

Transiente Hidráulico em Adutoras – Análise comparativa de duas diferentes configurações da Soft-Starter

*Hydraulic Transient in Adduction Pipes - Comparison of Two Different Soft-Starter
Configurations*

*Transitorios hidráulicos en tuberías de aducción: comparación de dos configuraciones
diferentes da Soft-Starter*

Ítalo Meireles Faria

Engenheiro, SeMAE, Brasil.
ifaria@semae.riopreto.sp.gov.br

Erich Kellner

Professor Doutor, UFSCar, Brasil.
erich.kellner@ufscar.br

RESUMO

O objetivo desse trabalho é analisar o efeito do transiente hidráulico em uma adutora de recalque na cidade de São José do Rio Preto e comparar duas configurações diferentes da Soft-Starter WEG SSW-06 no controle dos conjuntos motor-bomba ligados a essa adutora. Para essa análise foi necessário utilizar um sensor de pressão, um FieldLogger, um TAP derivação e apoio técnico Coordenadoria de Operação do SeMAE. Foram feitas durante a pesquisa duas coletas de dados, uma com a Soft-Starter configurada em “Rampa de Tensão” e outra com a Soft-Starter configurada em “Controle de Bombas”. Os resultados das coletas apresentaram diferenças significativas na variação de pressão na adutora entre a primeira e a segunda coleta de dados, com a Soft-Starter configurada em “Controle de Bombas” a pressão no ponto de coleta apresentou menor amplitude de pressão e maior intervalo de variações cíclicas de pressão após a parada do conjunto motor-bomba. A configuração da Soft-Starter em “Controle de Bombas” apresentou ser mais adequada para controle de efeitos transitórios em linhas de recalque.

PALAVRAS-CHAVE: Transiente Hidráulico. Soft-Starter. Adutora. Golpe de Aríete.

ABSTRACT

The objective of this work is to analyze the effect of the hydraulic transient on an adduction pipe in São José do Rio Preto and to compare two different configurations of the Soft-Starter WEG SSW-06 in the control of the motor-pump assemblies connected to this pipe network. For this analysis it was necessary to use a pressure sensor, a Field Logger, a tap TAP and technical support of Coordenadoria de Operação do SeMAE. Two data collections were made during the research, one with Soft-Starter set to “Voltage Ramp” and another with Soft-Starter set to “Pump Control”. The results of the collections presented significant differences in the variation of the pressure in the pipeline between the first and the second data collection. With the Soft-Starter configured in “Pump Control”, the pressure at the collection point presented lower pressure amplitude and longer interval cyclic pressure variations after the motor pump assembly has stopped. Soft-Starter's “Pump Control” setting has been found to be best suited for controlling transient effects on adduction pipe.

KEYWORDS: Hydraulic Transient. Soft start. Adduction Pipe. Water Hammer.

RESUMEN

El objetivo de este trabajo es analizar el efecto del transitorio hidráulico en una tubería de aducción en São José do Rio Preto y comparar dos configuraciones diferentes del Soft-Starter WEG SSW-06 en el control de los conjuntos de motobomba conectados a este tubo. Para este análisis fue necesario utilizar un sensor de presión, un registrador de campo, un grifo TAP y el soporte técnico Cordenadoria de Operação do SeMAE. Se realizaron dos recolecciones de datos durante la investigación, una con el Arrancador Suave configurado en "Rampa de Voltaje" y otra con el Arrancador Suave configurado en "Control de la Bomba". Los resultados de las recolecciones presentaron diferencias significativas en la variación de la presión en la tubería entre la primera y la segunda recolección de datos. Con el Arrancador Suave configurado en "Control de Bomba", la presión en el punto de recolección presentó una amplitud de presión más baja y variaciones de presión cíclica de intervalo más largo después de que el conjunto de la bomba del motor se detuvo. Se ha encontrado que la configuración de "Control de bomba" del arrancador suave es la más adecuada para controlar los efectos transitorios en la tubería de aducción

PALABRAS CLAVE: Transitório Hidráulico. Soft-Starter. Tubo de Adução. Martillo de Água.

