



## **Análise e simulação da influência da precipitação pluviométrica no sistema de produção de água de Belém-PA (complexo Bolonha) com o uso do EPANET**

Marlos Henrique Pires Nogueira<sup>1</sup>, Marco Valério Albuquerque Vinagre<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Especialista em Saneamento Básico e Engenharia Ambiental, Faculdade Estácio de Sá, [paulista2000@yahoo.com.br](mailto:paulista2000@yahoo.com.br)

**Resumo** - Este trabalho realizou simulações utilizando o software livre EPANET 2.0, na rede de produção de água do complexo Bolonha para investigar os métodos operacionais na produção de água em relação à sazonalidade da precipitação de chuva na região metropolitana de Belém-PA. Foram realizadas 12 simulações. Os dados de entrada foram obtidos através coleta de informações na Companhia de Saneamento do Pará. Para a quantificação da precipitação e da evaporação recorreu-se ao site do INMET. A vazão da chuva foi aferida pela precipitação nas áreas dos lagos integrantes do sistema de produção de água da área em estudo. Como resultado verificou-se que a precipitação teve grande influência na produção de água. Comparando a operação, com e sem, a influência da precipitação da chuva, chegou-se ao índice de 4,45% de economia anual em energia elétrica.

**Palavras-chave:** EPANET. Precipitação. Energia elétrica.

**Abstract** - This work carried out simulations using EPANET 2.0 free software in the water production network of the Bologna complex to investigate the operational methods in water production in relation to seasonal rainfall in the metropolitan region of Belém-PA. Twelve simulations were performed. The input data were obtained by collecting information from the Sanitation Company of Pará. For the quantification of precipitation and evaporation, the INMET website was used. Rainfall was measured by precipitation in the areas of the lakes that are part of the water production system of the study area. As a result it was found that precipitation had a great influence on water production. Comparing the operation, with and without, the influence of the precipitation of the rain, reached the rate of 4.45% of annual savings in electric energy.

**Keywords:** EPANET. Rainfall. Electric Energy.



## 1. Introdução

A água constitui um elemento essencial à vida, desde a antiguidade o homem necessita de água de qualidade adequada e quantidade suficiente para a sua subsistência, ou seja, a importância de uma rede de abastecimento de água deve ser encarada sob os aspectos econômicos e sanitários (NETTO *et al.*, 1987).

As águas naturais se destinam a vários fins, como abastecimento para populações, fins industriais, produção de energia, navegação e fins agropecuários, o que torna necessário um planejamento da utilização dos recursos hídricos de uma região, de modo a atender as mais variadas finalidades (NETTO *et al.*, 1987). É necessário que nos projetos de sistemas de abastecimento de água levem-se em consideração as diversas modalidades de uso da água, para garantir a qualidade e quantidade adequadas para o abastecimento, sem que haja danos de contaminação e esgotamento dos mananciais.

O sistema de produção de água permite tratar, armazenar e distribuir a água para atender às variações de consumo da população. Esse sistema de produção de água é formado por mananciais, adução, tratamento, reservatório e rede de distribuição (TSUTIYA, 2006). A escolha do melhor lugar para se fazer a captação de água em um projeto deve levar em conta as condições sanitárias e as verificações de vazão que atendam a demanda necessária para o abastecimento. Além disso, deve-se levar em consideração a previsão de crescimento da população atendida e a capacidade ou não de o manancial satisfazer este consumo (TSUTIYA, 2006).

Segundo Tsutiya (2006), o sistema de produção de água é projetado para servir, por certo espaço de tempo, determinado período de projeto. Para se ter um projeto conciso deve-se ter como base: população atual; número de anos durante os quais vai servir o projeto (período de projeto); taxa de crescimento populacional; consumo per capita; variação diária de consumo; número de horas de funcionamento do sistema.

Nas grandes cidades, com o aumento populacional e a conseqüente expansão dos sistemas de distribuição de água, houve um considerável aumento no custo de distribuição, que se reflete nos gastos com energia de bombeamento. Por isso, busca-se cada vez mais soluções em projetos que possibilitem o dimensionamento e a operação de sistemas de bombeamento economicamente mais viáveis.

Atualmente existem vários softwares que auxiliam nos projetos de sistemas produção de água e distribuição. Um deles é o programa desenvolvido pela U. S. *Environmental Protection Agency* (USEPA), denominado EPANET. Esse Software é um simulador de sistemas de abastecimento de água amplamente testado e credível no meio acadêmico (HELLER *et al.*, 2010). Ele pode ser utilizado para controle automático de pressão em sistemas de distribuição de água, diagnóstico energético de sistemas de distribuição de água, dentre outras aplicações.

Neste trabalho utilizou-se o EPANET para simular o sistema de produção de água do complexo Bolonha, localizado dentro dos limites do parque do Utinga, na cidade de Belém do Pará, onde foram executadas as simulações estáticas e dinâmicas do comportamento hidráulico da rede de produção até sua distribuição nas Estações Elevatórias de Água Tratada - EAT, além de verificação da influência sazonal da precipitação da chuva na produção de água, consumo e custo com energia elétrica para comparar as simulações computacionais com os meses do ano de 2014.



## 2. Materiais e métodos

O presente trabalho teve caráter de pesquisa aplicada, uma vez que objetivou gerar conhecimentos para aplicação prática e dirigidos à solução de problemas específicos. Quanto à forma de abordagem do problema é considerado como qualitativo e quantitativo. Envolve levantamento bibliográfico e informações coletadas através de pesquisa de campo, onde os sujeitos entrevistados foram os profissionais da área de produção de água (engenheiros, técnicos de saneamento e operadores da estação de tratamento de água). Foram analisados exemplos que estimulassem a compreensão e determinação dos fenômenos relacionados com a hidrologia e a hidráulica. Assume, portanto, as formas de pesquisas bibliográficas e estudos de caso.

O Trabalho foi estruturado em duas etapas, primeiramente foi realizada uma pesquisa bibliográfica para que os principais conceitos dentro do tema proposto fossem definidos. Para isso foram utilizadas fontes de pesquisa como: Google acadêmico, portal CAPES, periódicos *Qualis e Scielo*. Através destas fontes foram selecionados, manuais, teses, artigos científicos e livros que possibilitaram a explanação do tema. Na segunda etapa do trabalho foi realizada a pesquisa aplicada, onde foi possível aplicar as teorias existentes no ramo da hidráulica, utilizando o recurso computacional denominado EPANET 2.0 e verificar seus resultados.

### 2.1 Área em estudo

O complexo Bolonha está localizado dentro dos limites da Área de Proteção Ambiental do parque do Utinga (APA- Belém) nas coordenadas: longitude 48° 23' 11.11" OE e latitude 1° 26' 01. 94" S.

