



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CENTRO MULTIDISCIPLINAR DE ANGICOS
CURSO DE INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

IZABELE CRISTINA DANTAS DE GUSMÃO

**UMA DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS MECANISMOS DE ALÍVIO DO
GOLPE DE ARÍETE EM ADUTORAS**

ANGICOS – RN

2019

IZABELE CRISTINA DANTAS DE GUSMÃO

**UMA DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS MECANISMOS DE ALÍVIO DO
GOLPE DE ARÍETE EM ADUTORAS**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, para a obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Dr. Marcus Vinicius Sousa Rodrigues

ANGICOS – RN

2019

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

G982d Gusmão, Izabele Cristina Dantas de.
Uma descrição dos principais mecanismos de
alívio do golpe de aríete em adutoras / Izabele
Cristina Dantas de Gusmão. - 2019.
37 f. : il.

Orientador: Marcus Vinicius Sousa Rodrigues.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2019.

1. Transiente. 2. Medidas atenuantes. 3.
Fenômeno hidráulico. I. Rodrigues, Marcus Vinicius
Sousa, orient. II. Título.

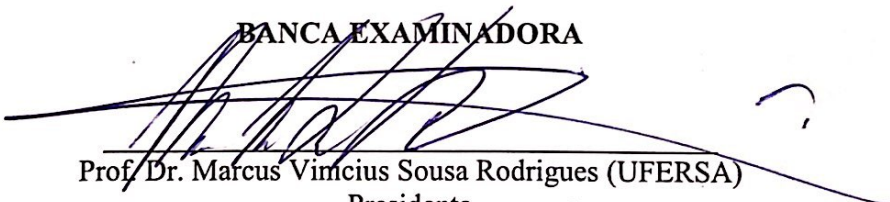
IZABELE CRISTINA DANTAS DE GUSMÃO

**UMA DESCRIÇÃO DOS PRINCIPAIS MECANISMOS DE ALÍVIO DO GOLPE
DE ARIETE EM ADUTORAS**

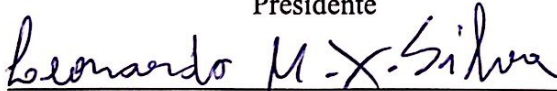
Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, para a obtenção do título de Bacharel em Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia.

APROVADA EM: 21 / 03 / 2019

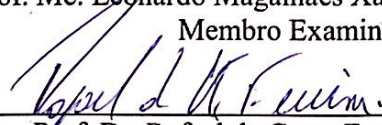
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Marcus Vinicius Sousa Rodrigues (UFERSA)
Presidente



Prof. Me. Leonardo Magalhães Xavier Silva (UFERSA)
Membro Examinador



Prof. Dr. Rafael da Costa Ferreira (UFERSA)
Membro Examinador

Aos meus pais, *Irani* e *Antônio*, que estiveram comigo nos momentos mais difíceis e que sempre serão minhas inspirações de vida. Aos meus familiares, amigos e ao meu namorado *Rafael*, que sempre me estimularam e acompanharam minha caminhada.

Dedico

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por me fazer firme e forte e estar comigo em todos os momentos.

Aos meus pais, Irani e Antônio, que acreditaram em mim e me instruíram para que sempre buscasse o melhor caminho e jamais desistisse dos meus sonhos.

Aos meus avós, Deusamar e Inácio (in memoriam) que foram minha base, me educaram e me ensinaram que tudo na vida é conseguido com esforço e dedicação. Essa conquista também é por vocês, meus anjos!

À minha tia, Irailma, que sempre se fez presente em minha vida e me motivou a jamais desistir dos meus sonhos e objetivos.

Ao meu namorado, José Rafael, que esteve comigo nos momentos mais difíceis, nas horas que nada parecia dar certo. Obrigada por acreditar, me ouvir, torcer e vibrar comigo em cada vitória! Sempre!

Ao Prof. Dr. Marcus Vinicius, que sempre esteve à disposição me orientando e me acalmando durante toda elaboração deste trabalho.

Aos meus irmãos e anjos que a UFERSA me presenteou. Sandrinha, por ser minha parceira, dupla, irmã e companheira nos momentos mais complicados, nas vitórias, nas madrugadas elaborando trabalhos e resolvendo listas. Você é incrível, sucesso sempre! Mariane, por me fazer entender que tudo tem sua hora, que por mais demorado que seja, o que tiver que ser, será. Obrigada pelos conselhos, pelas madrugadas de conversas (apesar de ter matéria acumulada, estávamos nós, conversando até altas horas), por ser amiga, ser família! Vinicius, por ser meu irmão mais velho, meu protetor, parceiro, companheiro e por ser como uma válvula de escape em momentos de tensão. Te levo comigo para sempre, irmão! Alison, por ser a calma, tranquilidade, companhia e cuidado do meu dia-a-dia. Obrigada pelas conversas e por me fazer perceber meus erros de forma tão humilde. Seu coração é lindo demais, parceria! Kaio, por me alegrar e deixar meu dia mais leve, apesar das dificuldades. Obrigada, migo! Sara, por me reerguer, auxiliar e me dar ombro amigo em momentos de dificuldade. Obrigada, cearense! Ana Paula e Joyce Gomes, que estiveram comigo em boa parte dessa caminhada, nas nossas madrugadas de estudo, conversas e puxões de orelha. Vocês foram essenciais para mim e fizeram muita falta! E a tantos outros, meu mais sincero obrigada!

Aos meus amigos inseparáveis, meu quarteto, Yara, Diele, Laura e Marcão, vocês sabem da importância que tem para mim e para este momento. Obrigada por estarem comigo em toda

e qualquer circunstância, por estarem sempre dispostos a me ajudar mesmo que de longe. Eu amo cada um de vocês!

Ao grupo PET, em especial Júlia e Rhavena, que estiveram comigo em momentos decisivos, me acalmando e afirmando que tudo ficaria bem apesar das dificuldades.

Aos meus professores, que sempre me estimularam para que pudesse me doar ao máximo a tudo que faço, que me incentivaram e motivaram na busca dos meus sonhos.

E a todas as pessoas que contribuíram para meu avanço e progresso constante, serei eternamente grata por cada palavra.

RESUMO

Os sistemas de abastecimento de água (SAA) são compostos por diversos dispositivos que auxiliam no processo de condução do fluido do manancial às etapas de tratamento, para que se possa obter água potável de qualidade para consumo humano. Durante a condução, o líquido precisa vencer a topografia do terreno. Para isso utilizam-se equipamentos, como bombas, válvulas e registros para se obter água com vazão e pressão suficientes. Porém, em alguns momentos, os condutos podem sofrer perturbações, através do fechamento rápido de uma das válvulas ou parada de uma bomba pela cessão de energia elétrica. As condições de escoamento são modificadas e, ocorre um choque entre as partículas que antes fluíam com uma determinada velocidade, mas, agora são “forçadas” a reduzi-la bruscamente. Essas perturbações ocasionam no fluido o fenômeno chamado Golpe de Aríete que são variações de pressão decorrentes dos transientes ocorridos no escoamento. Com o objetivo de reduzir os efeitos das variações de pressão observadas em condutos, vários mecanismos foram adotados e implementados nos sistemas hidráulicos. O objetivo deste trabalho é verificar alguns dos tipos de dispositivos utilizados em redes de adutoras para alívio do golpe, garantindo a segurança e melhor funcionamento do sistema. Inicialmente foram escolhidos os mecanismos e verificados, através de pesquisas e revisão bibliográfica, quais as principais características destes dispositivos, método de funcionamento e quais suas vantagens e desvantagens de utilização em adutoras. Por conseguinte, através das opções fornecidas pelo mercado de medidas atenuantes do Golpe de Aríete, devem ser escolhidas aquelas que atuem da forma mais equilibrada possível no sistema, observando em termos de eficiência na proteção às variações de pressão a que o conduto é submetido, o investimento econômico e a dificuldade de implementação no sistema hidráulico.

