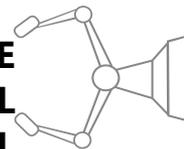


SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE UM SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA EM UMA CIDADE DO SUL DO BRASIL



Egidio Antonio Cancelier Fachin

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
feaccancelier@gmail.com

Leopoldo Pedro Guimarães Filho

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
lpg@unesc.net

Graziele Fernandes da Rocha

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
grazielefernandesdarocha@gmail.com

David Batista Gesuino

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
davidbatista@unesc.net

Valter Blauth Junior

Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
valterblauth@unesc.net

Recebido em: 08/10/2019

Aceito em: 05/11/2019

Resumo: A simulação computacional atualmente é uma das principais ferramentas de análise e acompanhamento de dados reais, em cenários que os utilizam em conjunto à gestão por softwares. O artigo apresenta uma análise do tempo de consumo do sistema de abastecimento de água de uma cidade do sul do Brasil, caracterizando-se como uma área com baixa amplitude de exploração em análise computacional. Partindo do fato que manipular dados de abastecimento de água exige processos criteriosos, o trabalho teve por objetivo agregar soluções a partir da análise do tempo de um Sistema de Abastecimento de Água, praticado por uma empresa de saneamento do extremo sul catarinense. A principal ferramenta utilizada foi o software de

simulação *FlexSim*[®]™, na qual foram simulados dados baseados nas coletas referentes às reservas e distribuição do sistema. Desta forma, foi imprescindível verificar e tratar os valores coletados e adaptá-los para serem inseridos em cenários que fizessem a relação entre problemas reais, como a falta de água, possíveis manobras para garantir o consumo por mais tempo e ainda a necessidade do tempo de operação de estações para a sustentabilidade do sistema. Com os resultados deste trabalho, foram encontrados valores de vazões com ênfase no tempo, manobras para a sustentação do abastecimento, além do tempo necessário de operação para suprir consumos. Realizou-se pôr fim a avaliação do uso do software de simulação, ampliando a gerência de operação e infraestrutura, bem como a qualidade de distribuição perante situações atípicas, perpetuando o consumo de água.

Palavras-chave: Consumo, Simulação computacional, Sistema de abastecimento de água, *FlexSim*[®], Qualidade de distribuição.

Abstract: *The computer simulation currently is one of the main tools of analysis and monitoring of actual data, in scenarios that use the management software in parallel. The article presents an analysis of the time of consumption of water supply system in southern city in Brazil, characterized by an incipient computational analysis area of study. Allowing for the fact that manipulate water consumption data requires rigorous processes, this work aimed develop solutions based on an analysis of the time of consumption of water supply. The main tool used was the simulation software FlexSim[®]™, that datas were simulated based on a collection regarding system reserves and supply. In this way, becomes essential verify and treat the collected datas, adapt them to be inserted in scenarios that made connection between real problems, such as lack of water, like an alternative to ensure consumption and operation times of stations. The results of this paper, shows flow values with emphasis in time, workarounds to sustain water supply, also the operation times required to provide consumption. Finally, an avaliation of simulation software was completed, expanding the operation and infrastructure management, as well distribution quality in atypical situations, perpetuating water consumption.*

Keywords: Consumption, Computational simulation, Supply water system, *FlexSim*[®], Quality in (waeter) distribution.

Resumen: *La simulación computacional es actualmente una herramienta esencial para el análisis y seguimiento de cualquier dato real en escenarios que utilizan mientras la gestión y softwares. El artículo demuestra el tempo de análisis del sistema de abastecimiento de agua y a su consumo, en una ciudad del sur de Brasil, caracterizada por la baja utilización de simulación y analisis computacionales. Partiendo del hecho que el manejo de datos segue una gran complejidad, el presente estudio tuvo por objetivos disponer soluciones relativas a lo tiempo de abastecimiento de una empresa de saneamiento. La principal herramienta computacional ha sido el software FlexSim[®]™, en el cual fue posible la simulación basada en recolecciones y reserva del sistema de distribución. Por lo tanto, fue indispensable verificar y tratar los valores recopilados y para adaptación en escenarios que mantienen la relación entre problemas reales, como la falta de agua, posibles maniobras para garantizar un consumo más prolongado y la necesidad de tiempo y operación de estaciones para la sostenibilidad del sistema. Con los resultados del estudio, fueron detectados valores de flujo con énfasis en el tiempo, maniobras para mantener el suministro, así como el tiempo de operación necesario para suministrar consumos. Se completó la evaluación del uso del software de simulación, alargando la operación y la gestión de la infraestructura, así como la calidad de la distribución en situaciones incommunes, perpetuando el consumo de agua.*

