



## I-207 - CORRELAÇÃO ENTRE OS NÍVEIS OPERACIONAIS DO RESERVATÓRIO DE DISTRIBUIÇÃO R1 E AS PRESSÕES NA REDE DISTRIBUIDORA DA ZA 41 DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DA CIDADE DO SALVADOR, BAHIA.

**Sérgio Ricardo dos Santos Silva<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil, UEFS, 2000. Especialista em Construção Civil, FTC, 2006. Mestre em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais no Processo Produtivo – Ênfase em Produção Limpa, UFBA, Universidade Federal da Bahia, 2010. Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade Anhanguera Unime - Salvador. Analista de Saneamento da EMBASA e atualmente ocupa a função de Gerente da Divisão de Operação de Sistemas e Controle de Perdas Reais da Unidade Regional da Bolandeira.

**Antonio Benedito Pereira Neto<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Mecânico, IFBA, 2018. Assistente de Saneamento da EMBASA e atualmente ocupa a função de Supervisor de Distribuição de Água da Divisão de Operação de Sistemas e Controle de Perdas Reais da Unidade Regional da Bolandeira.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Eugênio Sales, nº 50 – Parque Bolandeira – Módulo 15 - Salvador - BA - CEP: 41706-670 - Brasil - Tel: (71) 3373-7621 - e-mail: [sergio.silva@embasa.ba.gov.br](mailto:sergio.silva@embasa.ba.gov.br)

### RESUMO

Pelo aspecto hidráulico, sabe-se que a elevação do nível de água num reservatório acarretará aumento da pressão na tubulação. Contudo, com o uso da modelagem matemática é concretizado verdadeiramente esse conceito físico, reiterado por Galileu Galilei com afirmação: “A matemática é a linguagem da física”. Partindo dessa premissa, a proposta deste trabalho consiste em apresentar os resultados de estudos estatísticos de correlação e regressão linear que reflete sobre a operacionalização dos reservatórios de distribuição buscando atingir níveis de água mais próximo ao seu “limite alto”, correlacionando esse feito com as pressões dinâmicas obtidas nas redes distribuidora das áreas com topografia mais elevadas (“pontos críticos”) nas horas de menor consumo. O estudo foi aplicado na Zona de Abastecimento ZA 41 do SIAA da Região Metropolitana de Salvador que possui áreas acidentadas e é alimentada pelo Reservatório de Distribuição R1. O cálculo estatístico apresentou grau de intensidade forte das interações num determinado período, com base nas medições das pressões registradas pelos equipamentos de telemetria instalados na rede em pontos críticos da ZA 41 correlacionando ao nível de água do reservatório R1. E finalmente, as equações de regressão linear obtidas no estudo, permitem a simulação da provável pressão dinâmica nos pontos críticos escolhidos quando o reservatório R1 atingir um determinado nível de água. Espera-se que o avanço na utilização de modelos matemáticos, como os estudos estatísticos apresentados nesse trabalho, possam contribuir para melhoria operacional dos sistemas públicos de abastecimento de água com a busca do atendimento com qualidade e eficiência para a população.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reservatório de distribuição, rede distribuidora, Nível d’água, Pressão na rede, Telemetria.

### INTRODUÇÃO

Os reservatórios de distribuição constituem em elementos importantes no Sistema de Abastecimento de Água (SAA), que além de regularizar as vazões de consumo, tem a função básica de manter pressões adequadas na respectiva zona piezométrica da área de atuação (TSUTIYA, 2005). Ainda segundo o autor, os reservatórios são delimitados em quatro níveis operacionais, sendo eles: nível mínimo (Limite baixo) para evitar a formação de vórtice; nível máximo (Limite alto) cuja diferença com nível mínimo resulta no volume útil para atender o sistema de abastecimento; nível com mecanismo boia para acionamento do recurso de segurança



(Limite da boia) e nível de extravasamento que ocasiona perda d'água no sistema (Limite de extravasamento).