De acordo com Matos *et al.*, (2013) a COSANPA ocupa uma área de 3,6 hectares (0,25% da área total do parque do Utinga), onde através dessas instalações gerencia os recursos hídricos existentes nos lagos Bolonha e Água Preta. Distribuindo água tratada para 19 setores que recebem a água oriunda dos mananciais do parque do Utinga, distribuídos na zona central e expansão (BECHUATE, 2014). Dentro dos 3,6 hectares que a COSANPA ocupa no parque do Utinga, encontram-se as instalações do complexo Bolonha, que é constituído pelas seguintes unidades, conforme ilustrado na Figura 1: mananciais (rio Guamá e lagos Água Preta e Bolonha); Estações Elevatórias – EAB Guamá, EAB Bolonha e EAT – Bolonha (sendo duas de água bruta e uma de água tratada); Estação de Tratamento de Água – ETA Bolonha; adutoras de água bruta e água tratada; canal de ligação – canal do YUNA.

De acordo com Bechuate (2014) 70% da população da Região Metropolitana de Belém (RMB) são abastecidas com a água proveniente desses mananciais, já os outros 30% da população são abastecidos por poços subterrâneos denominados sistemas isolados.

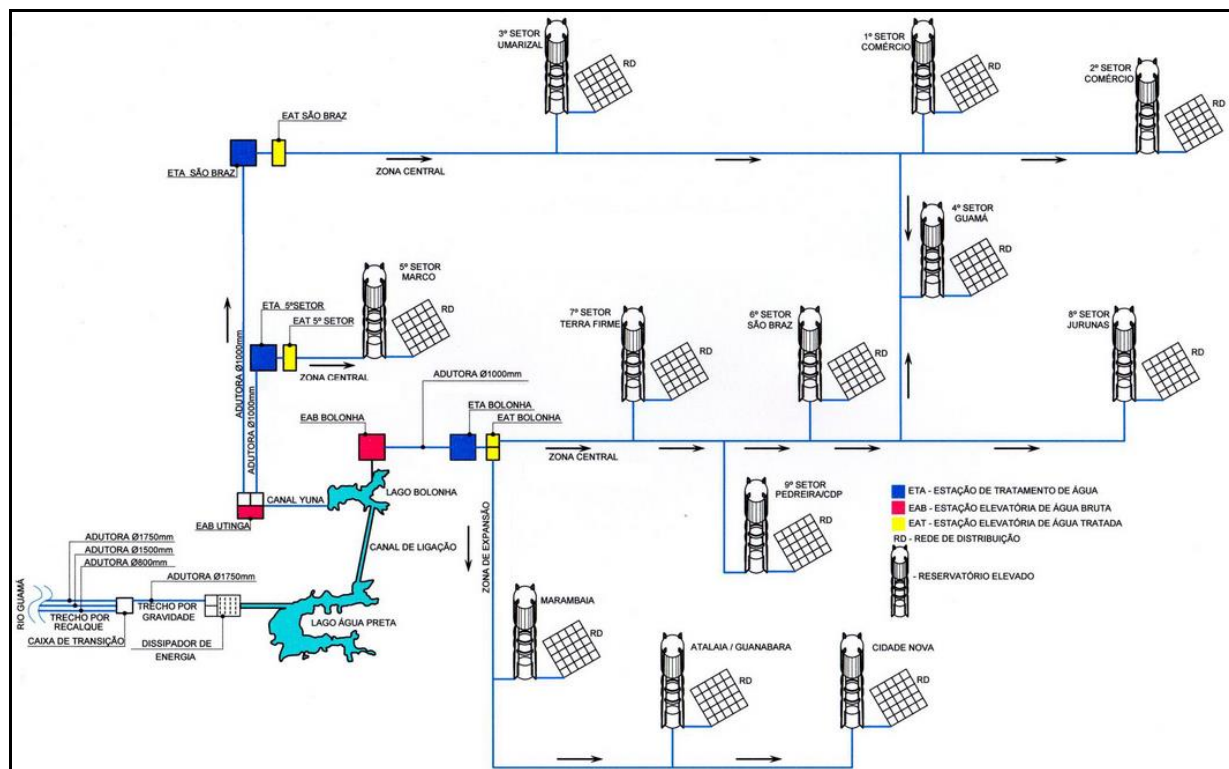


Figura 1. Área de estudo em setores de distribuição (Cosanpa, 2015)

## 2.2 Dados e informações obtidas para a simulação

A coleta dos dados se deu através de mapas, plano diretor do sistema de abastecimento de água da RMB, do plano municipal de saneamento básico de Belém – PA e por meio de visita a campo. Os dados coletados foram organizados de forma a fornecer informações sobre cada uma das variáveis estudadas como está demonstrado nas Tabelas de 1 a 9.

A Simulação através do EPANET permitiu representar cada item de um sistema de produção de água como sendo um conjunto de trechos ligados a nós. Os trechos representam as tubulações, bombas e válvulas de controle e os nós representam pontos de consumo, junções, reservatórios de nível fixo (RNF) e reservatórios de nível variado (RNV).

Tabela 1. Dados das EAB – Guamá e Bolonha

Estação Elevatória de Água Bruta - Guamá				Estação Elevatória de Água Bruta - Bolonha			
Modelo (Toshiba)	Pressão (mca)	Vazão (l.s <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	Potência (cv)	Modelo (Toshiba)	Pressão (mca)	Vazão (l.s <sup>-1</sup> ) <sup>1</sup>	Potência (cv)
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400
24 QL 19A	24	1500	550	24 QL 19C	26	930,6	400



Tabela 2. Dados das EAT – Bolonha – Zona Central e Expansão

Estação Elevatória de Água Tratada -Bolonha - Zona Central				Estação Elevatória de Água Tratada -Bolonha - Zona Expansão			
Modelo (Toshiba)	Pressão (mca)	Vazão (l.s <sup>-1</sup> )	Potência (cv)	Modelo (Toshiba)	Pressão (mca)	Vazão (l.s <sup>-1</sup> )	Potência (cv)
16LN-18	12,7	893	300	10LR-15A	47,3	322	250
16LN-18	12,7	893	300	10LR-15A	47,3	322	250
16LN-18	12,7	893	300	10LR-15A	47,3	322	250
16LN-18	12,7	893	300	10LR-15A	47,3	322	250
16LN-18	12,7	893	300	10LR-15A	47,3	322	250
16LN-18	12,7	893	300	10LR-15A	47,3	322	250
16LN-18	12,7	893	300	10LR-15A	47,3	322	250
16LN-18	12,7	893	300	10LR-15A	47,3	322	250

Tabela 3. Dados dos Lagos Água Preta e Bolonha

	Manancial Água Preta	Manancial Bolonha
Volume (m <sup>3</sup> )	10.000.000	2.000.000
Diâmetro (m)	1224,2094	590,7704
Cota do Terreno (m)	8,0	6,7
Lâmina inicial (m)	8,0	7,0
Lâmina mínima (m)	6,0	6,0
Lâmina máxima (m)	8,5	7,3

Tabela 4. Dados do Canal Yuna

Canal	Yuna
Material	Concreto
Base (m)	3
Talude (m)	1 x 1,5
Extensão (m)	1052
Vazão Inicial (l.s <sup>-1</sup> )	6746