Palabras clave: Consumo, Simulación Computacional, Sistema de suministro de agua, *FlexSim*[®], calidad de la distribución.

1. INTRODUÇÃO

A análise de quaisquer instâncias buscando correlação com a mediação entre a sustentabilidade e desenvolvimento social deve ser considerado prioritário. Partindo

deste princípio, a pesquisa simulou, agregou e analisou o consumo de um Sistema de Abastecimento de Água (SAA) em uma cidade do sul do Brasil.

O consumo de qualquer bem público por si só tende a concretizar a eficácia na distribuição e qualidade de seus processos. No tocante à distribuição de água, em suma tratada, as restrições quanto à falta, qualidade de transporte, quantidade em estoque, materiais e equipamentos envolvidos, possui uma atenção especial além de um fator de atendimento e solubilidade de problemas altamente criteriosos.

Para tanto, a simulação e análise, justifica-se pelo fato de buscar a sustentação e a perpetuação do tempo de consumo, onde os dados foram alcançados por meio de problemáticas que utilizam informações ditas como essenciais para monitoramento das variáveis de controle de processo. A intenção foi criar uma relação de cenários na qual os mesmos forneceram a base de análise na analogia junto aos dados reais.

Tem-se como necessidade, o acompanhamento da escassez de água através do tempo, assim como seu transporte através de adutoras, elevatórias ou recalques e principalmente em relação ao nível em estoque. Com o acompanhamento adequado, transformaram-se as manobras através do tempo de operação, atuando para dirimir o tempo de escassez aplicado em um segundo cenário, preservando o sistema. Atenuando à tomada de decisão, pôde-se agir por meio da necessidade de aumentar a infraestrutura e quadro funcional além do dimensionamento do consumo por região, novamente baseado no tempo.

Sendo assim, o presente trabalho objetivou a simulação de um sistema de abastecimento de água, a partir do levantamento de processos, configuração e tratamento de dados e aplicação técnica, transformando-os em uma ferramenta de análise, para isso, buscou efetuar cenários que visaram criar uma perspectiva na redução de problemas. Considerou-se o projeto como pioneiro no extremo sul catarinense na utilização do software *FlexSim*® em sistemas de abastecimento de água utilizando a biblioteca Fluid, além da verificação da ferramenta no uso em escalas maiores.

2. METODOLOGIA

A aplicação do projeto foi baseada nos processos referentes a um sistema de distribuição de água, havendo a coleta de dados de consumo e tratamento conforme fórmulas representadas pelas normas do fornecedor de água, para então simular no *FlexSim*®.

Partindo desse princípio, foi efetuado o levantamento dos processos através do acompanhamento da disposição física no SAA. Para tanto foram necessárias as informa-

ções disponibilizadas pela Agência de Regulação de Serviços Públicos de Santa Catarina – ARESC, demonstradas no relatório de acompanhamento na Tabela 1. Houve ainda a visita ao local para validação e/ou alteração dos dados em questão.

Tabela 1 – Capacidades e Localizações das Estações de Tratamento de Água, Reservatórios e Estação de recalque de água tratada, definidos conforme ARESC

	Capacidade	Localização
Estação de tratamento de água – 1	40 (L/s)	Vargedo
Estação de tratamento de água – 2	4,44 (L/s)	Estação cocal
Estação de recalque de água tratada – 1	4,3 (L/s)	Booster linha Torrens
Estação de recalque de água tratada – 2	4,3 (L/s)	Booster mina Florita
Estação de recalque de água tratada – 3	9,85 (L/s)	Booster Bertan
Reservatório – 1	1050 kL	Centro
Reservatório – 2	100 kL	Bertan
Reservatório – 3	100 kL	Mina Florita
Reservatório – 4	100 kL	Estação Cocal

Fonte: Adaptado pelo Autores de Santa Catarina (2018)

Para definição das relações e atribuições de consumo, fez-se a utilização de cálculos para determinar a vazão média, esta que por sua vez foi inserida como o principal valor para a simulação.

