operate inside the well. The Particle Examination Optimization (PSO) algorithm is used in order to obtain the sub-optimal operation parameters of the BLS. The results presented indicate a small error of estimation and convergence of the values tested

Palavras-chave: artificial lift, hydraulic system, computational intelligence.