1 INTRODUÇÃO

O abastecimento público de água potável é a base para o desenvolvimento econômico da sociedade, uma cidade que tem grande oferta de água atrai atividades industriais, comerciais e turísticas. Os sistemas de abastecimento de água possuem diversas partes que se interligam entre si para prover a população e a indústria água em quantidade e qualidade adequadas.

Dentre as partes constituintes de um sistema de abastecimento as adutoras possuem um papel muito importante, elas conduzem água bruta ou tratada entre os conjuntos do sistema de abastecimento. Os novos projetos de adutoras de captação de água bruta exigem análises mais complexas devido à distância de mananciais com características adequadas ao consumo humano dos aglomerados urbanos.

De acordo com a NBR 12215-1:2007 adutora é uma tubulação destinada a transportar água entre unidades operacionais do sistema, podendo funcionar por gravidade, recalque ou ambos, com ou sem derivação e para mais de uma unidade operacional. Essa norma ainda define que a derivação de uma adutora deve ser denominada subadutora.

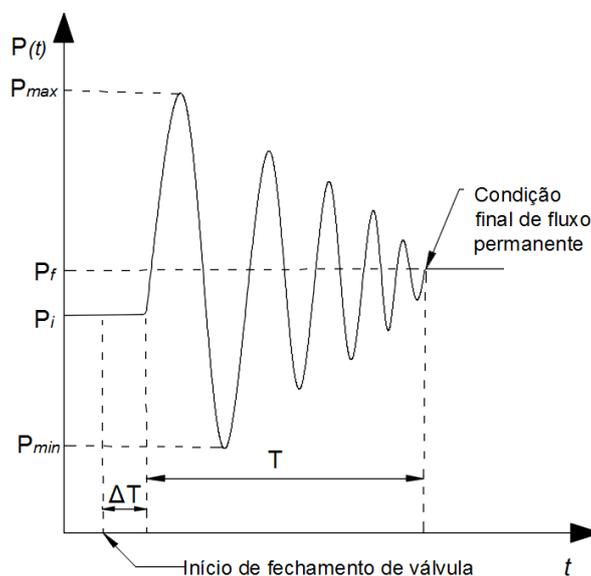
Em outras palavras, segundo Brasil (2015), adutora consiste em um conjunto de tubulações, peças especiais e obras de arte, destinados a conduzir a água entre as unidades que antecedem a rede de distribuição. Podem ser dispostas entre: a captação e a Estação de Tratamento de Água (ETA); a captação e o reservatório de distribuição; a captação e a rede de distribuição; a ETA e o reservatório de distribuição e a ETA e a rede de distribuição.

A análise do transiente hidráulico é uma das condições a serem observadas no dimensionamento de uma adutora, quando estimar a ocorrência do transiente hidráulico o projetista deve prever mecanismos de atenuação do fenômeno.

O transiente hidráulico, popularmente chamado de golpe de aríete, pode ser definido como fenômeno correspondente à variação de velocidade e de pressão de um fluido que ocorre dentro de tubulações, quando as condições de escoamento são alteradas pela variação da descarga e é caracterizado por ocorrer entre dois regimes de escoamento permanentes (WYLIE; STREETER, 1979).

De acordo com Elbashir e Amoah (2007) a Figura 1 representa o transiente em um ponto fixo logo a montante de uma válvula que foi fechada. Neste gráfico, a pressão, P é representada como uma função do tempo t resultante da operação de uma válvula de controle, P_i é a pressão inicial, P_f é a pressão final e $P_{máx}$ e $P_{mín}$ são as pressões transitórias máximas e mínimas respectivamente.

Figura 1: Representação de transiente hidráulico



Fonte: ELBASHIR; AMOAH, 2007. Adaptado e traduzido pelo autor.

Em adutoras de água é comum a utilização de sistemas de controle de fluxo, tais como a abertura e fechamento de válvulas ou partidas e paradas de bombas. Quando essas operações são realizadas de maneira muito rápida, elas podem causar os transientes hidráulicos, fenômenos que podem resultar em sérios danos ao sistema (ELBASHIR; AMOAH, 2007).