Como houve a necessidade de desempenhar os cálculos, para certas áreas (Centro, Bertan), foram necessárias verificações da existência de setores de abrangências. Logo, foram calculadas as vazões de cada setor e quando necessário efetuadas as somas dos setores para cada, resultando nas vazões médias das áreas conforme exemplo da Tabela 2.

Tabela 2 – Exemplo da Vazão Média Utilizada (L/s) destinado ao Centro, a partir da soma das vazões médias (L/s) dos setores que a englobam definidos pela agência concessionária

	Vazão média utilizada (L/s)
Setores	Centro
553	1,122
550	3,531
558	3,088
Total	7,741

Fonte: Autores (2018)

No início, seguiu-se o cálculo a partir de três fases. A primeira, referente ao volume total utilizado em m³, a segunda na obtenção da vazão em litros por habitante por dia (L/hab. dia) junto às perdas do sistema. Por fim, o resultado da vazão média (Q) disponibilizada em litros por segundo (L/s).

Em sequência, para determinação do volume total operado, utilizou-se a soma dos valores, volume contestado, volume micro medido e volumes médios faturados, descritos na resolução da ARESC e consolidado através dos dados disponibilizados pelo fornecedor de água. Como resultado obtive-se os valores para as áreas conforme Tabela 3.

Tabela 3 – Volume total utilizado referente ao somatório dos volumes criticados, micro medidos e médios faturados

Região	Volume micro medido (m ³)	Volume faturado médio	Volume criticado (m ³)	Total (m ³)
Centro	10854	582	1656	13092
Naspoline	4305	466	668	5439
Bertan	7852	325	666	8843
Mina Florita	2624	68	178	2870
Linha Torrens	2785	48	221	2754
Vargeado	911	40	80	1031
Estação Cocal	6494	128	399	7021

Fonte: Autores (2018)

Com o volume total utilizado, prosseguiu-se à fase da obtenção da vazão referente a litros por habitante por dia (L/hab. dia) para cada área. Para o desenvolvimento foram utilizadas as informações de acordo com a equação 1, adaptada conforme norma técnica interna STEC n^o011 da agência concessionária do município.

$$\frac{\text{Volume utilizado total (m}^3\text{)}}{30 \text{ (dias)} \times \text{N}^{\circ} \text{ de economias} \times \text{Índice Hab por Domicílio (IBGE)}} \times 1000 \quad (1)$$

Como o volume utilizado total já havia sido determinado, sobram o número de consumidores e o índice per capita a serem coletados. Portanto, os dados foram encontrados a partir da consulta dos dados internos do Sistema de Banco de Dados Operacionais (BADOP), conforme Tabela 4, separados por regiões.

Tabela 4 – Número de economias conforme coleta de dados em campo através da existência ou não de hidrômetros, separados por regiões

Regiões	Consumidores
Centro	1211
Vargeado	104
Naspoline	472
Mina Florida	333
Linha Torrens	324
Estação Cocal	748
Bertan	952

Fonte: Dados da empresa (2018)

Por fim, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) dispõe como informação concreta no censo demográfico de 2010 as informações de residentes por domicílios recenseados da cidade em que foi realizada a pesquisa, na qual resultaram no fator de 3,016 habitantes por domicílio.

Foram inseridos para cada área os dados na Equação 1, resultando valores contidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Vazão em litros por habitante por dia (l/hab. dia) calculada conforme valores para cada região

Região	Consumo (L/hab. dia)
Centro	119,466
Vargeado	109,548
Naspoline	127,338
Mina Florida	95,240
Linha Torrens	93,929
Estação Cocal	103,747
Bertan	102,646

Fonte: Autores (2018)

Apesar de obter o consumo, foi necessário incrementar o índice de perdas do sistema e multiplicar sobre o consumo. Assim conseguiu-se aproximar os valores junto à incidência das perdas do sistema, aproximando-os de dados reais.

$$\text{Índice de Perdas} = \frac{\text{Volume Disponibilizado} - \text{Volume Utilizado}}{\text{Volume Disponibilizado}} * 100 \quad (2)$$

A partir da Equação 2, o Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento (SNIS), apresenta as informações de perdas na Tabela de indicadores agregados e desagregados dos serviços de águas e esgotos, conforme a Tabela 6.