Palavras-Chave: Transiente. Medidas atenuantes. Fenômeno hidráulico.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Unidade de um sistema de abastecimento de água.	13
Figura 2. Tipos de mananciais	14
Figura 3. Esquema de estação elevatória.....	15
Figura 4. Adução por recalque	17
Figura 5. Adução por gravidade em conduto forçado e livre	17
Figura 6. Etapas da ETA.....	18
Figura 7. Esquematização de reservatório de montante e jusante	19
Figura 8. Aríete bélico	20
Figura 9. Esquema de um volante de inércia.....	22
Figura 10. Esquema de uma válvula de alívio	23
Figura 11. Esquema da instalação de um reservatório hidropneumático em tubulações principais (a) e ramificações (b)	24
Figura 12. Chaminé de Equilíbrio	25
Figura 13. Esquema da instalação de chaminé de equilíbrio.....	25
Figura 14. Esquema de uma válvula de retenção	26
Figura 15. Válvula de retenção com By-pass	26
Figura 16. Ventosa.....	27
Figura 17. Comportamento de Ventosa durante Golpe de Aríete	27
Figura 18. Localização para instalação de dispositivos de alívio ao golpe de aríete...	32
Figura 19. Esquema de utilização de válvulas para controle do transiente hidráulico	33

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. OBJETIVOS	11
2.1 OBJETIVO GERAL	11
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	13
3.2 ELEMENTOS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	14
3.2.1 Manancial	14
3.2.2 Captação	14
3.2.3 Estação elevatória	15
3.2.4 Adutora.....	16
3.2.5 Estação de tratamento de água (ETA).....	17
3.2.6 Reservatório	18
3.2.7 Rede de distribuição	19
3.3 GOLPE DE ARÍETE	19
3.4 CONSEQUÊNCIAS DO GOLPE DE ARÍETE	21
3.5 MECANISMOS DE ALÍVIO DO GOLPE DE ARÍETE.....	21
3.5.1 Volante de inércia	22
3.5.2 Válvulas de Alívio	23
3.5.3 Reservatórios hidropneumáticos	23
3.5.4 Chaminés de equilíbrio (stand-pipes)	24
3.5.5 Válvulas de retenção.....	26
3.5.6 Ventosas	27
4. METODOLOGIA.....	29
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	30
5.1 ANÁLISE DOS MECANISMOS	30
5.2 ESCOLHA DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO	31
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	34
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35

1. INTRODUÇÃO

Uma das maiores dificuldades enfrentadas por engenheiros responsáveis pelo abastecimento e distribuição de água nas cidades é a manutenção de um sistema eficiente que possa suprir as necessidades da população. Para isso, se faz necessário a projeção de grandes redes de distribuição que utilizam bombas, válvulas, reservatórios, entre outros dispositivos.

Estes sistemas atuam com pressões e vazões elevadas, para que a água possa ser levada da estação de tratamento até as residências da população. Como mencionado, utilizam-se vários dispositivos para facilitar esta condução. Estes também são responsáveis pelas diversas variações de pressão ocorrentes no escoamento, conhecidas como Golpe de Aríete.

Durante este regime transitório, a pressão pode atingir níveis indesejáveis causando danos à tubulação e aos dispositivos instalados. Isso ocorre, pois, a energia cinética do fluido é transformada em energia de pressão, elevando-a consideravelmente (LOMBARDI, 2005).

Carvalho (2018) afirma que deve-se ter uma maior preocupação quanto à escolha da tubulação e ao seu dimensionamento, pois, caso esta não suporte as variações de pressão ocorridas, podem surgir sérios problemas para o sistema hidráulico. Portanto, para que as consequências desse problema sejam amenizadas, alguns mecanismos e técnicas podem ser aplicados ao circuito hidráulico.

O presente trabalho tem por finalidade abordar o fenômeno do transiente hidráulico, também conhecido como golpe de aríete e caracterizar os métodos utilizados para alívio. O estudo deste fato é de fundamental importância para que possamos ter uma ideia das suas causas em determinada instalação e também identificarmos as soluções do problema.

Inicialmente serão apresentados os objetivos gerais e específicos do trabalho, com o intuito de apresentar as etapas que serão seguidas para a formulação da pesquisa. Logo após será apresentado o referencial teórico que irá abordar desde os principais conceitos relacionados ao sistema de abastecimento de água e fenômeno do transiente hidráulico em adutoras, aos principais mecanismos atenuantes. E, por fim, serão apresentados a metodologia utilizada para realização da pesquisa, os resultados e discussões obtidos e as considerações finais.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho tem como objetivo geral a breve análise de técnicas de alívio do golpe de aríete em tubulações e assim, determinar as vantagens e desvantagens na aplicação de cada técnica citada.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) e descrever suas etapas;
- Definir o fenômeno do Golpe de Aríete, verificar as situações de iminência e determinar as técnicas de alívio do golpe utilizadas em tubulações e;
- Verificar quais vantagens e desvantagens observadas em cada uma das técnicas.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Segundo Ferreira, Barbosa e Castro (2018), os sistemas de abastecimento de água possuem um papel fundamental na melhoria de aspectos sociais, sanitários e econômicos. Para que isso ocorra, vários elementos devem estar presentes, destacando-se equipamentos e instalações de adução, que são fundamentais na condução de água para as unidades de distribuição.

Estes sistemas são divididos em cinco fases fundamentais: captação, tratamento, transporte, armazenamento e distribuição. A captação é composta pela obra de retenção, dispositivos utilizados para impedir a entrada de materiais em suspensão na água, dispositivos para controlar a entrada de água, canais ou tubagens de interligação e órgãos acessórios. Na etapa de tratamento, a água irá adquirir as características adequadas ao seu consumo, por meio de processos físicos, químicos e biológicos. O transporte é também denominado por adução. Temos duas situações principais, uma delas refere-se à adução de água bruta e à adução de água tratada, que pode ocorrer em regime de superfície livre ou sob pressão, sendo este último o mais utilizado. Em alguns casos, faz-se o uso de motobombas para que a água seja transportada de um local para outro, deixando o escoamento sujeito às condições de bombeamento (VILAS-BOAS, 2008).

Quando perturbações ocorrem na tubulação, os fluxos que antes eram permanentes, tornam-se transitórios ou transientes. Os sistemas hidráulicos de distribuição que funcionam através de tubulações com água sob pressão, sofrem alterações em suas condições de escoamento caracterizadas pelas variações de pressão e velocidade de escoamento do fluido em função do tempo, acarretando assim regimes variados, chamados de transientes ou transitórios hidráulicos (PINHEIRO, 2014). Variações estas que podem ocorrer bruscamente por toda tubulação, ocasionando o golpe de aríete.

O golpe de aríete é caracterizado por violentas colisões que são produzidas sobre as paredes da tubulação quando o movimento do líquido é modificado bruscamente. Esse fenômeno consiste na alternância de ondas de pressão devido ao movimento oscilatório da água no interior da canalização (NORONHA, 2012).

Segundo Masiero Junior (2008), as variações de pressão geram diversos problemas nas tubulações, sendo elas ocasionadas por sobrepressões ou subpressões. Quando são criadas tensões elevadas nas paredes da tubulação ou sobrepressões, a tubulação irá se tornar frágil e com a repetição deste fenômeno, pode vir a se romper. Em pressões inferiores ou subpressões, pode ocorrer o achatamento das canalizações, independente da resistência do material.

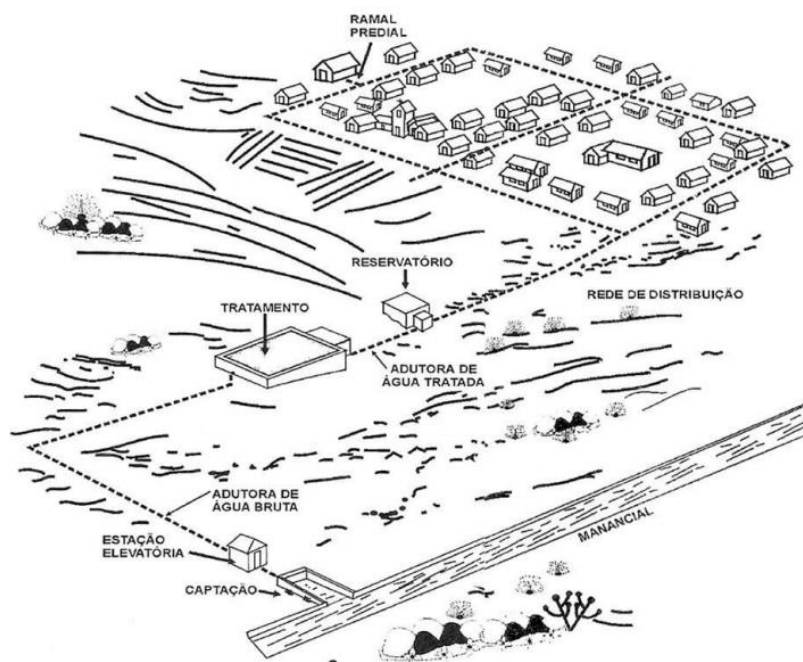
A partir disso, algumas técnicas e equipamentos foram desenvolvidos para que todos estes problemas sejam evitados e minimizados, são elas: válvula de retenção, chaminé de equilíbrio, ventosas, *By-pass*, reservatórios hidropneumáticos, volantes de inércia e válvula de alívio.

3.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para que possa ocorrer a utilização da água para seus diversos fins, devem ser realizados inúmeros processos, desde captação, tratamento a etapas de distribuição.

Define-se sistema de abastecimento de água como “uma instalação composta por conjunto de obras civis, materiais e equipamentos, destinada à produção e distribuição canalizada de água potável para a população.” (FERRAZ, 2016, p. 19). Este sistema pode variar conforme características topográficas, porte da cidade e de sua localização mediante os mananciais. Porém, na maior parte dos casos são compostos pelos seguintes elementos: manancial, captação, estação elevatória, adutora, estação de tratamento de água, reservatório e rede de distribuição, conforme ilustra a Figura 1 (DALMAS, 2012).

Figura 1. Unidade de um sistema de abastecimento de água.