Contudo, existem situações em que esse equipamento opera com nível pouco acima do “limite baixo”, funcionando simplesmente como “caixa de passagem” no Sistema de Abastecimento, não exercendo sua função de reservar (acumular) água, nem alcançando o nível d'água adequado para obter a pressurização necessária das redes distribuidoras, principalmente nas áreas com cotas topográficas elevadas, denominadas como pontos críticos do sistema. Nessas áreas com cotas mais altas, geralmente ocorrem dificuldades para o abastecimento contínuo de água nas horas de maior consumo, mesmo mantidas a vazão média diária do reservatório de distribuição, por conta das vazões destinadas para as áreas de cotas mais baixas que pelas condições hidráulicas são bem abastecidas. Contudo, nos horários de menor consumo (no período noturno) as pressões dinâmicas nas redes são suficientes para atender estes pontos críticos, permitindo o devido abastecimento para os usuários que possuem reservatório domiciliar.

Pelo aspecto hidráulico, sabe-se que a elevação do nível de água num reservatório acarretará aumento da pressão na tubulação (Teorema de Stevin). Contudo, com o uso da modelagem matemática é concretizado verdadeiramente esse conceito físico, reiterado por Galileu Galilei com afirmação: “A matemática é a linguagem da física”. Partindo dessa premissa, a proposta deste trabalho consiste em apresentar os resultados de estudos estatísticos de correlação e regressão linear que reflete sobre a operacionalização dos reservatórios de distribuição buscando atingir níveis de água mais próximo ao seu “limite alto”, correlacionando esse feito com as pressões dinâmicas obtidas nas redes distribuidora das áreas com topografia mais elevadas (“pontos críticos”) nas horas de menor consumo.

O desenvolvimento desse trabalho contou com o apoio da Empresa Baiana de Águas e Saneamento (EMBASA-BA).

## OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar a correlação entre os níveis máximos diários do Reservatório de distribuição R1 e as pressões dinâmicas nas redes distribuidoras em pontos críticos da ZA (Zona de Abastecimento) 41 do Sistema Integrado de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Salvador, Bahia.

### Objetivos específicos:

- Realizar as interpretações significativas sobre o comportamento simultâneo das variáveis (nível máximo do reservatório x pressão no ponto crítico) analisadas por meio do gráfico de dispersão.
- Obter o grau de relacionamento entre os níveis máximos diários do Reservatório de distribuição R1 e as pressões dinâmicas nas redes distribuidoras da ZA 41.
- Determinar a equação de regressão linear simples que melhor se ajuste aos dados amostrais do Reservatório de distribuição R1 e pontos de telemetria UMB 022, UMB 023 e UMB 088.

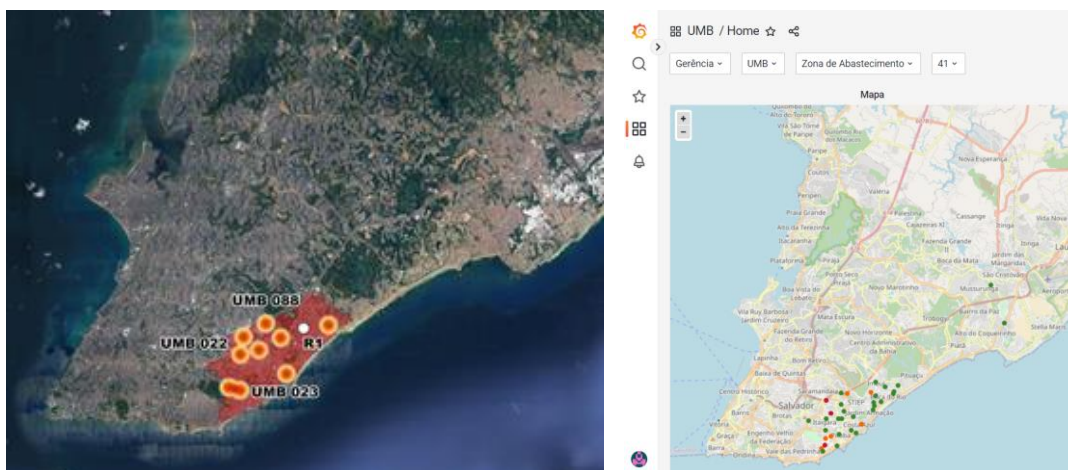
## METODOLOGIA

A proposta deste trabalho foi aplicada na a ZA 41 do Sistema Integrados de Abastecimento de Água da Região Metropolitana de Salvador que é abastecida pelo Parque de Reservação R1 ( $N.A._{mín} = 57,8$  m e  $N.A._{máx} = 68,8$  m) localizado na Estrada do Curralinho, bairro Boca do Rio em Salvador.