Tabela 6 – Valores de consumo médio per capita e índices de perdas no faturamento de água referentes à concessionária do SAA

	Índice de perda
Faturamento de água	76,53%
Perdas no faturamento	23,47%
Perdas na distribuição	34,75%

Fonte: Brasil (2018)

Em sequência, os valores das perdas foram atribuídos às vazões (L/hab. dia) por região de acordo com a Tabela 7.

Tabela 7 – Consumo atrelado às perdas no sistema referente à taxa do município multiplicado pelo consumo em litros por habitante por dia de cada região

Região	Consumo com perdas (L/hab. dia)
Centro	183,089
Vargeado	167,890
Naspoline	195,154
Mina Florida	145,961
Linha Torrens	143,953
Estação Cocal	119,236
Bertan	157,312

Fonte: Autores (2018)

Uma vez que as perdas estavam inseridas, prosseguiu-se para a obtenção da vazão média disponibilizada “Q” demonstrada em litros por segundo (L/s). Para tanto, houve a necessidade de multiplicar o consumo com perdas anteriormente calculado, junto ao número de domicílios e a taxa de habitantes por residência.

Levando em conta que o resultado da vazão média deve ser em litros por segundo (L/s), e o consumo com perdas é diário, o cálculo foi dividido pelo número de segundos referentes a 24 horas (um dia), ou seja, 86400 segundos, como demonstrado na Equação 3.

$$\text{Vazão média} = \frac{\text{N}^{\circ} \text{ de economias} \times \text{Consumo com perdas} \times \text{Taxa de Hab por Residência (JBGE)}}{86400s} \quad (3)$$

Então, para cada região, foram obtidos os resultados da vazão Q, presentes na Tabela 8.

Para designar o consumo destinado ao bairro Esplanada, foi utilizado o instrumento de medição de vazão que se encontrava na tubulação de distribuição.

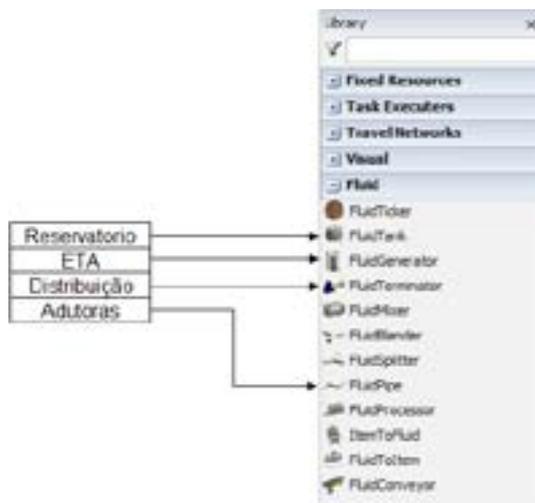
Tabela 8 – Quadro dos valores do consumo médio (l/s) por regiões bem como a vazão em litros por segundo e minuto utilizados na simulação

Bairro	Vazão (L/s)	Vazão (L/m)
Centro	7,741	464,453
Vargedo	0,610	36,576
Naspoline	3,216	192,954
Mina Florita	1,697	101,816
Linha Torrens	1,628	97,701
Estação Cocal	3,113	186,786
Bertan	5,229	313,715
Esplanada	2,500	150,000

Fonte: Autores (2018)

A partir dos valores de consumo já dimensionados por região atendida, foi determinado o preparo da simulação gráfica no software de simulação *FlexSim*®. Neste foi desenvolvido uma aplicação gráfica, utilizando a biblioteca “*Fluid*” do *FlexSim*®, respeitando as definições presentes nas figuras 1 e 2.