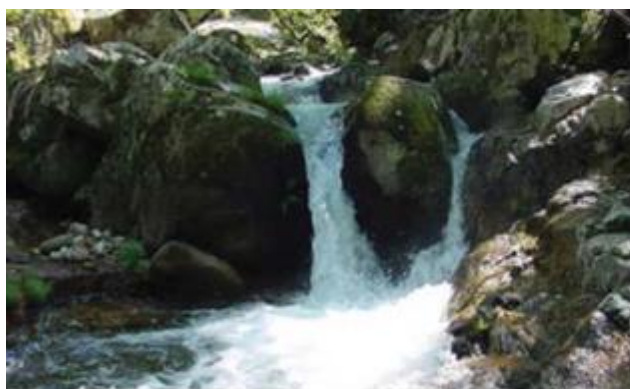
Fonte: FUNASA (2006).

3.2 ELEMENTOS DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

3.2.1 Manancial

Define-se como o local de onde a água é retirada com condições sanitárias favoráveis e vazão suficiente para atender às necessidades desejadas, podendo ser superficiais (rios, riachos, lagos, represas), conforme a Figura 2 (a) ou subterrâneos, de acordo com a Figura 2 (b).

Figura 2. Tipos de mananciais



(a) Manancial Superficial



(b) Manancial Subterrâneo

Fonte: Adaptado de FUNASA (2006).

Ao escolher o manancial, várias particularidades devem ser levadas em questão, tais como: qualidade, consumo provável e capacidade de o manancial satisfazer ao consumo da comunidade (FUNASA, 2006).

3.2.2 Captação

Nesta etapa, a água é retirada do manancial e aduzida à estação de tratamento. Será feita de acordo com o tipo de manancial, podendo ser:

1. Captação direta ou a fio de água: quando a vazão mínima utilizável é superior à de captação;
2. Captação com barragem de regularização de nível de água: quando o nível d'água mínimo não é adequado para o posicionamento da tubulação, há a elevação através de uma barragem de pequena altura;

3. Captação com reservatório de regularização de vazão destinado prioritariamente para o abastecimento público de água: dá-se a construção de uma barragem que permita o acúmulo de água e captação em qualquer período do ano;
4. Captação em reservatórios ou lagos de usos múltiplos: é feita em reservatórios que não são utilizados prioritariamente para o abastecimento de água (PÁDUA e SANTOS, 2019).

3.2.3 Estação elevatória

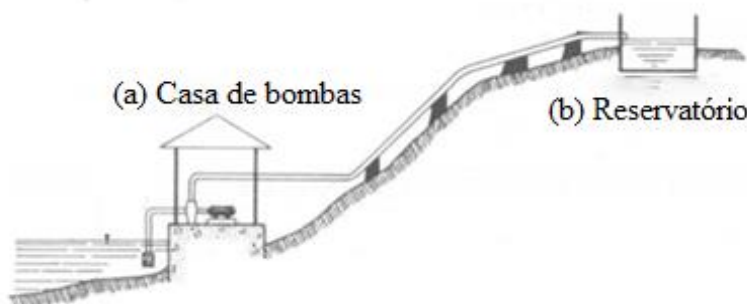
É composta por um conjunto de estruturas e maquinários que são responsáveis pelo recalque da água para as etapas seguintes do sistema de abastecimento. Estes mecanismos se fazem necessários devido às condições topográficas do local, que requerem de equipamentos que possam conduzir o fluido a cotas mais elevadas (SILVA, 2016).

Sobre esta etapa Dalmas (2012, p. 19) conclui que:

Sua instalação deve ser estudada com cautela, pois ela influenciará diretamente no valor de manutenção do sistema, por causa de um elevado custo de energia elétrica. Se houver bombeamento no sistema, os gastos podem representar uma boa parte dentro de uma companhia de saneamento.

A Figura 3 traz uma simples esquematização do que ocorre em uma estação elevatória. Em casos que a água deve vencer a topografia do terreno e ser elevada de uma cota mais baixa à outra mais alta, se faz necessário a utilização de bombas, Figura 3 (a), que irão fornecer energia ao sistema e conduzi-la ao reservatório, Figura 3 (b).

Figura 3. Esquema de estação elevatória



Fonte: Adaptado de Araújo (2014).

3.2.4 Adutora

As adutoras por sua função, dimensão e custo, podem ser consideradas como as principais canalizações de um sistema de abastecimento de água. Estas são tubulações responsáveis pelo transporte da água para as unidades posteriores e irão interligar os pontos de captação à estação de tratamento, do reservatório à rede de distribuição, como também podem conectar, a estação de tratamento ao reservatório e a rede de distribuição (RODRIGUES, 2014).

As adutoras podem ser classificadas, conforme o Quadro 1 através:

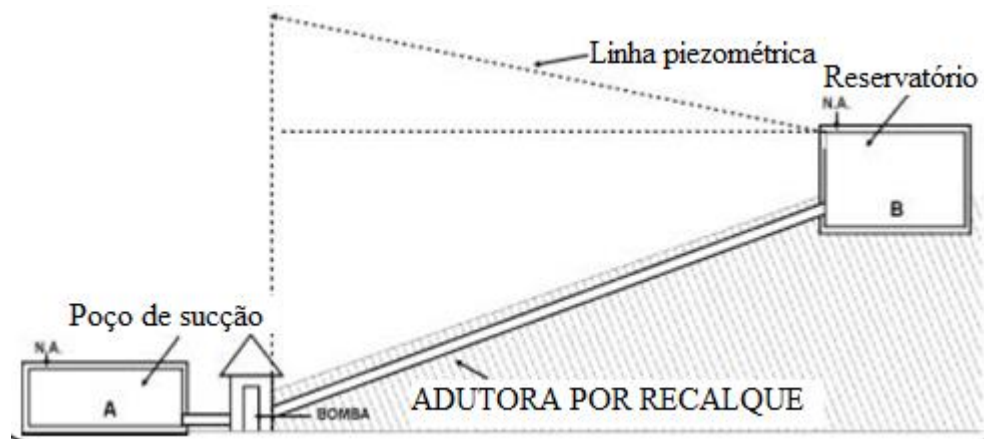
Quadro 1. Classificação das adutoras

Natureza da água transportada	Energia utilizada para escoamento da água	Modo de escoamento
Água bruta: conduz a água do local de captação a estação de tratamento	Gravidade: beneficia-se da topografia local e aproveita o desnível existente no sistema de adução	Conduto livre: os condutos podem ser abertos ou fechados, não funcionam totalmente cheios e a água está sob efeito da pressão atmosférica
Água tratada: transporta a água da estação de tratamento aos reservatórios de distribuição	Recalque: utiliza mecanismos que superem a topografia do local para transporte de água	Conduto forçado: a pressão interna é superior à pressão atmosférica e isso ocorre pelo fato de os condutos estarem totalmente cheios
	Mista: em determinados pontos do sistema utiliza do recalque e em outros, gravidade	

Fonte: FUNASA (2006).

A Figura 4, mostra o esquema de adução por recalque através da utilização de bombas, no qual a água é elevada a cotas mais altas.

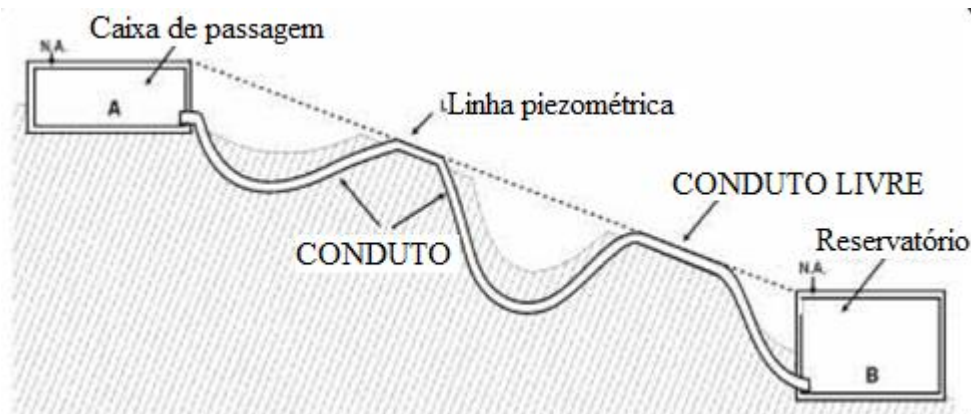
Figura 4. Adução por recalque



Fonte: FUNASA (2006).

A Figura 5, esquematiza a adução por gravidade em condutos livres e forçados. No primeiro caso, os condutos utilizam a topografia do local para transportar a água e, podem ser abertos ou fechados. Já no segundo caso, os condutos são hermeticamente fechados e a pressão no interior das tubulações são inferiores à atmosférica.

Figura 5. Adução por gravidade em conduto forçado e livre



Fonte: FUNASA (2006).