Tabela 5. Dados das adutoras da EAB – Guamá

Adutoras da EAB-Guamá				
1º Etapa	Diâmetro (mm)	Material	Coefficiente	Extensão (m)
Adutora nº 1	1750	Aço	140	2300
Adutora nº 2	1500	Aço	140	2300
Adutora nº 3	800	Concreto	120	2300
2º Etapa	Diâmetro (mm)	Material	Coefficiente	Extensão (m)
Adutora nº 4	1500	Aço	140	430
Adutora nº 5	1500	Aço	140	430

**Tabela 6. Dados da adutora da EAB – Bolonha**

Adutoras da EAB-Bolonha				
1º Etapa	Diâmetro (mm)	Material	Coefficiente	Extensão (m)
Adutora nº 1	1750	Aço	140	400

**Tabela 7. Dados da comporta do Canal do Yuna**

Válvula do canal do Yuna	
Válvula	Vazão máxima do projeto (l.s <sup>-1</sup> )
FCV (Válvula Reguladora de Vazão)	13000

**Tabela 8. Dados da Cisterna**

Cisterna - Água Tratada	Bolonha
Volume (m <sup>3</sup> )	10.000
Diâmetro (m)	68, 6884
Cota do Terreno (m)	16,54
Lâmina Inicial (m)	2,63
Lâmina Mínima (m)	1,80
Lâmina Máxima (m)	2,90

**Tabela 9. Dados da ETA – Bolonha**

Tipo de Tubulação	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Rugosidade (C)
Lateral	100	1750	140
Ligação com o filtro (nó)	20	700	140
<b>Média de Produção da ETA (l.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>8000 - (100%)</b>		
<b>Média em perdas na produção (l.s<sup>-1</sup>)</b>	<b>156 - (2%)</b>		

Adicionalmente aos componentes físicos dos sistemas, o EPANET permitiu definir três categorias de informação sobre a rede: curvas (da bomba, de rendimento, de volume e de perda de carga); padrões (de variação do consumo, de funcionamento de bombas, preço de energia e etc.); controles (que descrevem o comportamento e os aspectos operacionais do sistema de distribuição de água).

Além disso, o EPANET possui os controles operacionais que se dividem em duas categorias: **controle simples e controle programado**. Esses controles são um conjunto de instruções que estabelecem o modo como a rede opera ao longo do tempo, especificam o estado dos trechos selecionados em função do tempo, alturas de água num reservatório de nível variado e valores de pressão em pontos específicos da rede. Após os dados serem inseridos e as simulações serem realizadas, o programa gera dados de saída como, por exemplo: pressões em cada nó, vazão em cada trecho e etc.

### 2.2.1 Cálculo da precipitação na área em estudo

Para a determinação da quantidade de chuva precipitada na área em estudo recorreu-se ao site do INMET, onde foram coletados os dados da precipitação e evaporação mensal do ano de 2014, como pode ser observado na Tabela 10. Neste estudo foram consideradas somente as áreas dos lagos, Água Preta e Bolonha, para o cálculo da precipitação e evaporação anual.



Tabela 10. Dados da Precipitação do ano de 2014

Balço Hídrico do Ano de 2014			
Mês	Precipitação Total (mm)	Evaporação Total (mm)	Precipitação Efetiva (mm)
Janeiro	403,9	147,1	256,8
Fevereiro	602,7	120,8	481,9
Março	562,7	144,4	418,3
Abril	561,2	137,4	423,8
Mai	333,9	143,5	190,4
Junho	287	144,2	142,8
Julho	242,8	145,3	97,5
Agosto	84,8	133,4	-48,6
Setembro	210,8	145,1	65,7
Outubro	82,2	135,5	-53,3
Novembro	41,3	74,5	-33,2
Dezembro	186,5	159,1	27,4
<b>Total:</b>	<b>3599,8</b>	<b>1630,3</b>	<b>1969,5</b>

Para encontrar o valor real precipitado foi feita a subtração entre a precipitação total e a evaporação total de cada mês, chegando ao valor da precipitação efetiva anual de 2014, que corresponde ao valor de 1969,5 mm.

A realização da simulação no EPANET requer que a vazão seja calculada em litros/segundo ( $\text{l.s}^{-1}$ ), então para achar a vazão nesta unidade de medida, foi realizada a seguinte sequência de cálculo: área do lago multiplicado pela precipitação efetiva de cada mês, já transformada de milímetros para metros (referente à altura de precipitação), logo, encontrou-se o volume de precipitação em metros cúbicos. Com a vazão em  $\text{m}^3/\text{mês}$ , ou seja,  $\text{m}^3/720\text{h}$  transformou-se em litros/segundo. Realizaram-se os cálculos para achar a vazão do lago Água Preta e do lago Bolonha, conforme as Tabelas 11 e 12.

Tabela 11. Volume da Precipitação no Lago Água Preta em 2014

Mês	Área ( $\text{m}^2$ )	Altura da Precipitação em (m)	Volume Precipitado ( $\text{m}^3$ )	Volume Precipitado ( $\text{l.s}^{-1}$ )
Janeiro	7199500	0,2568	1848831	713,28
Fevereiro	7199500	0,4819	3469439	1338,51
Março	7199500	0,4183	3011550	1161,86
Abril	7199500	0,4238	3051148	1177,14
Mai	7199500	0,1904	1370788	528,85
Junho	7199500	0,1428	1028088	396,63
Julho	7199500	0,0975	701951	270,81
Agosto	7199500	-0,0486	-349895	-134,99
Setembro	7199500	0,0657	473007	182,48
Outubro	7199500	-0,0533	-383733	-148,04
Novembro	7199500	-0,0332	-239023	-92,21
Dezembro	7199500	0,0274	197266	76,1
<b>Total:</b>	-	<b>1,9695</b>	<b>14179417</b>	<b>5470,42</b>



Tabela 12. Volume da Precipitação no Lago Bolonha

Volume precipitado no Lago Bolonha em 2014.				
Mês	Área (m <sup>2</sup> )	Altura da Precipitação em (m)	Volume Precipitado (m <sup>3</sup> )	Volume Precipitado (Ls <sup>-1</sup> )
Janeiro	1790000	0,2568	459672	177,34
Fevereiro	1790000	0,4819	862601	332,79
Março	1790000	0,4183	748757	288,87
Abril	1790000	0,4238	758602	292,67
Mai	1790000	0,1904	340816	131,48
Junho	1790000	0,1428	255612	98,61
Julho	1790000	0,0975	174525	67,33
Agosto	1790000	-0,0486	-86994	-33,56
Setembro	1790000	0,0657	117603	45,37
Outubro	1790000	-0,0533	-95407	-36,8
Novembro	1790000	-0,0332	-59428	-22,92
Dezembro	1790000	0,0274	49046	18,92
<b>Total:</b>	-	<b>1,9695</b>	<b>3525405</b>	<b>1360,1</b>

### 2.3 Simulação da rede de abastecimento do complexo Bolonha

As Figuras 2 e 3 ilustram o ambiente de trabalho do EPANET 2.0, onde através da rede de produção de água o programa permitiu-nos visualizar a rede após ser traçada no programa e com ela seus elementos (reservatórios, tubulações, nós, válvulas e bombas).