Figura 1 – Designação dos Objetos da biblioteca de Fluidos em relação ao utilizado no SAA



Fonte: Adaptado pelo Autores

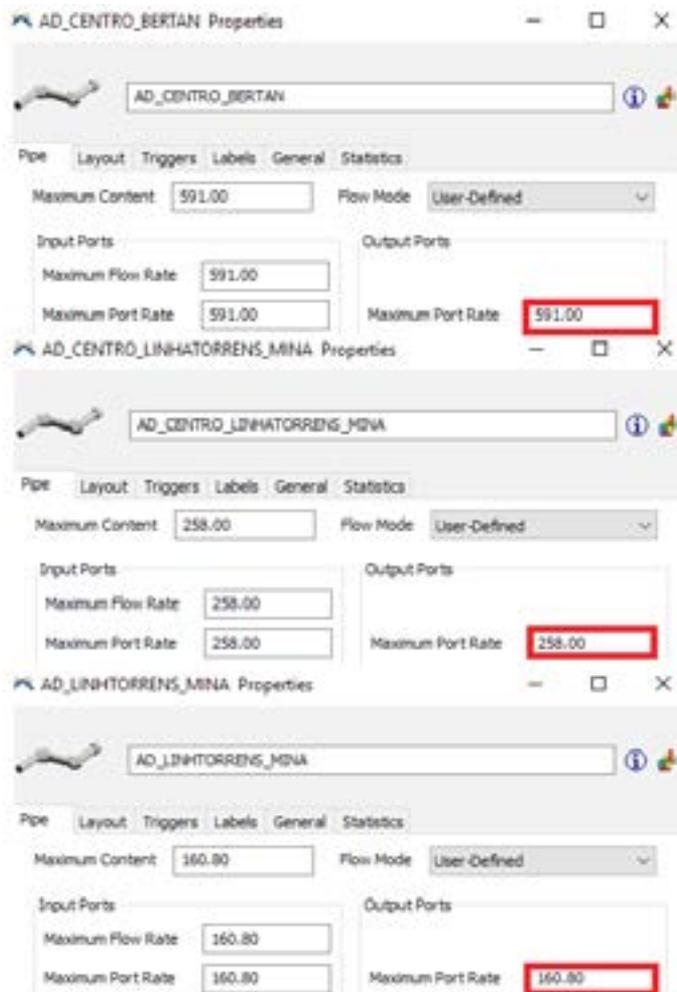
Figura 2 – Definição das unidades de tempo, distância e vazão utilizadas na simulação, bem como a data e hora início da simulação



Fonte: Adaptado pelo Autores de *FlexSim*® (2013)

A representação dos recalques, Estações de Recalque de Água Tratada (ERATs), Estações de Recalque de Água Bruta (ERABs) e *Boosters*, não contemplaram um objeto gráfico específico, porém obtiveram apenas uma imagem simbólica. Considerando sempre o pior cenário, as adutoras representadas pelo objeto de simulação “*pipe*” possuem valores de chegada (*input*) e de saída (*output*) e foram ligadas de um elemento a outro. Quando houve a necessidade de recalque entre elementos, a vazão de saída da adutora (*output*) se torna a mesma resultante do recalque, que por sua vez é a máxima entrada (*input*) permitida no elemento seguinte. A figura 3 demonstra a alocação dos valores das Estação de recalque de água tratada nas adutoras.

Figura 3 – Incremento das vazões originadas pelas estações de recalque de água tratada nas adutoras, na entrada e saída de vazão das galerias em litros por minuto (L/min)



Fonte: Autores (2018)

Com o aglomerado das informações no *FlexSim*®, os volumes foram aplicados em cada objeto conforme sua chegada (*input*) e partida (*output*), bem como os valores de diâmetros para as adutoras. Na Tabela 9 constam os valores dos diâmetros em milímetros das adutoras por regiões, verificados fisicamente, acompanhando o menor percurso em relação às ruas onde se encontram e confirmados junto à empresa de abastecimento.