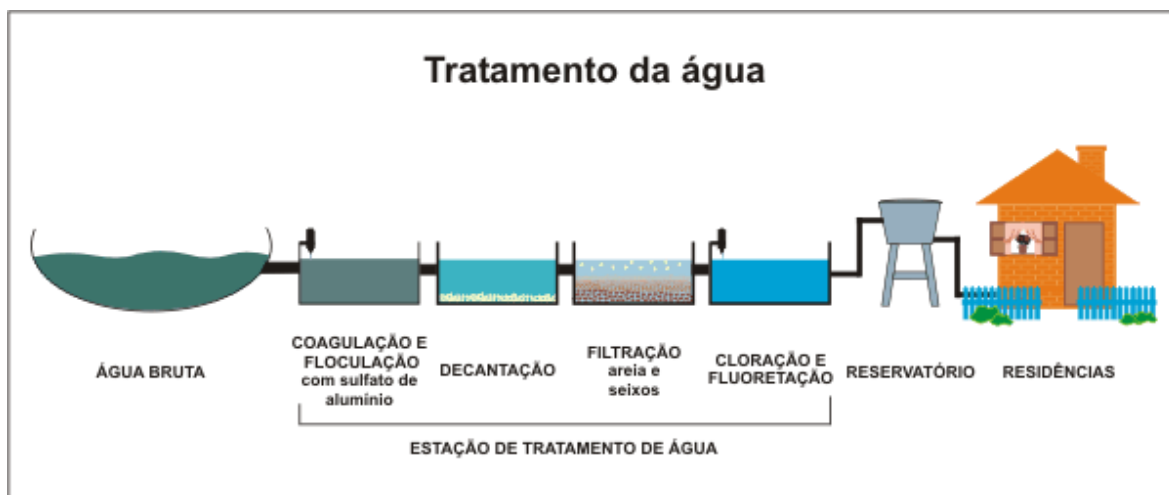
3.2.5 Estação de tratamento de água (ETA)

As estações de tratamento de água (ETA) têm como objetivo adequar a água aos padrões estabelecidos pela Portaria 2914, que “dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.” (Brasil, 2011).

Braga (2014, p. 8) define que,

as cinco etapas necessárias para a realização do tratamento convencional ou tratamento de ciclo completo são: i) coagulação; ii) floculação; iii) decantação ou flotação; iv) filtração rápida descendente; v) ajustes finais, que envolvem desinfecção, fluoretação, ajuste de pH e outros processos necessários, como esquematiza a Figura 6.

Figura 6. Etapas da ETA



Fonte: Adaptado de SANEP (2019).

3.2.6 Reservatório

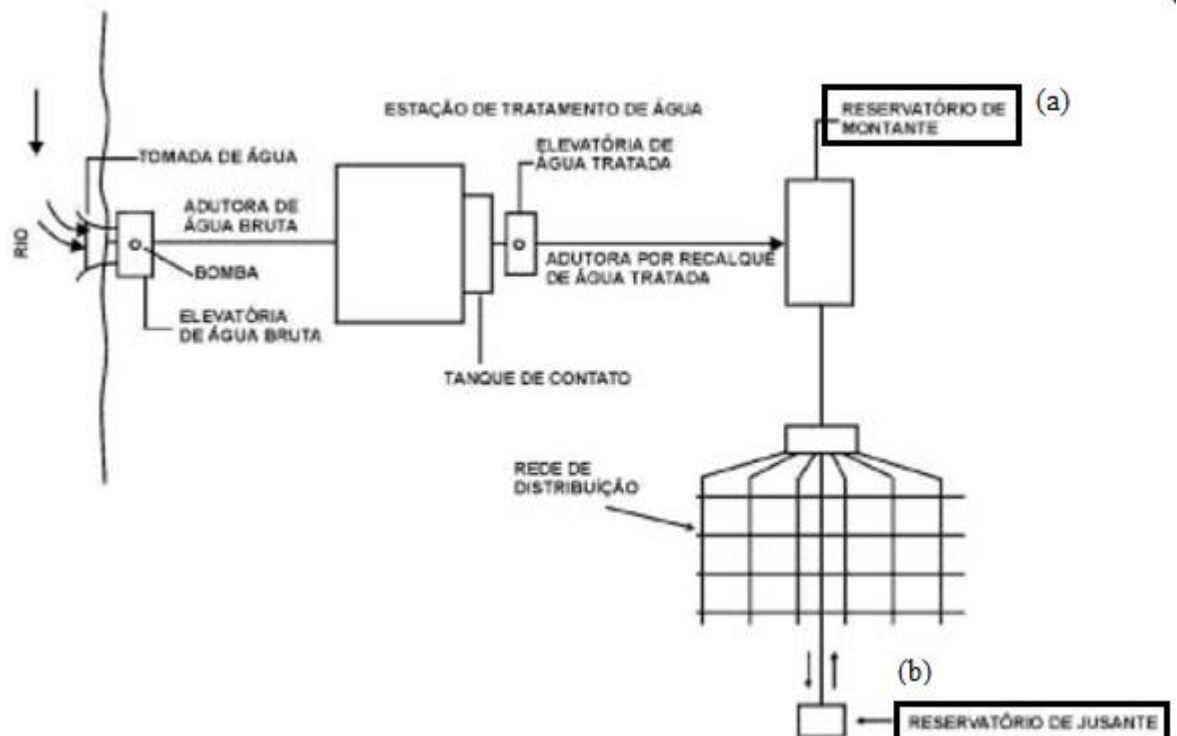
A NBR 12217 (1994, p.1) define reservatório de distribuição como: “elemento do sistema de abastecimento de água destinado a regularizar as variações entre as vazões de adução e de distribuição e condicionar as pressões na rede de distribuição.”

Considerando a localização e forma construtiva, podem ser:

- De montante: posicionado no início da rede de distribuição, fornecendo água para a rede de distribuição;
- De jusante: localizado no extremo do sistema e pode fornecer ou receber água da rede;
- Elevados: para aumentar a pressão, quando necessário, são construídos sob colunas;
- Apoiados ou enterrados: no qual a parte inferior está em contato com o terreno (FUNASA, 2006).

A Figura 7 ilustra a captação de água do manancial, seguida pela adução através de bombas da água bruta que será tratada e conduzida por recalque para o reservatório de montante, Figura 7 (a) para ser distribuída. Posteriormente, pode haver um reservatório de jusante, Figura 7 (b), que irá fornecer ou receber água do sistema.

Figura 7. Esquematização de reservatório de montante e jusante



Fonte: FUNASA (2006).

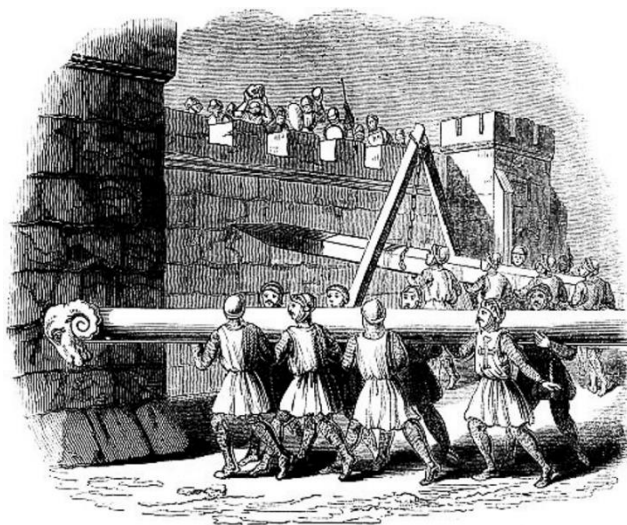
3.2.7 Rede de distribuição

É a etapa do processo responsável pelo fornecimento de água potável em quantidade e qualidade adequadas à população. Deve ser realizada em regime contínuo, através de acessórios, tubulações e maquinários instalados em logradouros públicos. Quando ocorrem falhas na projeção ou operação, podem haver problemas na qualidade, perdas e, consequentemente reclamações da população quanto a água oferecida (PÁDUA e SANTOS, 2019).

3.3 GOLPE DE ARÍETE

O termo “golpe de aríete” foi inspirado no utensílio bélico “aríete”, demonstrado na Figura 8, que foi utilizado na era medieval para derrubar portões de fortalezas e castelos em confrontos. Este artefato era constituído por um tronco de árvore que era lançado contra o portão e para resistir aos fortes golpes, os portões deviam ser reforçados.

Figura 8. Aríete bélico



Fonte: EDUCALINGO (2019).

Em hidráulica, esse fenômeno ocorre com a alteração do fluxo de água em condutos: quanto mais severa a alteração, mais violento será o “golpe”. O aumento de pressão causado ocorre instantaneamente e não pode ser detectada por instrumentos convencionais. A perturbação que é verificada no fluido é de natureza oscilatória, ou seja, ocorrem sobrepressões e subpressões (KIDDE, 2007).

Este fenômeno é observado quando há um súbito retardamento ou aceleração do escoamento, ou seja, um transiente. O termo “golpe de aríete” é dito como sinônimo do transiente hidráulico considerando-se, para seu equacionamento, a elasticidade da tubulação e a compressibilidade do líquido (MASIERO JUNIOR, 2008).

Ziliel (2018) afirma que, ao modificarmos bruscamente o movimento de um líquido no interior de um conduto forçado ocorre o chamado transiente, que faz com que sejam observados choques violentos produzidos pelo fluido nas paredes desse conduto. À exemplo, temos a ocorrência da interrupção de um escoamento através do fechamento de um registro, com isso uma sobrepressão é provocada no conduto por onde passa o líquido. Fechando-se rapidamente o registro, toda energia da água é convertida em trabalho, provocando pressões superiores à carga inicial nas paredes da tubulação. Assim, essa energia absorvida transforma-se em esforços de compressão da água, causando deformação nas paredes da tubulação.