Este Setor abrange os bairros: Imbui, Pituba, Costa Azul, Jardim Armação, Itagira (parte), Caminho das Arvores (parte), Nordeste de Amaralina (parte) e Boca do Rio (parte) que totaliza 22.625 ligações de água

ativas e 92.106 economias ativas (dezembro 2023) caracterizadas com perfil socioeconômico, em maioria de classe média alta.

Conforme mapa mostrado na Figura 1, a ZA 41 está situada a sudeste da cidade do Salvador, (hachurada em vermelho, sendo destacadas as áreas com cotas mais elevadas) e ao lado é apresentada uma imagem da interface do Sistema de Telemetria e gerenciamento remoto do SAA de Salvador com filtro na ZA 41 onde existem 33 postos que transmitem dados da pressão do local que está instalado o equipamento de medição. Entre esses, foram selecionados para os estudos três pontos de telemetria, denominados: UMB 022; UMB 023 e UMB 088.



**Figura 1: Mapa de Salvador com a ZA 41 e ao lado a interface do Sistema de monitoramento remoto somente com os pontos de Telemetria da ZA 41 do SIAA de Salvador.**

Fontes: QGis com Google Satélites / Grafana Dashboard Monitoring: <https://embasa3.ativasolucoes.com.br/>

A ZA 41 possui um dos maiores volumes faturados de água no SAA de Salvador, por conta dos vários edifícios empresariais e residenciais de alto padrão, parques, hospitais, estabelecimentos comerciais dos mais variados segmentos, instituições educacionais, Centro de Convenções e principais shoppings da cidade. A Figura 2 mostra imagem de uma área do bairro Pituba e circundado em linha vermelha a Alameda Carrara, onde está instalado o medidor do Ponto de Telemetria UMB 023, com cota 33 m.



**Figura 2: Alameda Carrara – Pituba – Salvador (Local do Ponto telemetria UMB 023)**

Fonte: <https://earth.google.com/web/search/Alameda+Carrara++Pituba,+Salvador>



Já o Ponto de Telemetria UMB 022 está instalado na rua do Ébano - Caminho das Árvores, com cota 48 m e o Ponto de telemetria UMB 088 está instalado na avenida Tancredo Neves, bairro Caminho das Árvores em frente ao Hospital de Reabilitação Sarah Salvador, com cota 46 m.

A metodologia consiste inicialmente no emprego do estudo estatístico de Correlação para determinar (mensurar) o grau de relacionamento entre o nível máximo do R1 e a pressão dinâmica registrada nos equipamentos de telemetria (UMB 022, UMB 023 e UMB 088) obtidos no período de 01/10/2023 até 15/12/2023.

Os níveis máximos diários do Reservatório R1 foram obtidos na Plataforma digital de Informações das Plantas de Processos (PIPPE) que auxilia o Centro de Controle Operacional (CCO) da Unidade Regional da Bolandeira da Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA.

A medida do grau de relacionamento entre o nível máximo do R-01 e as pressões dinâmicas obtidas nos pontos UMB 022, UMB 023 e UMB 088, respectivamente, é dada pelo Coeficiente de Correlação Linear de Pearson (valor de “r”), definido por:

$$r = (n \cdot \sum(x_i \cdot y_i) - \sum x_i \cdot \sum y_i) / ((\sqrt{n \cdot \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2}) \cdot (\sqrt{n \cdot \sum y_i^2 - (\sum y_i)^2})) \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

r = Coeficiente de Pearson.

$x_i$  = Valor do nível máximo do reservatório num determinado dia (variável independente)

$y_i$  = Valor da pressão dinâmica no ponto crítico no mesmo dia (variável dependente)

n = número da amostra

A Tabela 1 apresenta os parâmetros para a avaliação qualitativamente referente à intensidade da associação linear entre essas duas variáveis:

**Tabela 1 – Parâmetros de avaliação qualitativa do coeficiente de Pearson**

AVALIAÇÃO QUALITATIVA	VALORES DO COEF. PEARSON (r)
Correlação bem fraca	0,00 e 0,19
Correlação fraca	0,20 e 0,39
Correlação moderada	0,40 e 0,69
Correlação forte	0,70 e 0,89
Correlação muito forte	0,90 e 1,00

Fonte: Moreira, *et al*, 2021.