Tabela 9 – Valores do diâmetro das adutoras do sistema para as regiões de maior interesse

Região	Entrada (mm)	Saída (mm)
Vargedo	250	250
Bertan	100	150
Mina Florita	150	75
Estação Cocal	100	75
Esplanada	150	75

Fonte: Autores (2018)

A partir do elemento gráfico desenvolvido, junto aos elementos do SAA, aplicaram-se três cenários: falta de abastecimento de água bruta, manobras de regulação de vazão nos recalques e por fim determinação de tempo de operação da ETA de Estação Cocal.

Primeiro cenário retrata a falta do abastecimento de água devido ao possível rompimento de uma adutora de água bruta, ou seja, o abastecimento das ETA's estará comprometido. Partindo deste princípio, a simulação ocorreu com os reservatórios cheios, porém não há o reabastecimento, restando a quantidade de litros com o decréscimo do consumo de cada região.

Para tal cenário, levou-se em conta que o registro que separa o abastecimento de Estação Cocal e a Mina Florita esteja fechado, impedindo que por questões físicas, a Mina Florita abasteça Estação Cocal.

Para um segundo cenário, foi constituído uma análise proveniente do primeiro, levando em conta a separação dos sistemas por ETA's, para então ocorrer à determinação de manobras de regulação de vazão nos recalques, a fim de equalizar a sustentabilidade de abastecimento perante o tempo.

Com a determinação do menor tempo por consumo de cada área de abastecimento pode-se determinar a região mais fragilizada, logo a variação do consumo a jusante pode ser manipulada nos recalques de água, a fim de encontrar uma equalização dos tempos de escassez.

Sendo assim, como reservatório de maior tempo de sustentabilidade, pôde-se desconectar do sistema, ratificando os consumos nas demais localidades.

O último cenário foi determinado de acordo com a abertura do registro encontrado entre o consumo de Estação Cocal e a região da Mina Florita.

Com o registro aberto, o reservatório da Mina Florita, devido às propriedades físicas do sistema, abastecerá o consumo de Estação Cocal, logo as somas dos consumos das localidades serão maiores que a distribuição da Mina, fazendo-o secar.

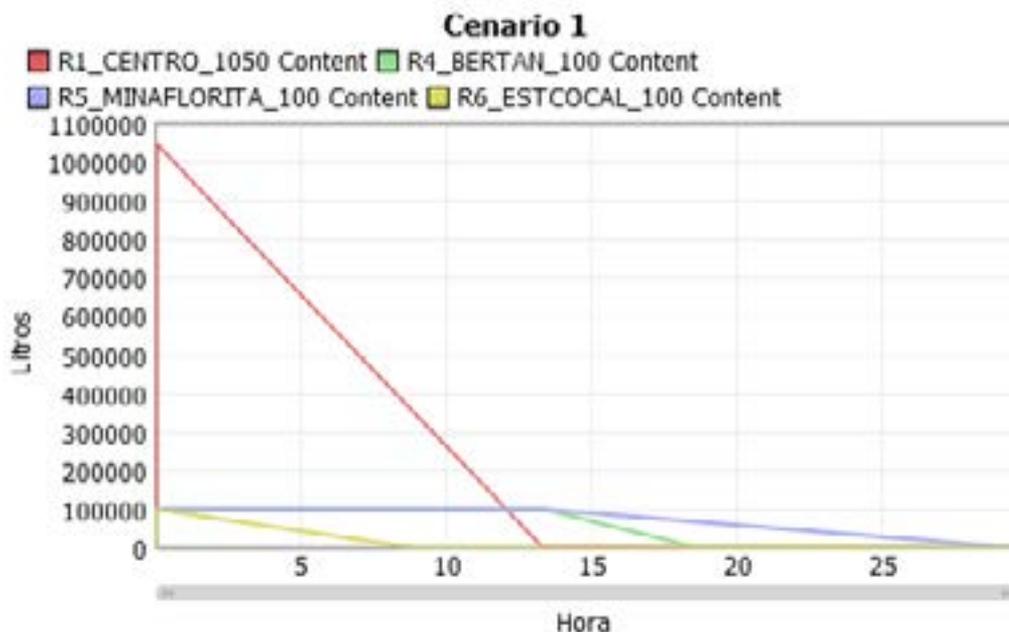
Sendo assim, foi feito uma relação de quanto tempo a ETA de Estação deve-se manter ligada, respeitando os horários de trabalho de 23 horas, para que o consumo da Mina junto à Estação se mantenha positivo. Impreterivelmente assumindo que o reservatório de Estação Cocal está vazio e que a vazão máxima que chega à Mina Florita é a determinada pelo booster da mesma em conjunto com o da Linha Torrens.