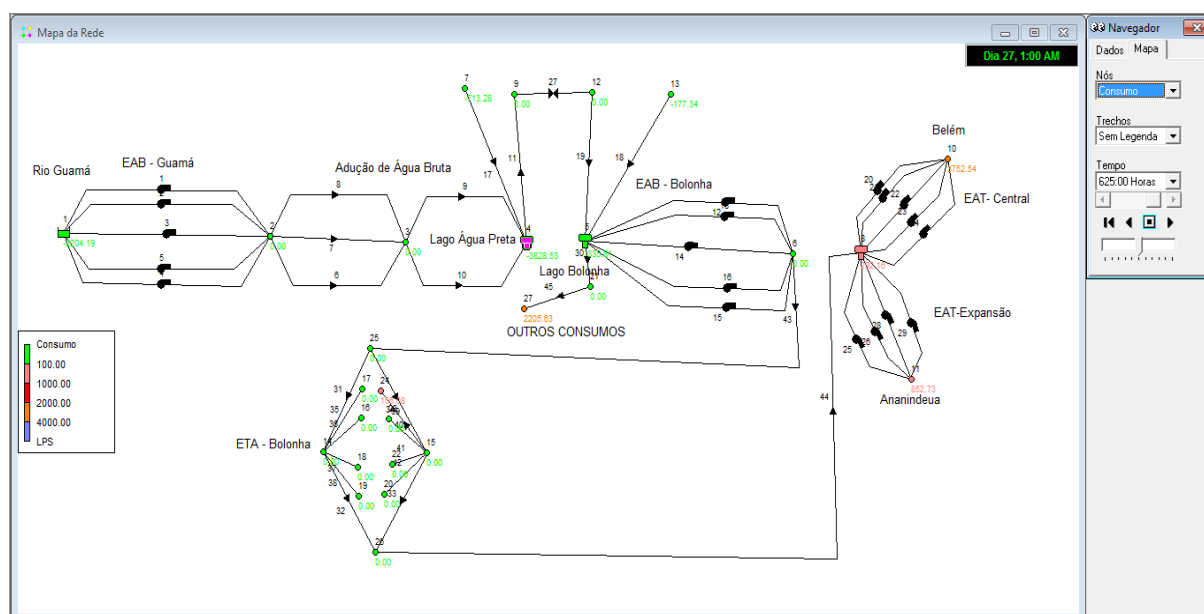
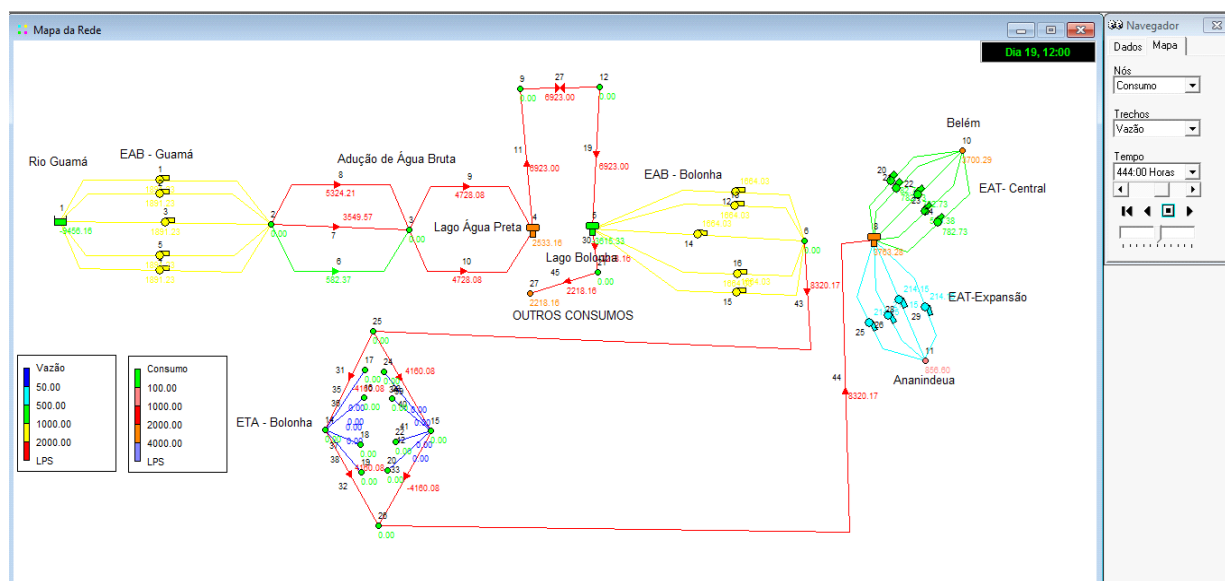


Figura 2. Mapa da rede depois de criados os nós, RNF, RNV, bombas e tubos, com a influência da precipitação anual de 2014 (Cosanpa, 2015)





**Figura 3. Mapa da rede depois de criados os nós, RNF, RNV, bombas e tubos, sem a influência da precipitação anual de 2014 (Cosanpa, 2015)**

No programa, inserindo os dados de entrada, cada elemento vai sendo caracterizado com seus dados referente à cota, ao consumo, aos nós, ao comprimento, ao diâmetro e rugosidade para os tubos de cada trecho, como se pode ver nas Tabelas 13 e 14.

**Tabela 13. Rede de Nós**

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo-Base LPS
NÓ 2	3,48	0
NÓ 3	17	0
NÓ 6	10	0
NÓ 10	6	3732,76
NÓ 11	26	860,56
NÓ 9	8	0
NÓ 12	8	0
NÓ 14	16,54	0
NÓ 15	16,54	0
NÓ 16	16,54	156,08
NÓ 17	16,54	156,08
NÓ 18	16,54	156,08
NÓ 19	16,54	156,08
NÓ 20	16,54	156,08
NÓ 22	16,54	156,08
NÓ 23	16,54	156,08
NÓ 24	16,54	156,08
NÓ 25	16,54	0
NÓ 26	16,54	0
NÓ 21	5,2	0

Identificador do Nó	Cota (m)	Consumo-Base LPS
NÓ 27	4,46	3133
NÓ 7	50	-1
NÓ 13	50	-1
RNF 1	1	# N/A
RNV 4	8	# N/A
RNV 5	6,7	# N/A