Ao final, é determinada a função matemática que exprima o relacionamento entre o nível máximo do Reservatório R1e as pressões dinâmicas obtidas nos pontos de telemetria UMB 022, UMB 023 e UMB 088 por meio da equação de regressão linear, dada abaixo:

$$\hat{Y}_i = a + b \cdot X_i \quad \text{equação (2)}$$

Onde:

$\hat{Y}_i$  = o valor da previsão de Y para estimar a pressão no ponto crítico;

$X_i$  = o valor de X para a indicação do nível do reservatório;

a e b são parâmetros

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 3, 4 e 5 mostram os gráficos que representam os diagramas de dispersão num sistema cartesiano com o conjunto de valores dos níveis máximo do R1 e as respectivas pressões no Ponto de Telemetria UMB 022, UMB 023 e UMB 088.

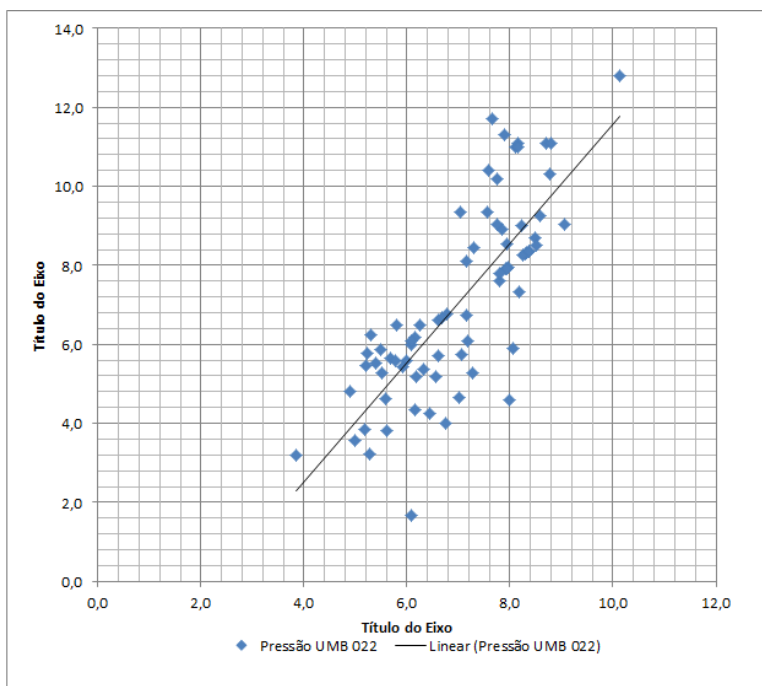


Figura 3 – Diagrama de dispersão da correlação do Nível do R1 X Pressão UMB 022.