3. ANÁLISE DE RESULTADOS

Através dos dados e coletas da disposição física distribuídas, foi possível a determinação dos elementos ETA's, que seguem através das adutoras e chegam aos reservatórios, e conforme diretrizes seguem para distribuição. Subsequindo, para desenvolver as simulações foram inseridos os valores com referência na Tabela 8, nos reservatórios.

Analisando o primeiro cenário, foram introduzidas a escassez de água a montante dos reservatórios do sistema, ou seja, a conexão dos objetos responsáveis pelas ETA's do Vargeado e de Estação Cocal (*Fluid Generator*) junto a suas adutoras, foram interrompidas. O tempo de simulação foi utilizado até o último reservatório zerar. O primeiro reservatório a se tornar escasso é o R6 de Estação Cocal responsável pelo abastecimento apenas de Estação Cocal.

Em sequência, relativo à ETA do Vargeado, tem-se que o primeiro é o do Centro, responsável pela distribuição ao Napoline e Vargeado, Esplanada, Bertan, Linha Torrens, Mina Florita, e por último o Bertan.

Figura 4 – Volume dos reservatórios em litros pelo tempo em horas relativo ao cenário 1

Fonte: Autores (2018)

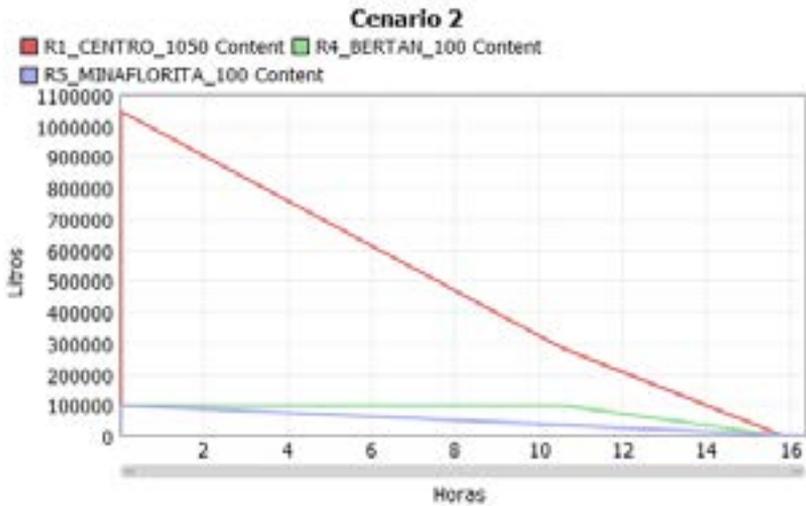
A partir do primeiro cenário, ficou evidente que o recalque referente à vazão que chega ao reservatório da Mina Florita, por ser o maior tempo de operação de abastecimento.

No segundo cenário foi utilizada a premissa que se há um menor tempo de abastecimento no Centro, os recalques (representados pela vazão das adutoras aos reservatórios conforme figura 5), deverão trabalhar menos para equivaler o nível de abastecimento. Como cada booster tem capacidade de 4.3 e 9.85 l/s e o recalque da Mina Florita depende da máxima entrada do booster da Linha Torrens. Assim, foram elaborados cenários desconectando os boosters com reservação de menor consumo/tempo de suas fontes de consumo manualmente.

Neste contexto, foram efetuadas simulações aleatórias entre 200 a 800 minutos, onde se percebeu maior intensidade de padronização entre os tempos de paradas entre 600 minutos e 700 minutos nos recalques maiores, sempre interrompendo o sistema e efetuando a operação.

Sendo assim os resultados ocorreram com 2 vertentes, sendo elas a priorização do conjunto Bertan e Centro e a outra Mina Florita e Bertan. de acordo com a Figura 5, foi possível verificar que o Centro e Bertan concluem o tempo em aproximadamente 16 horas.