Os transitórios hidráulicos podem causar problemas em uma linha de recalque, dentre os quais se destacam: pressões máximas e mínimas fora das admissíveis da tubulação, cavitação, separação da coluna líquida, contaminação da água (resultante da subpressão) e poluição sonora.

Um dos mecanismos de atenuação de transiente hidráulico é a instalação de Soft-Starter com o objetivo de tornar as partidas e as paradas da bomba mais suaves.

A função do Soft Starter é controlar a tensão de partida dos motores elétricos trifásicos de alta potência, limitando a corrente elétrica de partida, evitando picos de corrente e oferecendo uma parada suave, aumentando assim a vida útil do motor. O uso comum para Soft-Starter é em bombas centrífugas, ventiladores e motores de elevada potência.

O objetivo principal desse trabalho foi analisar o transiente hidráulico em uma adutora de água tratada na cidade de São José do Rio Preto e avaliar a utilização da Soft-Starter da marca WEG modelo SSW6 na atenuação do fenômeno comparando dois tipos de configurações diferentes.

2 METODOLOGIA

2.1 OBJETO DE ESTUDO

A escolha de uma instalação hidráulica de bombeamento que estivesse sujeita a grandes variações de pressão devido ao fenômeno de transiente hidráulico foi importante para verificar a eficiência da soft-starter. Após pesquisa de várias adutoras na cidade de São José do Rio Preto foi escolhido o conjunto de instalações que recalcam água tratada de um reservatório apoiado no Bairro da Penha até o Sistema de Abastecimento do Eldorado. O local possui um histórico de ocorrências de manutenção devido aos fenômenos de Transiente Hidráulico.

A adutora do objeto de estudo foi construída há 40 anos, a Tabela 1 apresenta as principais características da adutora estudada.

Tabela 1: Características da adutora.

Característica da adutora	
Material	Ferro Fundido
Diâmetro Nominal (mm)	350
Diâmetro Interno (mm)	330
Extensão (m)	1606
Desnível (m)	46,88

Fonte: SeMAE

A adutora opera, de maneira alternada, com dois conjuntos motor-bomba em paralelo, CMB1 e CMB2, cujas características são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características dos conjuntos motor-bomba.

Característica	CMB1 e CMB2
Marca da Bomba	IMBIL
Tipo da Bomba	Bi-Partida
Modelo da Bomba	BP 150450 A
Marca do Motor	WEG
Rotação (rpm)	1785
Potência (cv)	250
Modelo do Motor	315 SM

Fonte: SeMAE

Apesar de os conjuntos serem iguais eles operam com vazões diferentes devido a condições operacionais. A Tabela 3 apresenta as vazões e as velocidades obtidas pelos dois conjuntos de bombeamento.

Tabela 3: Vazões nas adutoras.

Parâmetro	CMB1	CMB2
Vazão (m ³ /h)	440,54	297,37
Velocidade (m/s)	1,43	0,97

Fonte: SeMAE

Os dois conjuntos motor-bomba são controlados pela Soft-Starter SSW06 fabricada pela WEG. Esse equipamento possibilita vários tipos de controle de motores elétricos.