Segundo Camargo (1991), citado por Schmidt (2016) ondas de choque são geradas por esse fenômeno do transiente hidráulico em função do tempo, e essas tendem a ser amortecidas devido ao atrito interno contra a parede do tubo. Essa pressão pode atingir níveis indesejáveis e causar danos ao duto e aos dispositivos nele instalados.

3.4 CONSEQUÊNCIAS DO GOLPE DE ARÍETE

Masiero Junior (2008) afirma que quando não são bem analisados, os transientes hidráulicos podem ocasionar sérias perturbações em um sistema de distribuição de água. Os prejuízos podem ser muito severos, causando danos substanciais como problemas de abastecimento em cidades e assim, gerando gastos excessivos. Alguns problemas e suas consequências causados por este fenômeno podem ser observadas nos condutos, tais eles: pressões máximas e mínimas, cavitação e inferências quanto à qualidade da água. Moreschi (2018), menciona os vários danos que são observados nos sistemas hidráulicos, tais eles: diminuição do desempenho do sistema, deformação de condutos, válvulas e outros componentes.

Em tubulações, essas pressões podem ocasionar pequenas fissuras nas paredes, ocasionando o rompimento de conexões em suas seções. Masiero Junior (2008) cita Wylie e Streeter (1978) que afirma que, ao atingir pressões mínimas abaixo da pressão atmosférica, pode ocorrer o colapso nas tubulações. Na cavitação, há a redução da pressão no interior dos condutos até atingir o valor da pressão atmosférica (BOULOS, 2005).

Vale salientar também a interferência quanto à qualidade da água, que pode causar a ressuspensão de partículas precipitadas, possibilitando a entrada de água subterrânea contaminada através de trechos danificados da tubulação (BOULOS, 2005).

3.5 MECANISMOS DE ALÍVIO DO GOLPE DE ARÍETE

Existem mecanismos que atuam protegendo os efeitos do transiente hidráulico, sendo estes bem aceitos na engenharia hidráulica. Estes, atuam controlando as variações de vazão e pressão existentes no escoamento (MENDES, 2011).

De acordo com Macintyre (2012), para que se possa reduzir as consequências do golpe, podem-se:

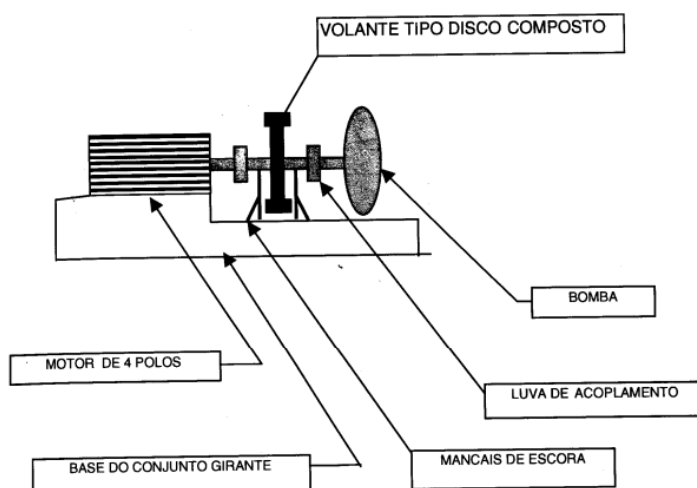
- Empregar tubulações com diâmetros grandes, reduzindo assim a velocidade de escoamento;
- Adaptar volantes de grande inércia que reduzem as subpressões;
- Utilizar válvulas de alívio que irão limitar as sobrepressões;
- Reservatórios de ar comprimido;

- Construir chaminés de equilíbrio (*stand-pipes*), separando os trechos de grande declividade de outros com menor inclinação;
- Utilizar válvulas de retenção com *by-pass*;
- Ventosas.

3.5.1 Volante de inércia

De acordo com Masiero Junior apud Tsutiya (2008), são dispositivos acoplados ao eixo da bomba para aumentar o momento de inércia do conjunto girante e diminuir a taxa de variação de rotação do conjunto, que está associada à queda de pressão após o desligamento de uma bomba, como ilustrado na Figura 9.

Figura 9. Esquema de um volante de inércia



Fonte: Tomaz (2010).

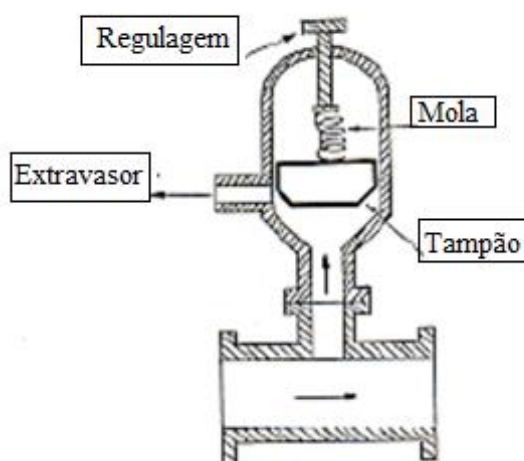
Os volantes são instalados na bomba objetivando aumentar o tempo de parada quando a bomba for desligada, garantindo a sua rotação por alguns instantes a mais (Tomaz, 2010). Todavia os usos destes dispositivos são usualmente muito caros, pois quando se dobra o momento de inércia do sistema com o acoplamento de um volante de inércia, pode-se elevar em mais de 20% o custo do motor (MASIERO JUNIOR, 2008). Como também, sua utilização se limita a instalações que as linhas de recalque não ultrapassem centenas de metros.

3.5.2 Válvulas de Alívio

Estas válvulas permitem a saída de água do conduto com a finalidade de proteger e controlar sobrepressões. São colocadas no encanamento de recalque e abrem-se automaticamente, quando as pressões pré-determinadas são atingidas (MACINTYRE, 2012). As válvulas são instaladas no ponto crítico das canalizações, geralmente onde inicia-se o recalque.

A Figura 10 ilustra o funcionamento de uma válvula de alívio que ao atingir valores de pressão elevados, o tampão irá ser regulado com o auxílio da mola, permitindo assim a saída do fluido pelo extravasor até a pressão retornar ao valor estabelecido.

Figura 10. Esquema de uma válvula de alívio



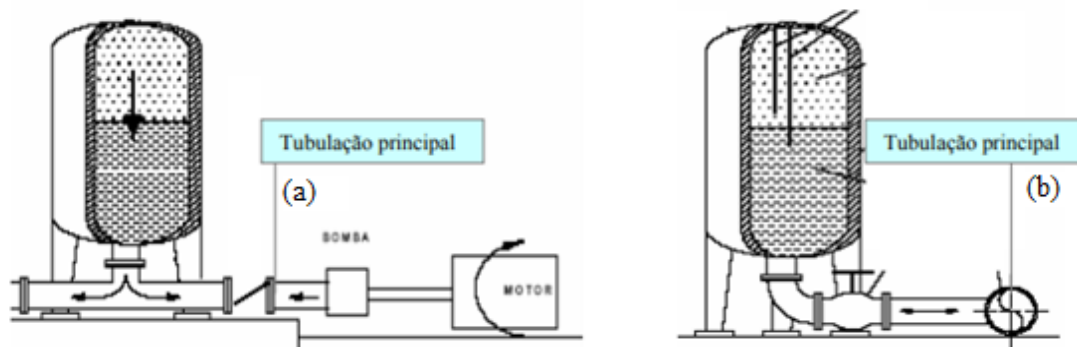
Fonte: Tomaz (2010).

Mendes (2011) afirma que em um sistema elevatório, após a bomba cessar seu funcionamento, há uma redução considerável na vazão e assim, reduções na pressão. Após isso, com a atenuação do escoamento provocada pelo fechamento da válvula de retenção, verifica-se um aumento significativo de pressão.

3.5.3 Reservatórios hidropneumáticos

Este mecanismo é caracterizado por ser um tanque metálico, cilíndrico, fechado hermeticamente, instalado diretamente na tubulação principal, Figura 11 (a), ou numa ramificação, Figura 11 (b), tendo em seu interior água e ar comprimido (SOUZA, 2008).

Figura 11. Esquema da instalação de um reservatório hidropneumático em tubulações principais (a) e ramificações (b)



Fonte: Souza (2008).

Estes dispositivos são acionados quando a adutora é submetida a acréscimos de pressão, fazendo com que a energia correspondente seja transmitida ao ar contido no reservatório que, é comprimindo e armazena energia elástica. Contrariamente, quando ocorrem decréscimos de pressão, a energia correspondente é transmitida ao ar do reservatório que, dilata-se (VIANNA, 2017).

Macintyre (2012) assegura que ao ocorrer o desligamento de uma bomba, uma parte da água contida no equipamento é direcionada à tubulação, uma vez que, a pressão no encanamento é inferior à do reservatório, evitando assim ondas de subpressão. Contrariamente, quando ocorrem sobrepressões que passam pela entrada do reservatório, estas comprimem, e há uma redução de energia no sistema (TASSINARI, 2017).