Tabela 14. Rede de Trechos

Identificador do Trecho	Comprimento (m)	Diâmetro (mm)	Rugosidade Coef. (H-W)	Material
Tubulação 6	2300	800	120	Concreto
Tubulação 7	2300	1500	140	Aço
Tubulação 8	2300	1750	140	Aço
Tubulação 9	430	1500	140	Aço
Tubulação 10	430	1500	140	Aço
Tubulação 11	526	5000	120	Concreto
Tubulação 19	526	8000	120	Concreto
Tubulação 31	100	1750	140	Aço
Tubulação 32	100	1750	140	Aço
Tubulação 33	100	1750	140	Aço
Tubulação 34	100	1750	140	Aço
Tubulação 35	20	700	140	Aço
Tubulação 36	20	700	140	Aço
Tubulação 37	20	700	140	Aço
Tubulação 38	20	700	140	Aço
Tubulação 39	20	700	140	Aço
Tubulação 40	20	700	140	Aço
Tubulação 41	20	700	140	Aço
Tubulação 42	20	700	140	Aço
Tubulação 43	200	1750	140	Aço
Tubulação 44	200	1750	140	Aço
Tubulação 30	188,9	2200	120	Concreto
Tubulação 45	1000	2200	120	Concreto
Tubulação 17	1000	2000	140	Aço
Tubulação 18	1000	2000	140	Aço
Válvula 27	# N/A	5000	# N/A	# N/A
<b>Total:</b>	<b>12960,9</b>	-	-	-

Para a realização da simulação com o programa EPANET foram utilizados 12 cenários hidráulicos referentes aos doze meses do ano de 2014.



Cenário 01 a 12 – sistema de produção de água do complexo Bolonha funcionando com todos os mananciais interligados, com a influência da sazonalidade da chuva e distribuição nas zonas central e expansão. Também foram simulados para efeito de comparação de consumo energético os 12 cenários sem a contribuição da precipitação do ano de 2014.

Para as simulações do consumo padrão, considerou-se como perdas da ETA o volume de água referente à lavagem dos filtros, que é realizada três vezes ao dia, sendo que foram levados em conta os oito filtros que estão em funcionamento na estação, juntamente com o volume dos 12 decantadores, que são lavados a cada quatro meses. O valor encontrado para essa situação foi coletado com um dos engenheiros responsáveis pelo setor, sendo referente a  $156,08 \text{ (l.s}^{-1}\text{)}$ , como demonstrado no item (g) mais adiante.

De acordo com o que foi dito no item 2.2.1 deste trabalho, foi feita a coleta de dados no site do INMET para saber qual o volume de precipitação mensal no ano de 2014. Os valores obtidos foram divididos por 720 horas (referente a quantidade de horas em um mês) e então transformadas para a unidade de l/s para poderem ser inseridas no programa de simulação. Para achar o volume precipitado foi considerada a área dos lagos x a precipitação.

O funcionamento das bombas depende da quantidade de água dos lagos, sendo que estes possuem lâminas mínimas e máximas que indicam o volume do sistema. As bombas são ligadas quando os lagos atingem a lâmina mínima e desligadas quando os mesmos alcançam o lâmina máxima. Portanto, por meio da captação da água da chuva nos períodos de precipitação seria possível aumentar o volume dos lagos e, dessa forma, o acionamento das bombas seria adiado, contribuindo para a economia de energia. Durante as simulações foram consideradas os seguintes passos:

### **Passo 1 - Obtenção e tratamento de dados de entrada e informações do sistema de produção de água do complexo Bolonha**

Neste passo foram definidos dados importantes retirados do plano diretor do sistema de abastecimento de água da RMB, da COSANPA e site do INMET, para dar entrada no programa, e assim realizar as simulações estáticas e dinâmicas.

### **Passo 2 – Simulação hidráulica da produção de água**

Para efetuar a simulação foram consideradas as seguintes observações:

- a) As vazões adotadas para os bombeamentos são de acordo com as especificações de cada bomba (curva de bomba) dos bombeamentos EAB – Guamá, EAB – Bolonha e EAT zona central e zona de expansão para a produção de água, com o intuito de suprir a demanda da RMB;
- b) Foi adotado o mesmo hidrograma de vazão para os todos os 12 cenários;
- c) Para a determinação dos hidrogramas do consumo nos nós da zona central e expansão, outros consumos foram observados, adotou-se a variação de consumo no período de 24 h no sistema real de produção através do Software Telemetrix, desenvolvido pela COSANPA, como se trata de um sistema de produção de água nos referidos nós não houve uma taxa de consumo muito variada, pois a produção de água em cada nó é praticamente constante. Logo após, foram criados os padrões de consumo referentes à EAT-Central, EAT- Expansão e outros consumos (EAB-Utinga);
- d) O canal de ligação do Yuna que faz a ligação entre os dois lagos (Água Preta e Bolonha) trabalha em regime de conduto livre, e como o EPANET só trabalha com sistema em regime de conduto forçado, para projetar o canal no EPANET, fez-se necessário considera-lo como conduto forçado e para chegar o mais perto do real,



foram testadas várias bitolas de tubulação para o canal ficar mais próximo possível da vazão e velocidade original entre os lagos, segundo informações adquiridas na COSANPA;

- e) Como no controle da vazão dos lagos existe uma comporta, no sistema projetado no EPANET foi projetada uma válvula de reguladora de vazão (FCV), com controle simples de acordo com o nível do lago Bolonha.
- f) Também foi contemplado na simulação o controle simples do bombeamento tanto da EAB-Guamá como da EAB-Bolonha, onde quando os reservatórios atingem seu nível máximo de lâmina operacional há parada de bomba e quando atingem seu nível mínimo operacional há o acionamento da bomba;
- g) Foi adotado o consumo nos nós que representam os filtros da ETA-Bolonha, no valor de 156,08 ( $l.s^{-1}$ ), que refere-se ao consumo de água para lavagem dos filtros, decantadores e preparação do produtos químicos utilizados na ETA. Foram criados 08 (oito) padrões de consumo no EPANET 2.0, referentes a cada filtro, vale ressaltar que cada filtro (nó) consome essa vazão 3 vezes ao dia.

É válido lembrar que a ETA-Bolonha possui 16 filtros, mas que somente estão em funcionamento 08 filtros, que vão de 09 a 16.

- h) Na simulação foi considerado o Rio Guamá como um reservatório de nível fixo, com uma cota de 1 m;
- i) Nas simulações foram consideradas as lâminas no término de cada ciclo das 720 h de cada mês e colocadas como lâminas iniciais dos meses seguintes respectivamente, procurando ter uma sequência lógica de volume dos reservatórios;
- j) Foi calculada a quantidade de precipitação de chuva para cada mês nas áreas do lago Água Preta e lago Bolonha durante todo o ano de 2014, onde foram criados seus respectivos padrões de consumo;
- k) Para inserir ao programa a vazão referente à precipitação mensal nos lagos em cada um dos 12 cenários, foram criados dois nós, onde foram inseridos um consumo base com valor negativo (-1), o fato do uso de um consumo negativo, se faz necessário para inclusão da vazão no sistema, logo após foi criado o padrão de consumo com o valor da precipitação mensal para cada simulação. Para determinar a quantidade de precipitação mensal de cada lago, multiplicou-se a altura precipitada em cada mês pela área de cada lago, gerando o volume em  $m^3$ , esse valor de volume representa um vazão em  $m^3.mês^{-1}$ , como o EPANET 2.0 trabalha somente com a vazão representada por litros/segundo, transformou-se todas as vazões encontradas pra  $l.s^{-1}$  de acordo com cada mês;
- l) Foi adotado para o cálculo da tarifa de energia o valor de R\$ 0,1923338 por kWh, neste trabalho não foi considerado para o cálculo de gasto energético as diferenças das tarifas no horário de ponta e fora de ponta.