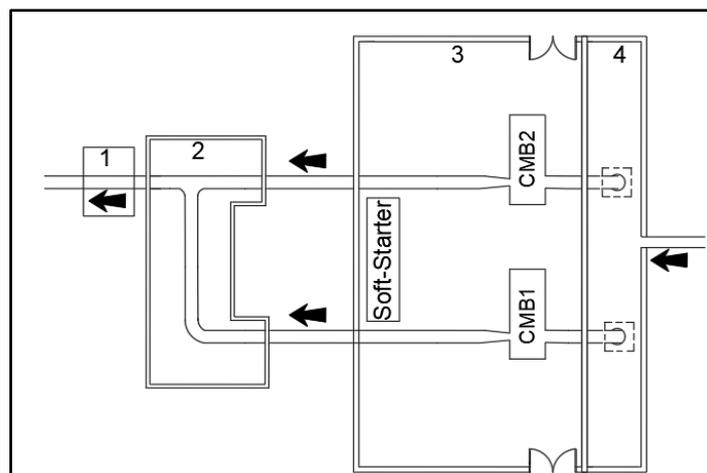
Soft-Starter WEG são chaves de partida estática, destinadas à aceleração, desaceleração e proteção de motores de indução trifásicos. O controle da tensão aplicada ao motor, mediante o ajuste do ângulo de disparo dos tiristores, permite obter partidas e paradas suaves. Com o ajuste adequado das variáveis, o torque produzido é ajustado à necessidade da carga, garantindo, desta forma, que a corrente solicitada seja a mínima necessária para a partida. A SSW06 é uma chave de partida estática com controle de três fases do motor, by-pass incorporado e controle de torque. Destinada para acionamento de motores de 3 a 2650cv (WEG, 2019).

A Soft-Starter WEG possui ao todo cinco tipos de controle que são eles: Rampa de Tensão, Limitação de Corrente, Controle de Bombas, Controle de Torque e Rampa de Corrente.

Segundo Weg (2006) o tipo de controle “Rampa de Tensão” é o método mais comumente utilizado. Muito fácil de programar e ajustar. A Soft-Starter SSW-06 impõe a tensão sobre o motor sem nenhum tipo de realimentação de tensão ou corrente aplicada o motor. O tipo de controle “Controle de Bombas” proporciona o torque necessário para partir e parar suavemente bombas hidráulicas centrífugas.

A Figura 2 ilustra, de maneira esquemática, a instalação de bombeamento e o ponto de medição de pressão empregado nas duas situações analisadas.

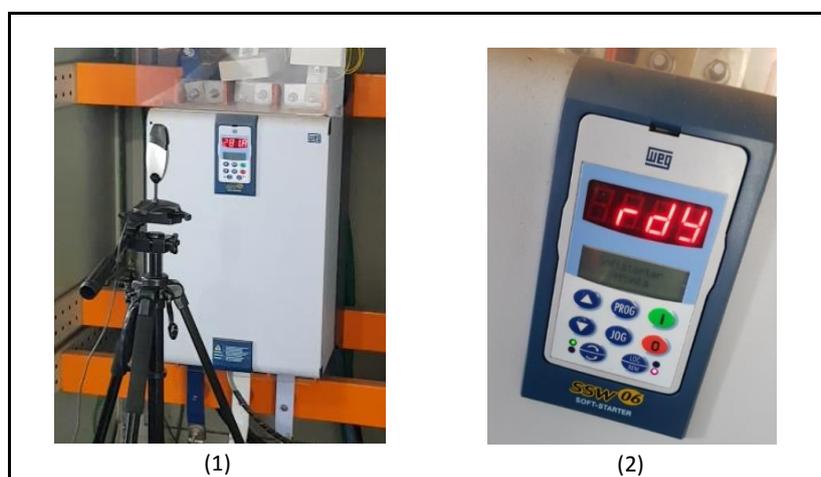
Figura 2: (1) Ponto de medição de pressão; (2) Caixa de registros; (3) Casa de Bombas; (4) Poço de sucção, CMB – Conjunto Motor-Bomba



Fonte: Autor.

A Figura 3 ilustra a Soft-Starter marca WEG modelo SSW06 em dois pontos de visão diferentes.

Figura 3: (1) Soft-Starter instalada; (2) Painel da Soft-Starter



Fonte: Autor.

2.2 EQUIPAMENTOS DE LEITURA E ARMAZENAMENTO DE DADOS

Para medição de pressão na adutora foi utilizado um sensor de pressão modelo S11 da fabricante WIKA que possui faixa de trabalho de zero a cem metros de coluna de água. Através de um diafragma o sensor converte a grandeza física de pressão em sinais elétricos.