3.5.4 Chaminés de equilíbrio (stand-pipes)

Isabel (2015) definiu stand-pipes, como mostra a Figura 12, como um dispositivo utilizado geralmente em adutoras por gravidade, protegendo-as de efeitos causados pelo fechamento brusco de válvulas ou de variações de vazão em turbinas ou bombas. Essas chaminés são tanques com água, instaladas na linha adutora e dimensionadas de forma que quando ocorra oscilação da pressão no local da chaminé, esta seja transmitida para dentro, fazendo com que o nível de água em seu interior oscile (TASSINARI, 2017).

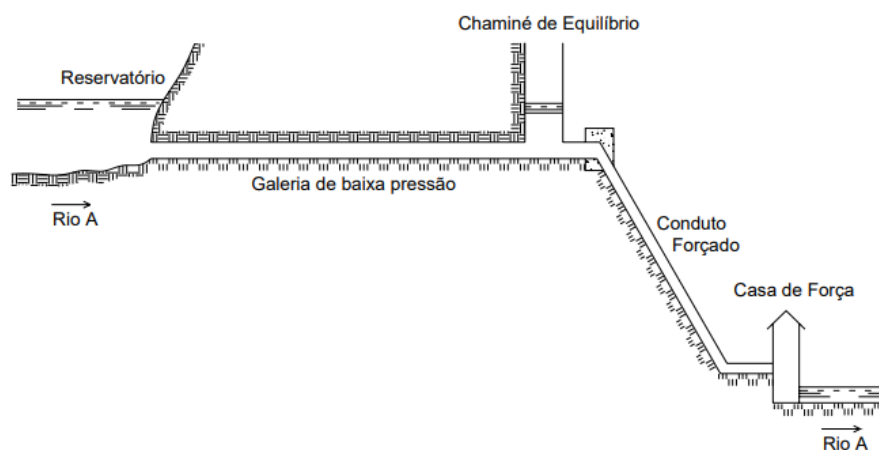
Figura 12. Chaminé de Equilíbrio



Fonte: Usina Hidrelétrica (2019).

A Figura 13 exemplifica uma chaminé de equilíbrio instalada após a adução de água do manancial. Com este mecanismo, ocorre a redução da amplitude das oscilações de pressão no conduto, através de reflexões de ondas de massa em seu interior pela entrada e saída de água. Esta deve ser a função básica da chaminé, que cria uma espécie de barreira contra as oscilações, que por sua vez, caso não existisse o mecanismo, se estenderia no reservatório.

Figura 13. Esquema da instalação de chaminé de equilíbrio

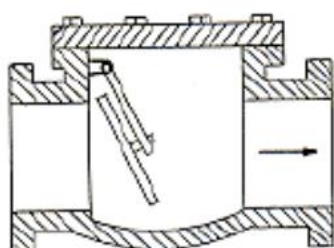


Fonte: Battiston (2005).

3.5.5 Válvulas de retenção

A válvula de retenção é instalada na saída de bombas impedindo que a água volte para dentro da bomba, após sua paralisação. Como ilustrado na Figura 14, estas válvulas permitem o fluxo de água unidirecional, impedindo o fluxo invertido. Também permitindo que a tubulação continue preenchida de água, evitando um novo preenchimento, que é uma das situações críticas para controle do regime transiente (MATTIELLO, 2017).

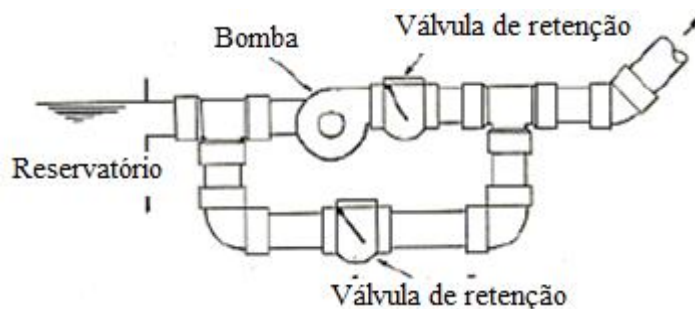
Figura 14. Esquema de uma válvula de retenção



Fonte: Tomaz (2010)

Em conjunto com a válvula atua o *By-pass*, que evita pressões negativas junto ao sistema. Este mecanismo funciona fazendo a ligação entre os condutos de sucção que vem do reservatório para depois da válvula de retenção da bomba. O dispositivo atua quando há queda de energia elétrica, consequentemente, a pressão do sistema tende a cair e a válvula de retenção do *By-pass* é aberta. Assim, a água que está no reservatório que alimenta a bomba, abastece o espaço necessário e preenche o vazio de água, como mostra a Figura 15 (TOMAZ, 2010).

Figura 15. Válvula de retenção com By-pass

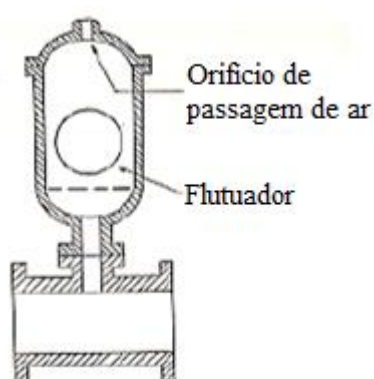


Fonte: Tomaz (2010)

3.5.6 Ventosas

Segundo Aquino, as ventosas, ilustrada na Figura 16, têm como funções principais “[...] permitir a saída ou entrada do ar durante o enchimento ou esvaziamento de uma tubulação e possibilitar a expulsão do ar liberado durante o funcionamento normal do sistema, impedindo desta forma que perigosas bolsas de ar se acumulem nos pontos altos da instalação” (2013, p.31). Também atua a fim de evitar quedas de pressão durante o regime transitório.

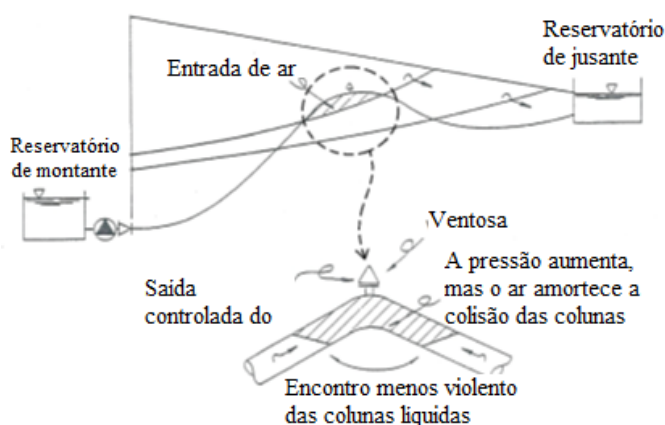
Figura 16. Ventosa



Fonte: Tomaz (2010).

Quando a pressão no interior dos condutos é inferior a pressão atmosférica, a válvula existente na ventosa se abre e permite que o ar entre, igualando-se as pressões, conforme ilustra a Figura 17 (JÚNIOR, 2007). Quando a pressão é superior a atmosférica, a válvula se abre e permite que o ar saia, até que a pressão interna e atmosférica se igualem.

Figura 17. Comportamento de Ventosa durante Golpe de Aríete



Fonte: Mendes (2011).

As ventosas devem ser instaladas em pontos altos da tubulação e ao final de trechos horizontais, tendo em vista a eliminação dos inconvenientes gerados por um fluxo de ar. Outras precauções quanto ao traçado das tubulações devem ser tomadas, tais elas:

- Projeção de tubulações com leves aclives e declives acentuados, visando facilitar o fluxo de ar nos pontos onde estarão instaladas as ventosas;
- Redução de trechos horizontais, pois pequenas variações de nível implicam em pontos de difícil preservação (FERNANDES, 2014).

4. METODOLOGIA

Para o desenvolvimento do seguinte trabalho foi realizada uma pesquisa de cunho exploratório buscando dados na literatura, em periódicos, livros, dissertações, artigos em revistas, apostilas, dentre outros meios a fim de proporcionar maior familiaridade com o assunto.

Também foi feita uma revisão bibliográfica do tema abordado incluindo conceitos iniciais de abastecimento de água, etapas de abastecimento, conceituação do transiente hidráulico, situações de iminência deste fenômeno, medidas atenuantes dos efeitos causados pelas variações de pressão nas tubulações de adutoras e, por fim, uma análise das principais vantagens e desvantagens dos mecanismos utilizados.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para que possamos definir o melhor sistema de mecanismo para alívio do Golpe de Aríete diversos critérios devem ser verificados. Esta análise foi feita com base em informações obtidas em estudos, pesquisas de cunho exploratório, análises e observações. Desta forma, buscando conhecer e compreender os principais mecanismos utilizados em sistemas de abastecimento de água. Os pontos abordados nesta análise foram avaliações de custo, eficiência no sistema, eficácia do mecanismo, facilidade de implementação no sistema, entre outros critérios.

5.1 ANÁLISE DOS MECANISMOS

A cada um dos mecanismos – volantes de inércia, válvulas de alívio, reservatórios hidropneumáticos, chaminés de equilíbrio, válvulas de retenção e ventosas – serão atribuídos seus principais aspectos que influenciam no custo e na eficiência do sistema.