### 3 Resultados e discussão

Após a realização da simulação estática e dinâmica, partiu-se para a análise dos resultados dos indicadores hidráulicos no decorrer dos meses de 2014, adotou-se uma faixa de 360 horas para cada mês analisado.



Em uma rede de distribuição de água o sistema funciona por conduto forçado, ou seja, a tubulação é completamente cheia pela água, e Segundo a Norma Técnica NBR 12218 (ABNT, 1994), esta pressão pode ter o valor máximo nas tubulações de 500 kPa (50 mca) e a pressão mínima no valor 100 KPa (10 mca), onde estes valores fora desta faixa podem ser aceitos, desde que, justificados técnica e economicamente.

Já no caso do dimensionamento da estação de tratamento de água, existe uma norma que é a NBR 12216 (ABNT, 1992) que estabelece as especificações para projetos de ETA e também a NBR 591 (ABNT, 91) que normaliza as especificações para o dimensionamento de adutoras em regime de livre ou forçado.

Analisando a variação das pressões e cargas hidráulicas nos 12 meses do ano de 2014, verificou-se que todas as pressões analisadas encontram-se de acordo com o que é estabelecido pelas normas vigentes.

Analisando-se a variação das velocidades e perda de carga nos 12 meses do ano de 2014, pôde-se verificar que as perdas de carga de algumas bombas encontravam-se com os valores negativos. Este fato se deu pela elevação de carga produzida pela bomba. E outras com a perda de carga igual a zero, este valor indica que a Bomba estava desligada.

- Os trechos 30 e 45 apresentam uma velocidade de  $0,57 \text{ m.s}^{-1}$ , valor acima do permitido segundo a NBR 591 (ABNT, 91) e os trechos 11 e 19 apresentam uma velocidade de 0,34 e 0,13 respectivamente, o fato do trecho 19 ter uma velocidade abaixo do permitido, é a existência de uma válvula reguladora de vazão, o trecho 11 está com o valor permitido na NBR 591 (ABNT, 91);
- Para os trechos de 06 a 10, os valores estão dentro da Normalidade segundo a NBR 12218 (ABNT, 1994), estando somente os valores abaixo do permitido quando há parada de Bomba nos Bombeamentos;
- As velocidades nos trechos de 31 a 40 estão dentro da normalidade segundo a NBR 12218 (ABNT, 1994), mas o trecho 41 tem a velocidade 0,41 m/s que representa a lavagem do filtro, segundo a NBR 12216 (ABNT, 1992).

Analisando-se as Figuras 4 e 5 de consumo de água da EAT-Central (Nó 10) e EAT-expansão (Nó 11), pode-se verificar que não há uma variação muito significativa nos consumos, mas pôde-se observar que os picos de maior consumo no dia se dão por causa do abastecimento dos setores o qual a estação elevatória de água tratada esta ligada, e que o consumo maior se da na EAT-Central, onde existem mais setores ligados à rede.

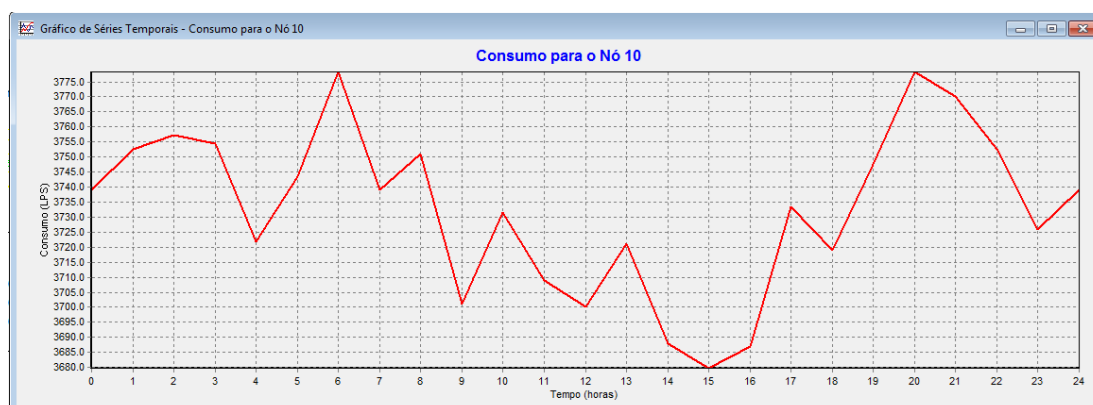


Figura 4. Gráfico Nó 10 (Cosanpa, 2015)



Figura 5. Gráfico Nó 11 (Cosanpa, 2015)

Analisando a Figura 6, correspondente a precipitação anual de 2014 na cidade de Belém, de acordo com o INMET, pode-se verificar que nesse ano as maiores alturas de precipitação em mm (milímetros) foram nos meses de fevereiro (481,9), março (418,3) e abril (423,8) e os de menor agosto (-48,6), outubro (-53,3) e novembro (-33,2).

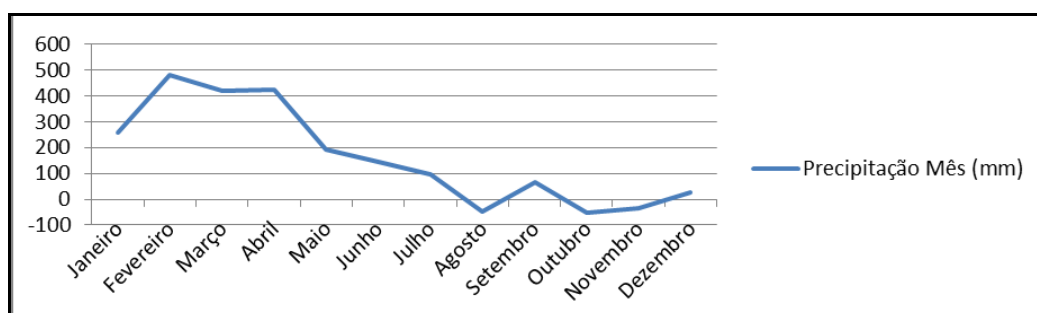


Figura 6. Gráfico da precipitação anual de 2014, em (mm) (Cosanpa, 2015)

Analisando a Figura 7, pode-se verificar que os meses de maior volume se deram nos meses de fevereiro (1338,51l/s), março (1161,86 l/s) e abril (1177,14 l/s) e os meses de menor volume precipitado os meses de agosto (-134,99 l/s), outubro (-148,04 l/s) e novembro (-92,21 l/s). Estes valores negativos representam que nesses meses os valores de evaporação foram maiores que o de precipitação.