O transmissor de pressão modelo S-11 com diafragma faceado ao processo foi especialmente projetado para a medição de meios viscosos, pastosos, aderentes, cristalizantes, contaminados e que contém partículas, quais obstruem o canal da pressão de conexões convencionais de pressão (WIKA, 2019).

Para leitura e armazenamento dos sinais elétricos emitidos pelo sensor de pressão foi utilizado um Field Logger da marca Novus, modelo com IHM. Tal aparelho tem diversas funcionalidades, como receber informações de medidores de temperatura, umidade, pressão e outros diversos sinais digitais.

O FieldLogger é um módulo de leitura e registro de variáveis analógicas, digitais e outras, com grande resolução e velocidade. Trata-se de um equipamento de alto desempenho e alta conectividade, porém fácil de configurar e operar (NOVUS, 2019).

A Figura 4 ilustra o sensor de pressão conectado na adutora e o leitor e armazenador de dados.

Figura 4: (1) sensor de Pressão; (2) FieldLogger



Fonte: Autor

2.3 INSTALAÇÃO DE REGISTRO DE DERIVAÇÃO TAP

Para a coleta de dados foi necessário instalar um Registro de Derivação TAP, da fabricante Metaltec, em um ponto na adutora após as válvulas de retenção existentes, para isso foi necessário abrir uma vala após a caixa de manobras do conjunto com as dimensões (1x1,20x1,30) de largura, comprimento e profundidade respectivamente, devido às condições do local a abertura foi feita de forma manual, sem uso de retroescavadeira, para execução completa da vala foram necessárias aproximadamente três hora de trabalho. Após a execução

da vala foi utilizada uma furadeira própria para instalação desse tipo de registro, a instalação foi feita com a rede em carga, sem a necessidade de esvaziamento.

2.4 CAMPANHA DE COLETA DE DADOS

Foram realizadas duas campanhas de coleta de dados, uma para cada conjunto motor bomba com o dispositivo soft-starter configurado como “Rampa de Tensão” e “Controle de Bombas”.

2.4.1 PRIMEIRA COLETA DE DADOS - “RAMPA DE TENSÃO”

Com o “Tipo de Controle” da Soft-Starfer na configuração “Rampa de Tensão”, foi conectado o sensor de pressão no TAP instalado após as válvulas de retenção e este foi ligado ao FieldLogger, configurado para ler os pulsos elétricos do sensor de pressão quatro vezes por segundo, como o conjunto de instalação de bombeamento estaria sujeito a operações fora do padrão de utilização normal foi necessário apoio da Coordenadoria de Operação e Distribuição de Água do SeMAE.

No dia da primeira coleta de dados apenas a bomba do CMB2 estava funcionando, parte das tubulações após o CMB1 estavam em manutenção, o que tornou possível apenas a medição do transiente hidráulico com o CMB2. Ao todo foram feitas três partidas e três paradas do conjunto CMB2.

2.5 SEGUNDA COLETA DE DADOS – “CONTROLE DE BOMBAS”

Da mesma forma que na primeira coleta de dados, os aparelhos de leitura e armazenamento de dados de pressão foram instalados na adutora, porém na segunda coleta o “Tipo de Controle” da Soft-Starer estava configurado em “Controle de Bombas”. Nessa coleta, ao contrário da primeira, apenas o conjunto CMB1 estava funcionando, o conjunto CMB2 estava passando por manutenção no motor. Ao todo foram três partidas e três paradas do conjunto CMB1.