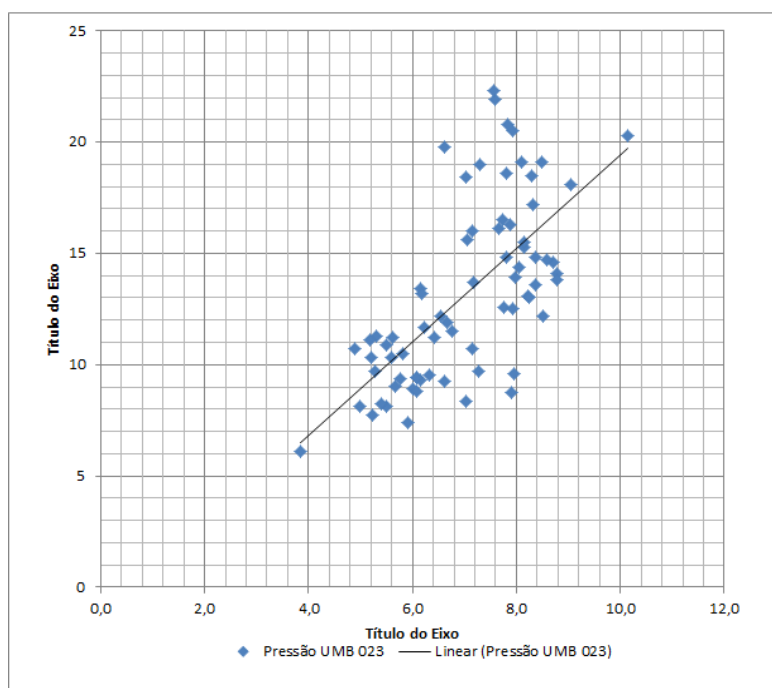
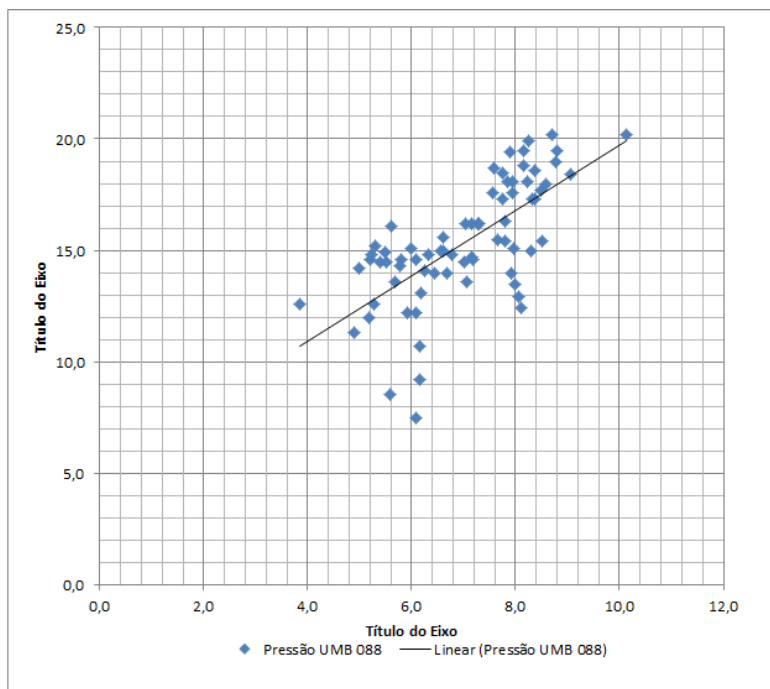


Figura 4 – Diagrama de dispersão da correlação do Nível do R1 X Pressão UMB 023.



**Figura 5 – Diagrama de dispersão da correlação do Nível do R1 X Pressão UMB 088.**

É possível observar que nos gráficos apresentados existem a correlação direta (positiva) entre as grandezas hidráulicas, de forma que se aumentarmos o nível do reservatório, também aumentará a pressão nos pontos críticos estudados.

A Tabela 2 apresenta os resultados das parcelas da Equação de correlação linear de Pearson dos pontos de telemetria UMB 022, UMB 023 e UMB 088.

**Tabela 2 – Resultados das parcelas da Equação de correlação linear de Pearson**

CÁLCULO	UMB 022	UMB 023	UMB 088
<b>n</b>	76	76	76
$\sum x_i$	540,43	505,49	505,49
$\sum y_i$	525,90	947,69	1.105,71
$\sum x_i \cdot y_i$	3.872,06	6.892,20	7.928,68
$\sum x_i^2$	3.775,24	3.662,63	3.662,64
$\sum y_i^2$	4.155,47	13.610,75	17.502,23
<b>r</b>	<b>0,82</b>	<b>0,80</b>	<b>0,88</b>

Para o cálculo do Coeficiente de correlação linear de Pearson, com conjunto de dados de níveis máximos ( $x_i$ ) do R1 e pressões dinâmicas ( $y_i$ ) do ponto UMB 022 resultou no **r** igual a 0,82, do ponto UMB 023 resultou no **r** igual a 0,80 e do ponto UMB 088 resultou no **r** igual a 0,88, que indica qualitativamente uma **correlação forte** nos três pontos de telemetria estudados.