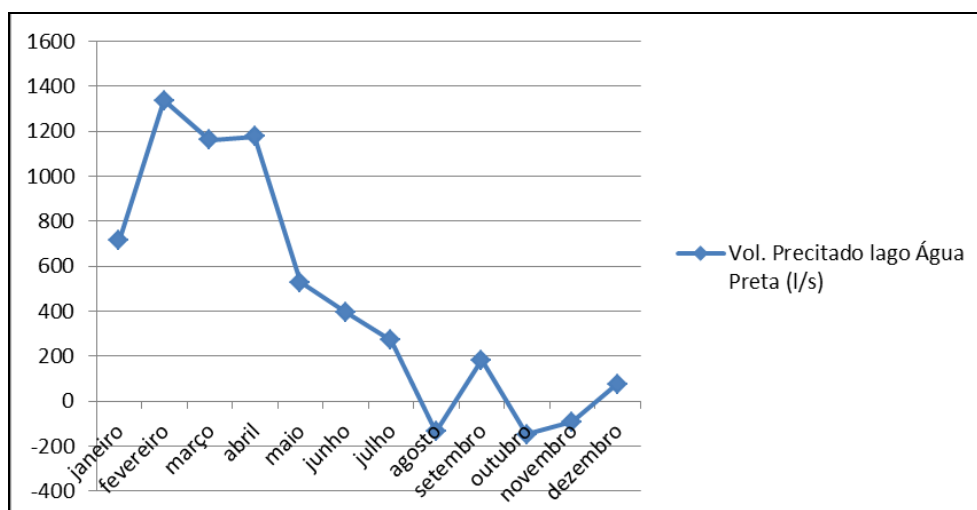


Figura 7. Gráfico do volume precipitado do Lago Água Preta (l/s) (Cosanpa, 2015)

Analisando a Figura 8, verifica-se que os meses de maior volume se deram também nos meses de fevereiro (332,79 l/s), março (288,87 l/s) e abril (292,67 l/s) e os meses de menor volume precipitado foram agosto (-33,56 l/s), outubro (-36,80 l/s) e novembro (-22,92 l/s).

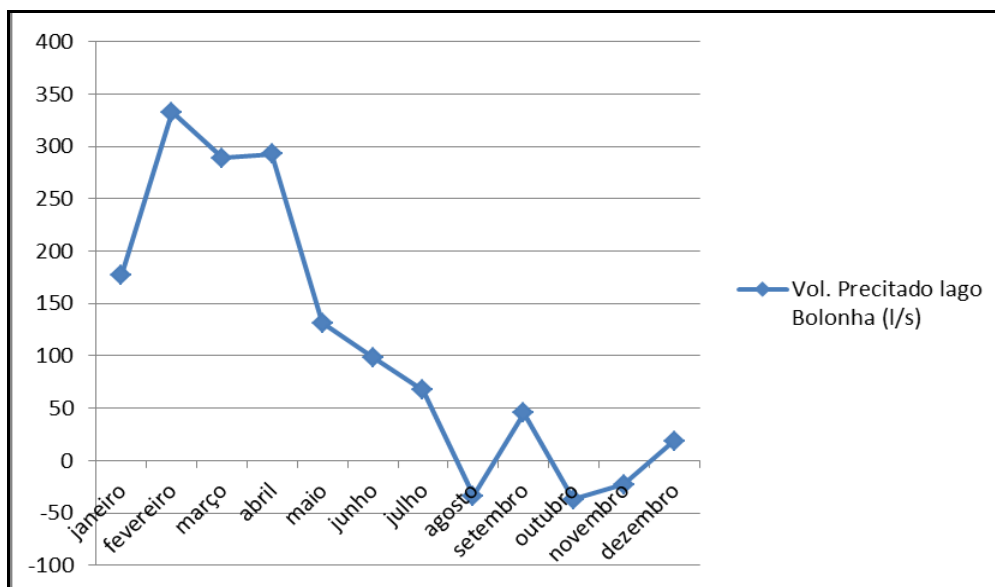


Figura 8. Gráfico do volume precipitado do Lago Bolonha (l/s) (Cosanpa, 2015)

Quanto ao custo com energia elétrica, pode-se fazer à comparação dos valores do custo total de energia em referência a precipitação de cada mês, conforme a Figura 9.

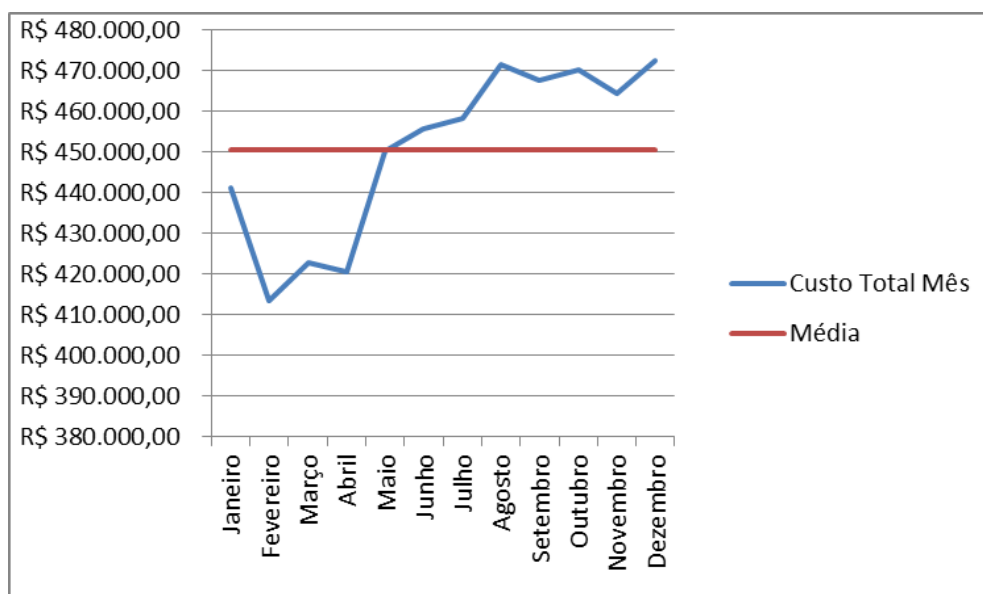


Figura 9. Gráfico do custo de energia em cada mês x média anual de custo de energia(Cosanpa, 2015)

Como pode-se verificar, nos meses onde ocorreu o maior volume de precipitação, também ocorreu um menor valor no custo de energia elétrica, tal fato se dá pelo menor uso do bombeamento nos referidos meses.



Para uma melhor análise da influência da precipitação anual, levando em consideração o custo de energia elétrica, compararam-se as mesmas simulações correspondentes ao ano de 2014, com os valores da simulação sem a precipitação anual. Conforme a Figura 10, no qual é possível observar que a precipitação anual nos lagos que fazem parte do sistema de produção de água do complexo Bolonha no primeiro semestre de 2014 tem uma grande influência na produção e nos custos de energia elétrica da produção, a diferença entre as simulações com a precipitação e sem precipitação corresponde a um valor anual de R\$ 251.763,90, que representa um índice de 4,45% de economia anual com gastos de energia elétrica para a companhia de saneamento. Certamente se for levado em consideração o custo de energia elétrica nos horários de ponta e fora de ponta nos bombeamentos do complexo Bolonha chegar-se-ia a um índice de economia maior e mais eficiente na produção de água.