3 RESULTADOS

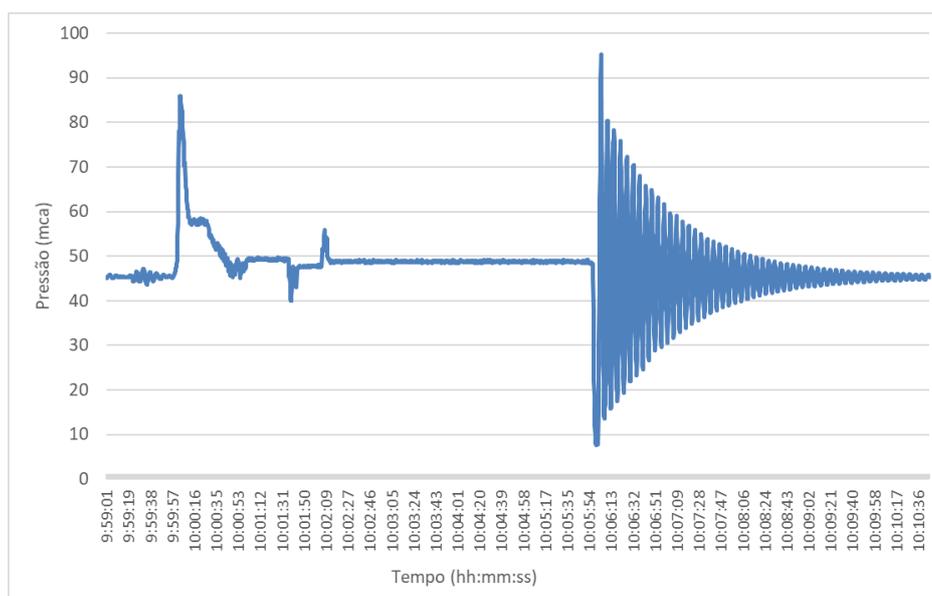
A Figura 5 apresenta os resultados de um dos três conjuntos de parada e partida da primeira coleta de dados, a partida feita aproximadamente às 10h provocou um pico na adutora de 86 mca, em seguida a pressão se estabilizou em aproximadamente 48,85 mca.

A parada realizada às 10h05min provocou logo em seguida uma subpressão de 7,57 mca e após aproximadamente em três segundos desse pico de pressão baixa houve um pico de sobrepressão de 94,69 mca. Após esses dois picos a pressão continuou a variar de forma cíclica

entre valores altos e valores baixos, mesmo após cinco minutos da parada do conjunto motor-bomba CMB2 a pressão na rede continuo a variar, porém com menor amplitude.

A variação da pressão na rede após a parada da bomba teve um comportamento semelhante do transiente hidráulico descrita por Elbashir e Amoah (2007).

Figura 5: Transiente Hidráulico na adutora com a Soft-Starter configurada em "Rampa de Tensão"

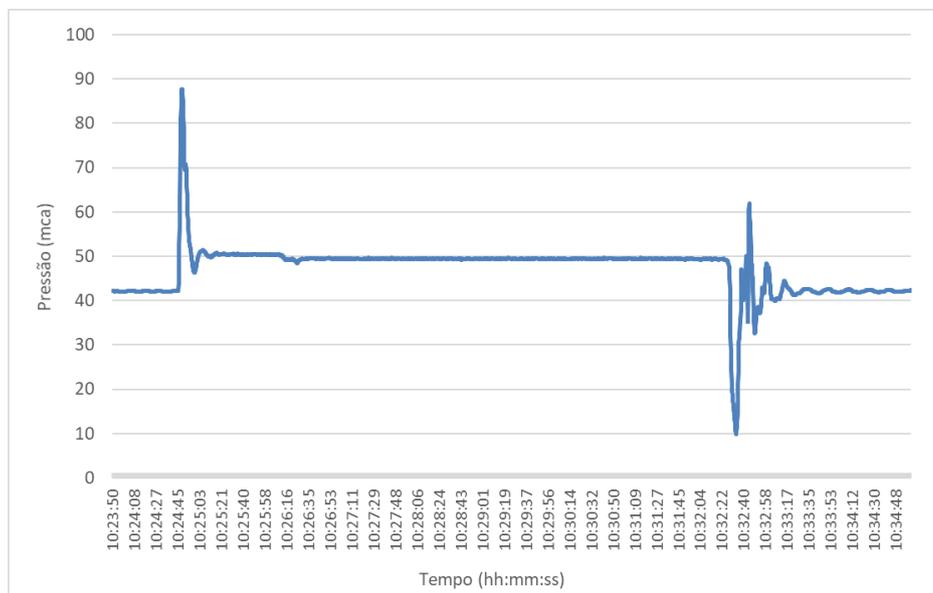


Fonte: Autor

A Figura 6 apresenta os resultados de um dos três conjuntos de parada e partida da segunda coleta de dados, apesar do conjunto motor-bomba ser diferente da primeira coleta de dados, no momento da partida, às 10h24min ocorre um pico de sobrepressão de 87,7 mca, muito similar ao pico na partida da primeira coleta de dados. Em seguida a pressão se estabiliza em 50,5 mca.