A Equação da função dada pelo método matemático de regressão linear para simulação da provável pressão dinâmica no ponto UMB 022 quando o reservatório atingir um determinado nível de água no Reservatório R1, é dada por:

$$Y = 0,90 + 0,87 X$$

equação (3)



A Equação da função dada pelo método matemático de regressão linear para simulação da provável pressão dinâmica no ponto UMB 023 quando o reservatório atingir um determinado nível de água no Reservatório R1, é dada por:

$$Y = 11,35 + 0,17 X \quad \text{equação (4)}$$

E a Equação da função dada pelo método matemático de regressão linear para simulação da provável pressão dinâmica no ponto UMB 088 quando o reservatório atingir um determinado nível de água no R-01, é dada por:

$$Y = 13,5 + 0,13 X \quad \text{equação (5)}$$

Utilizando a equação acima, se considerarmos num dia futuro qualquer, que o R1 alcance o nível máximo (X) de 5,0 m, a pressão dinâmica (Y) no ponto de telemetria UMB 088 é estimada em 14,34 m.c.a.

## ANÁLISE DOS RESULTADOS

Observa-se a comprovação de uma forte correlação entre o nível de reservatório e pressão na rede com base nos estudo estatístico apresentados nesse trabalho, que reforça o entendimento de que operar reservatórios de distribuição de um Sistema de Abastecimento de água com baixa carga, ou como caixa de passagem, principalmente para abastecer regiões com topográfica acidentada, causa dificuldades no fornecimento de água para os pontos de cotas mais elevadas.

A recomendação é adotar ações operacionais a montante e a jusante do reservatório de distribuição para elevar o nível de água desses equipamentos nos horários de menor consumo (no período noturno), fazendo com que as pressões nas redes sejam suficientes para atender os pontos críticos, permitindo o devido abastecimento para o usuário que possui reservatório domiciliar.

As equações pelo método matemático de regressão linear permite simular a pressão dinâmica provável nos Pontos de Telemetria estudados correspondente a um determinado nível operacional do R1. Desta forma, os valores de nível encontrados pelas equações de regressão linear podem ser utilizados como referência na tomadas de decisão para operacionalização do Sistema de Reservação R1 de forma a melhorar o fornecimento de água nos pontos críticos de abastecimento da ZA 41.

## CONCLUSÃO

É de conhecimento, com base nos princípios e Leis Dinâmicas da Física que nos sistemas hidráulicos o nível do reservatório interage diretamente nas pressões das tubulações, porém o modelo matemático apresentado nesse trabalho ratifica esse conceito com a confiabilidade dos cálculos estatísticos e determina o grau da intensidade dessa interação (se é fraca ou forte), permitindo simular com base nas medições registradas pelos equipamentos de controle hidráulico de nível de água e pressão na rede, num determinado período, qual a provável pressão dinâmica no ponto crítico de abastecimento quando o reservatório atingir um determinado nível de água.

Espera-se que o avanço na utilização de modelos matemáticos, como os estudos estatísticos apresentados nesse trabalho, possam conduzir na melhoria operacional dos sistemas públicos de abastecimento de água com a busca do atendimento com qualidade e eficiência para a população.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à Empresa Baiana de Águas e Saneamento – EMBASA pelo apoio e fornecimento dos dados utilizados nesta pesquisa.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.217 - Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro. Julho, 1994.
2. BRUNELLI JÚNIOR. J, SOUZA J. C. R., REZENDE. S. O. A Contribuição da Telemedição em Empresas de Saneamento na Preservação dos Recursos Hídricos. 2º Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, Bento Gonçalves – Rio Grande do Sul, Abril, 2010
3. GONÇALVES, E; LIMA, C. V. Controle de Pressões e Operação de Válvulas Reguladoras de Pressão. Guia Prático: técnicas de Operação em sistemas de abastecimento de água. Volume 4, 2007.
4. LAPPONI, Juan Carlos. Estatística usando Excel. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.476p.
5. LIMA FILHO. L. M. A. Correlação e Regressão. Departamento de Estatística. UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. Obtido no site: <http://www.de.ufpb.br/~luiz/AED/Aula9.pdf>
6. LOPES. E. J. B. Gestão de Pressões em Redes de Distribuição de Água – Caso de Santa Maria da Feira. Dissertação (Mestre em Engenharia e Gestão da Água) Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, Portugal, 2013.
7. MOREIRA. T. J. R. V. SANTOS. M. R., MOREIRA A. L. Estatística básica para cursos de graduação – EdUESPI, Teresina. Piauí 2021.
8. PORTO, R. M., Hidráulica Básica – 4ª edição –Escola Politécnica de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, 2006. 540p
9. TSUTIYA, M. T., Abastecimento de Água – 2ª edição – São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2005. 643p.