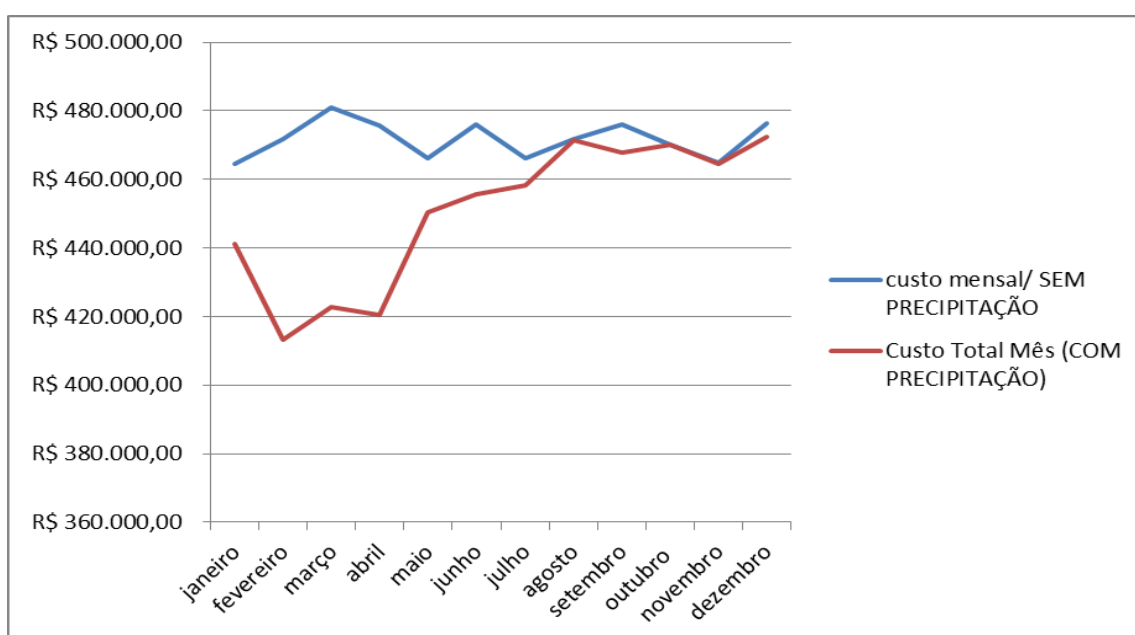


Figura 10. Gráfico do custo mensal - sem precipitação x com precipitação (Cosanpa, 2015)

#### 4 conclusões

Este trabalho buscou analisar as condições hidráulicas e o comportamento da operação perante a influência da precipitação mensal de chuvas durante o ano de 2014, com o intuito de auferir os custos mensais com energia elétrica e o custo anual para produção e distribuição de água na região metropolitana de Belém-PA. Neste sentido foram realizadas simulações com o auxílio do programa EPANET 2.0, comparando valores reais com os dados obtidos das simulações para verificar a influência do volume de precipitação na determinação destes custos.

Quanto aos resultados obtidos nos componentes hidráulicos de produção de Água, verificou-se que em alguns trechos havia uma pressão menor que a exigida pela NBR 12218/94, os motivos para tal fato é que a rede de produção de água trabalha com trechos em regime de condutos abertos, e as pressões na rede são influenciadas pelos níveis dos reservatórios que estão conectados e também pela ocorrência de parada de bombas quando os reservatórios atingem seu nível máximo de volume. As pressões dentro do que estabelece a Norma somente foram encontradas nas saídas dos bombeamentos, o mesmo ocorreu com as velocidades encontradas no sistema.





Verificou-se que na operação de produção de água a hidrologia é um fator problemático, pelo fato das precipitações se comportarem de diversas formas durante o ano, gerando uma consequência de chuvas de grande intensidade ou volume e pela ausência de chuvas em longos períodos de estiagem. A ausência de chuvas por longos períodos reduz as vazões dos lagos Bolonha e Água Preta, gerando uma diminuição dos níveis desses reservatórios, essas reduções geram um aumento no funcionamento das bombas da EAB-Guamá, onde nesses casos chegam a funcionar com até 6 bombas, ou seja, aumentando o custo de consumo de energia, além de danos ao meio ambiente por reduzir a diluição de poluentes.

Já no caso de períodos de grande intensidade de chuva, como no primeiro semestre de 2014 verificou-se a grande influência do ciclo hidrológico no processo de produção de água. Essa influência gerou para a companhia de saneamento do Pará um índice de economia anual com gastos de energia elétrica de 4,45%, que representa o valor de R\$ 251.763,90.

Com base nessas informações, conclui-se que a elaboração e execução de um projeto de produção de água deve-se levar em consideração a preservação de nascentes, vegetação ciliar, conhecimentos hidráulicos, hidrologia e crescimento populacional e que o auxílio de programas computacionais como o EPANET podem ajudar na construção de um projeto bem elaborado com o intuito de planejar e melhorar o desempenho hidráulico, operação diária, situações de cenários futuros e ainda criar medidas que possam reduzir os custos com energia elétrica. Através do estudo da hidrologia pode-se obter uma quantidade de informações preliminares para se iniciar um trabalho de medidas e gerenciamento de custos energéticos atuais e futuros.

## 5 Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216 (1992) "Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público", Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218 (1994) "Projeto de rede de distribuição de água para abastecimento público", Rio de Janeiro.

Bechuate, (2014) "Plano Municipal de Saneamento Básico de Abastecimento de Água e Esgotamento Sanitário de Belém Pará" Belém - PA: Prefeitura Municipal de Belém-PA.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (2015) "Manual de operação", Belém-PA.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (2015) "Controle da lâmina dos lagos", Belém, PA.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (2015) "Planta Altimétrica da Região Metropolitana de Belém", Belém-PA.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (2015) "Relatório de Manutenção Preditiva", Belém-PA.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DO PARÁ (2015) "Relatório de Medições Telemetrix", Belém-PA.

Heller et al., (2010) "Abastecimento de Água para Consumo Humano", 2ª ed., revista e atualizada, Belo Horizonte - MG: UFMG, p.872, volume 2.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (2014) "Balanço Hídrico", [http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO\\_MENSAL\\_201401.pdf](http://www.inmet.gov.br/portal/arq/upload/BOLETIM-AGRO_MENSAL_201401.pdf), Julho.

Matos et al., (2013) "Plano de Manejo do Parque Estadual do Utinga - PA", Belém - PA: Secretaria de Estado de Meio Ambiente – Parque do Utinga.



Netto et al., (1987) "Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água", 2ª ed., São Paulo: CETESB/ASCETESB, p.550.

Tsutiya, M. T. (2006) "Abastecimento de Água", 3ª ed., São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, p. 643