A parada realizada às 10h32min levou a rede em poucos segundos a um pico de subpressão de 9,9 mca após oito segundos, posteriormente a rede variou com menor amplitude atingindo um pico de sobrepressão de 60,8 mca. Em aproximadamente um minuto após a parada os efeitos transitórios da adutora ficaram praticamente estabilizados.

Figura 6: Transiente Hidráulico na adutora com a Soft-Starter configurada em "Controle de Bomba"



Fonte: Autor

4 CONCLUSÃO

Os dados foram coletados e armazenados sem erros significativos, conforme apresentado na Figura 5 e na Figura 6 o transiente hidráulico na adutora com a Soft-Starter configurada em "Controle de Bombas" reduz significativamente o efeito transitório na parada dos conjuntos. A adutora quando configurada em "Rampa de Tensão" não tem efeito na atenuação do transiente hidráulico na parada da bomba, mas apenas em sua partida. O gráfico apresentado na Figura 6 mostra que o soft-starter programado na configuração "Rampa de Tensão" não protege a instalação de transientes provocados por parada repentina da bomba, submetendo a adutora a uma grande variação de pressão por um longo período de tempo.

Mesmo sendo uma configuração mais fácil de ser feita, utilizar a Soft-Starter SW06 configurada em "Rampa de Tensão" no controle de bombas centrífugas hidráulicas não é a forma mais otimizada de utilizar o equipamento.

5 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao SeMAE - Serviço Autônomo de Água e Esgoto de São José do Rio Preto por ter disponibilizado aparelhos e corpo técnico especializado para essa pesquisa, em especial a Coordenadoria de Operação e Distribuição de Água. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215-1**: Projeto de adutora de água Parte 1: Conduto forçado. Rio de Janeiro: Abnt, 2017. 26 p.

ELBASHIR, Mosab A. Magzoub; AMOAH, Samuel Oduro Kwame. **HYDRAULIC TRANSIENT IN A PIPELINE**: Using Computer Model to Calculate and Simulate Transient. 2007. 111 f. Tese (Doutorado) - Curso de Water Resources Engineering, Department Of Building And Environmental Technology, Lund University, Lund, 2007.

IMBIL (Brasil). **Linha BP**. 2018. Disponível em: <<http://www.imbil.com.br/Imbil/Portugues/detProduto.php?codproduto=96>>. Acesso em: 14 set. 2018.

MECALTEC. **Registro tap**. Disponível em: <<http://www.mecaltec.com.br/registro-tap>>. Acesso em: 22 maio 2019.

NOVUS. **FieldLogger**. Disponível em: <https://www.novus.com.br/catalogos/layout_folheto.asp?ProdutoID=917491>. Acesso em: 15 abr. 2019.

NETTO, Azevedo et al. **Manual de Hidráulica**. 8. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998.

STREETER, V. L.; WYLIE, E. B. **Fluid mechanics**. New York: Editora McGraw-Hill Book Company, 1979. 562p.

TSUTIYA, Milton Tomoyuki. **Abastecimento de Água**. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2006.

WIKA (Brasil). **Modelo S-11**: Transmissor de pressão com diafragma faceado ao processo. Disponível em: <https://www.wika.com.br/s_11_pt_br.WIKA?ProductGroup=72569>. Acesso em: 22 mar. 2019.

WEG. **Manual do Usuário Chave de Partida Soft Starter**. 2006. Disponível em: <http://ruthmann.com.br/cms/assets/pdf/arquivos/1972012_manual-da-sof-starter-weg-ssw-06.pdf>. Acesso em: 04 jul. 2019.