I. Volantes de Inércia:

De acordo com Gaspar (2010), os volantes de inércia quando comparados a outros mecanismos, se destacam pelas seguintes vantagens: resposta rápida quando submetido a perturbações, suporta aumentos de carga, necessitam de pouca manutenção, vida útil elevada – aproximadamente 20 anos, entre outros.

Porém, temos algumas desvantagens no uso deste dispositivo como: custo elevado, aumento do peso da bomba – necessitando assim de uma bomba com maior potência e utilização de corrente elétrica de maior intensidade, ameaça de o sistema entrar em sobrecarga e utilização limitada – sendo empregue em linhas de recalque com altitude de menos de cem metros.

II. Válvulas de alívio:

Segundo Freitas (2007), com a utilização de válvulas de alívio há o gerenciamento de vazões e pressões em pontos críticos, redução da vazão em possíveis vazamentos e além disso, são eficazes, práticas e de baixo custo, como menciona Luiz (2019).

Em contrapartida, estas válvulas não oferecem proteção à subpressões e consequentemente, fenômenos de cavitação. Ademais, há a necessidade de manutenção periódica e faz-se necessário a introdução de um sistema para recolhimento e drenagem da água descarregada (MENDES, 2011).

III. Reservatórios hidropneumáticos:

Silva (2006), constata que as principais vantagens dos reservatórios hidropneumáticos são o controle de pressões máximas e mínimas e por não necessitarem de um perfil topográfico específico para sua implementação no sistema.

Já Rosa (2009) aborda as características negativas desses reservatórios, enfatizando seu alto custo, grande consumo de energia, custos para manutenção e dificuldades para introduzi-los ao sistema devido suas dimensões avantajadas.

IV. Chaminés de equilíbrio:

Como vantagens em sua instalação, Silva (2006) menciona o baixo custo para manutenção, controle de pressões máximas e mínimas e o não consumo de energia elétrica em sua utilização.

Todavia, Silva (2006) também aborda as desvantagens que este mecanismo apresenta, sendo eles: alto custo para construção e dependência do perfil topográfico do sistema de abastecimento.

V. Válvulas de retenção:

A utilização destes dispositivos de retenção em tubulações tem como vantagens: evitar que o conduto fique vazio e assim, livrar-se do transiente com o reenchimento da tubulação e também, por se tratar de um mecanismo de baixo custo (MASIERO JUNIOR, 2008).

Entretanto, Tomaz (2010) afirma que as válvulas de retenção atuam evitando problemas na bomba devido ao golpe de aríete. Também, ocorre uma grande perda de carga e caso estas, não sejam instaladas nos locais adequados, podem ampliar os efeitos do golpe.

VI. Ventosas:

Estes equipamentos têm como benefícios sua simples aplicação, baixo custo de aquisição, manutenção e operação e são considerados instrumentos que, quando bem projetados, evitam a formação de bolsas de ar no interior dos condutos, permitindo o melhor aproveitamento hidráulico do sistema de adução (SILVA, 2006).

As ventosas proporcionam a ampliação da eficiência energética do sistema e são necessárias em áreas com topografias elevadas, evitando que a tubulação possa estourar com eventuais aumentos de pressão em seu interior (SERDAN; SILVA, 2012).

5.2 ESCOLHA DO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO

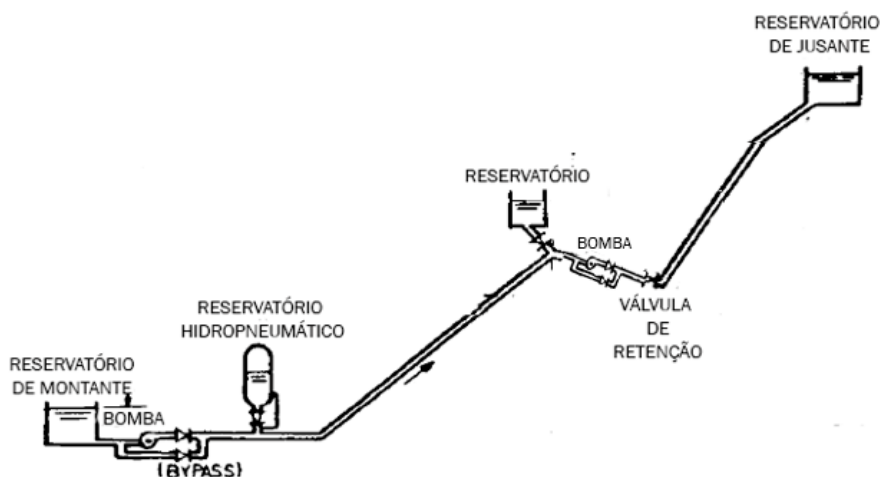
Para que se possa escolher o melhor mecanismo de proteção aos efeitos do golpe de aríete, devem ser levadas em conta características físicas, geográficas e hidráulicas a que o

sistema está submetido. Vale salientar que cada sistema tem uma forma peculiar de ser analisado e estudado, pois cada um tem características que os difere, apesar de que os mecanismos para alívio de pressões máximas e mínimas são similares.

A fim de obter a otimização do sistema de adução de água, evitando problemas nas tubulações e bombas existentes no decorrer de todo percurso, o processo de escolha do mecanismo de proteção deve ser iniciado a partir da análise dos locais iminentes à ocorrência do transiente hidráulico, incluindo pontos de interrupção do funcionamento de bombas, ruptura de condutos, funcionamento inadequado de dispositivos de alívio, etc. Com a análise feita, os dispositivos de proteção que melhor se adequem ao local indicado serão escolhidos e posteriormente, dimensionados para a instalação no sistema (MENDES, 2011).

A Figura 18 ilustra as localizações geralmente utilizadas para os mecanismos de alívio mencionados na análise. Observa-se que após a instalação de uma bomba é sugerida a instalação de um *By-pass*, que é acionado quando ocorrem bruscas quedas de pressão no sistema ocasionados por quedas de energia elétrica, que acarretam a parada da bomba. Logo após é sugerida a introdução de um Reservatório hidropneumático, que é um mecanismo atuante tanto em variações de pressões máximas quanto mínimas. Em outra situação faz-se uso de uma Válvula de retenção instalada após a bomba, que irá impedir o fluxo contrário da água caso ocorra a paralização da bomba.

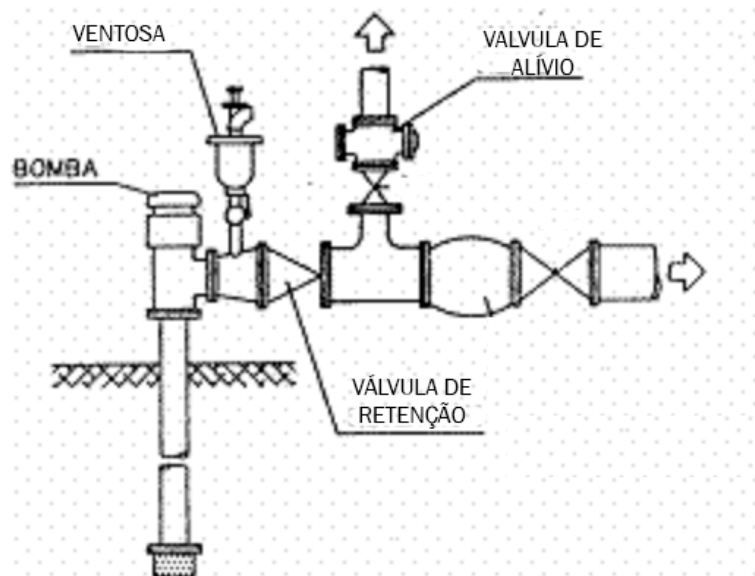
Figura 18. Localização para instalação de dispositivos de alívio ao golpe de aríete



Fonte: Adaptado de Mendes (2011).

A Figura 19, mostra como ocorre a utilização de válvulas em um sistema de abastecimento de água. Quando o sistema atinge valores de pressão pré-definidos, pelo efeito do transiente, as válvulas são abertas e deixam sair a água.

Figura 19. Esquema de utilização de válvulas para controle do transiente hidráulico



Fonte: Adaptado de Sevilla (2007).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O referido trabalho buscou definir técnicas, simples e de fácil aplicação, para prevenir os efeitos do transiente hidráulico em sistemas de adução de água. Foram expostos alguns métodos e mecanismos, que tem maior aceitabilidade e que são geralmente utilizados para proteção das tubulações mencionadas.

A partir da análise para a escolha dos dispositivos de estudo, fez-se necessário estabelecer parâmetros e critérios comparativos de pesquisa. Estes critérios são fundamentais para a escolha do mecanismo que deve ser utilizado nos sistemas de bombeamento de água, relacionando aspectos como: custo-benefício dos mecanismos utilizados, facilidade de manutenção, eficácia quanto ao alívio do transiente hidráulico, facilidade de implementação no sistema, entre outros.

Para que as variações de pressão sejam amenizadas, em diversas ocasiões são utilizadas associações de dispositivos. Estes, sendo escolhidos de acordo com as características mencionadas acima.

Sendo assim, observando critérios como eficiência na proteção do transiente hidráulico, investimento econômico aplicado e impactos causados ao sistema de abastecimento, o melhor mecanismo para proteção deverá ser aquele que se apresenta de forma mais equilibrada para os problemas verificados no sistema. Assim, serão reduzidos os gastos, haverá o aumento na eficiência do sistema, barateamento na prestação de serviços e menores impactos ao meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AQUINO, Genivaldo Alcântara de. **Caracterização do escoamento de ar em adutoras e válvulas ventosas**. 2013. 138 p. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Campinas, SP. Disponível em: <<http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/258602>>. Acesso em: 23 jan. 2019.
- ARAÚJO, Francidézio Meira de. **Algumas características de uma estação elevatória de água**. 2014. 24 p. TCC (Graduação) - Curso de Física, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 12217 Projeto de reservatório de distribuição de água para abastecimento público.**, 1994.
- BATTISTON, Cristiane Collet. **Influência de parâmetros físicos no dimensionamento de chaminés de equilíbrio simples de usinas hidrelétricas**. 2005. 158 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.
- BOULOS, P. F. et al. **Hydraulic Transient Guidelines for Protecting Water Distribution Systems**. 2005. Peer-Reviewed. 97:5. Journal AWWA. May 2005.
- BRAGA, F.P. **Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento da água do município Juiz de Fora-MG**. 2014. 61 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014.
- Brasil. Portaria Nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade**. Disponível em: <http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 27 jan. 2019.
- CARVALHO, Raphael Costa. **Estudo Numérico do Problema do Golpe de Ariete em Tubulações**. 2018. 47 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- DALMAS, Roque Rogerio Ottonelli. **Sistema de abastecimento de água estudo de caso: Redentora – RS**. 2012. 90 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.
- EDUCALINGO (Org.). **Dicionário**. 2019. Disponível em: <<https://educalingo.com/it/dic-pt/ariete>>. Acesso em: 5 jan. 2019.
- FERNANDES, C. **Equipamentos para proteção das tubulações: peças especiais e aparelhos**. s/d. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014.
- FERRAZ, G.; S. **Diagnóstico do Abastecimento de Água na Zona Urbana do Município de Morro Redondo - RS**. 2016. 45p. Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

FERREIRA, Fábio Eduardo Franco Rodrigues; BARBOSA, João Marcelo Costa; CASTRO, Marco Aurélio Holanda de. Modelagem computacional do Golpe de Aríete em condutos plásticos. **Revista Dae**, [s.l.], v. 64, n. 202, p.20-31, 5 nov. 2018. Editora Cubo Multimidia. <http://dx.doi.org/10.4322/dae.2015.008>.

FREITAS, Valdemir Viana de et al. Uma década de controle de pressão nas redes de distribuição da SABESP. **Revista Dae**, São Paulo, v. 9, n. 176, p.28-33, ago. 2007. Disponível em: <<http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/dae.2014.011>>. Acesso em: 21 fev. 2019.

Fundação Nacional de Saúde – FUNASA. **Manual de Saneamento**. 3. ed. rev. Brasília, 2006.

GASPAR, Maria Madalena Correia. **Dimensionamento de sistemas de armazenamento de energia para melhoria da estabilidade de frequência em redes isoladas com elevada integração de energias renováveis**. 2010. 74p. Dissertação (Mestrado) - Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, FEUP, 2010.

ISABEL, João Filipe Abelho. **Avaliação do Comportamento Dinâmico de uma Chaminé de Equilíbrio**. 2015. 82 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2015.

JÚNIOR, Fernando Peroba. **Modelagem computacional de ventosas de duplo efeito como mecanismo de alívio do Golpe de Aríete**. 2007. 152 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

KIDDE (Org.). **Golpe de Aríete - Perigo potencial e Real**. Vinhedo - SP, 2007. Disponível em: <<http://www.kidde.com.br/Documents/estudo%20golpe%20de%20ariete.pdf>>. Acesso em: 3 fev. 2019.

LOMBARDI, J.C., **Análise de distribuição de pressão em válvulas de diafragma Poroso**, 125 p., Tese (Doutorado Engenharia Mecânica), INPE, São José dos Campos, 2005.

LUIZ, A. Camargo (Brasil). **Um método para dimensionamento de válvulas de alívio**. Disponível em: <http://www.pipesystem.com.br/Artigos_Tecnicos/alivio.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2019.

MACINTYRE, A. J. **Bombas e instalações de bombeamento**. 2 ed. rev. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

MASIERO JUNIOR, Pedro Antonio. **Análise de transientes hidráulicos em uma adutora utilizando o método das características**. 2008. 89 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/124461>>. Acesso em: 3 nov. 2018.

MATTIELLO, Júlia Zucchetti. **Análise de ocorrência de transientes hidráulicos em um sistema de adução de água através do modelo Mike Urban**. 2017. 100 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

MENDES, Luís Filipe Martin. **Métodos Clássicos de Protecção de Sistemas Elevatórios Contra o Golpe de Aríete**. 2011. 119 p. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia do Ambiente, Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, 2011.

MORESCHI, Isabella Cristina. **TRANSIENTE HIDRÁULICO EM SISTEMA ELEVATÓRIO DE ÁGUA BRUTA: ABORDAGEM PARA SITUAÇÃO REAL**. 2018. 124 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2018.

NORONHA, Danilo Vinícius Carlos de. **Sistema de abastecimento de água potável do Campus da UFERSA em Caraúbas**. 2012. 46 p. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Ciências Ambientais e Tecnológicas, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2012. Disponível em:
<<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/270/TCC%20-%20BCT/2012-2/TCC%20Danilo%20Carlos.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

PÁDUA, Valter Lúcio de; SANTOS, Leonardo Augusto dos. **Curso de Capacitação a Distância em Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano**. Brasil: Ministério da Saúde. Disponível em: <
https://ares.unasus.gov.br/acervo/bitstream/handle/ARES/1040/Unidade_4.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 24 jan. 2019.

PINHEIRO, Aldilene Bezerra. **O fenômeno do golpe de aríete**. 2014. 51 p. Monografia (Especialização) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2014. Disponível em:
<<http://www2.ufersa.edu.br/portal/view/uploads/setores/270/TCC%20-%20BCT/2014-1/TCC%20-%20ALDILENE.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2018.

RODRIGUES, Tássio Leal. **Diagnóstico do sistema de abastecimento do município de Riachão do Bacamarte - PB**. 2014. 58 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2014.

ROSA, Henrique Marcio Pereira. **Nova solução para o problema da dissolução de ar em Reservatório Hidropneumático**. 2009. 132 p. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

SANEP, Serviço Autônomo de Saneamento de Pelotas. **Tratamento**. Disponível em:
<<http://server.pelotas.com.br/sanep/tratamento/>>. Acesso em 2 fev. 2019.

SCHIMIDT, Marcos Jorge Assumpção. **Simulação de transiente hidráulico e combinação econômica da adutora para abastecimento público do município de Torrinha - SP**. 2016. 82 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Agronomia, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

SERDAN, Daniela Cristina; SILVA, Marrony Aguiar. **O emprego de válvulas ventosas nas redes de abastecimento de água**. In: XX congresso interno de iniciação científica da UNICAMP, 20., 2012, Campinas: Cnpq, 2012.

SEVILLA, Universidad de. **Régimen variable en tuberías. Golpe de ariete.** Sevilla: Hidráulica y Riegos, 2007. P&B. Disponível em: <http://ocwus.us.es/ingenieria-agroforestal/hidraulica-y-riegos/temario/Tema%203.Golpe%20ariete/tutorial_17.htm>. Acesso em: 25 fev. 2019.

SILVA, Francinaldo de Brito. **O sistema de abastecimento d'água da cidade de Santa Rita - PB.** 2016. 59 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

SILVA, Pedro Alves. **Amortecimento da celeridade de onda em condutos forçados.** 2006. 118 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

SOUZA, Edson Victor de. **Uma Contribuição para o Pré-dimensionamento de Reservatórios Hidropneumáticos para Atenuação de Transitórios Hidráulicos.** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP, 2008. 113p. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia Civil, UNICAMP, 2008.

TASSINARI, Lucas Camargo da Silva. **Transientes hidráulicos em sistemas de bombeamento: influência do material do conduto e dispositivo de proteção.** 2017. 200 p. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

TOMAZ, P. **Golpe de aríete em casas de bombas.** São Paulo: Navegar Editora, 2010. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2010.

USINA HIDRELÉTRICA. Disponível em: <<http://www.mundobordado.no.comunidades.net/usina-hidreletrica>>. Acesso em: 27 fev. 2019.

VIANNA, Marcos Rocha. **Reservatórios hidropneumáticos para a proteção de adutoras por recalque em sistemas de abastecimento de água: estudo de dois casos.** In: ABES - FENASAN, 29., 2017, São Paulo. Nova Lima: Abes, 2017. p. 1 - 8.

VILAS-BOAS, Pedro Ricardo. **Modelação de uma rede de distribuição de água.** Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008. 66 p. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58016/1/000129459.pdf>>. Acesso em: 08 nov. 2018.

ZILIEL, Fernanda Kemel. **Montagem e funcionamento de uma bomba de aríete.** 2017. 70 p. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.