Figura 5 – Consumo (litros) pelo Tempo (horas) referentes à otimização de parada do booster (ERAT 3) do Bertan privilegiando os reservatórios do Centro e Bertan

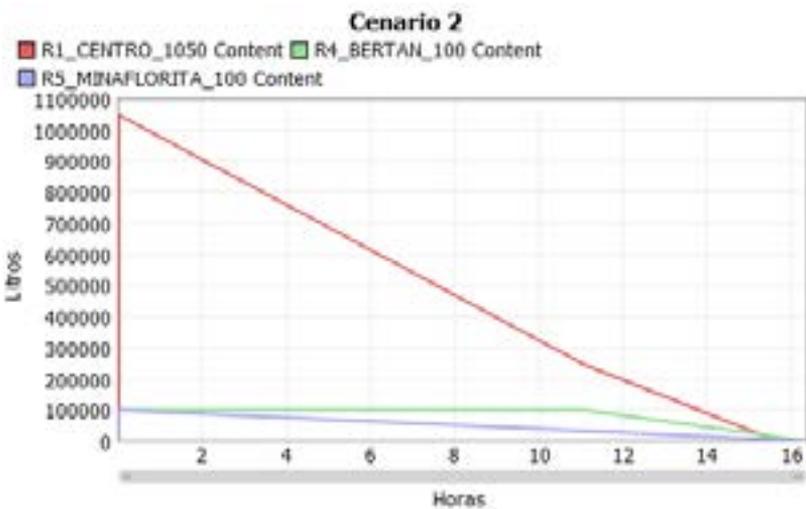


Fonte: Autores (2018)

Mais especificamente, os valores dos resultados definem que os reservatórios se sustentaram por 15,85 horas sendo que foi mantido o booster do Bertan ligado 11,05 horas.

Em contrapartida, a otimização do tempo para racionalização entre as regiões do Bertan e Mina Florita se encontram na figura 6, que resultou em aproximadamente 17 horas para ambos.

Figura 6 – Consumo (litros) pelo Tempo (horas) referentes à otimização de parada do booster (ERAT 3) do Bertan privilegiando os reservatórios do Bertan e Mina Florita.



Fonte: Autores (2018)

Mais especificamente, os resultados foram 16,38 horas para o Bertan e a Mina Florita.

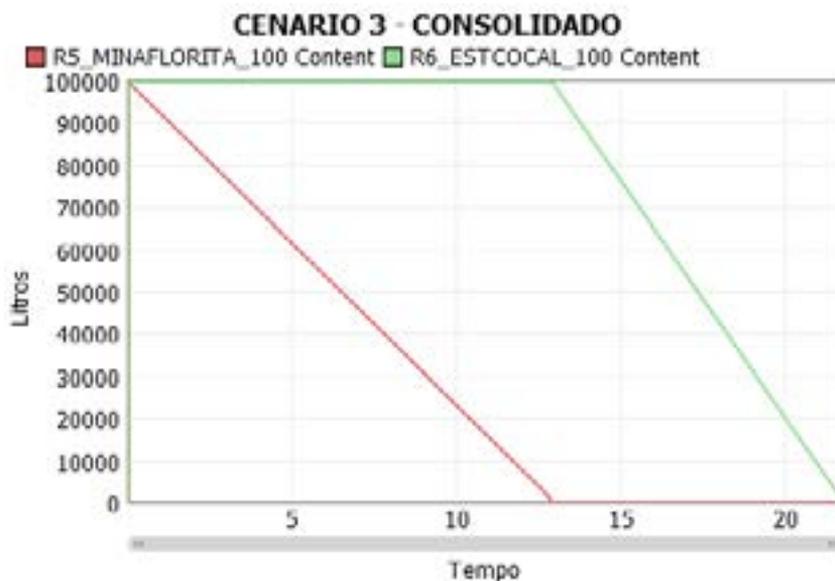
Agregando um posicionamento aos resultados, o intervalo favorecendo o abastecimento do Bertan e Centro resulta num controle de consumo mais significativo para os consumidores, pois a população atendida das áreas é de maior importância em relação ao município, logo se torna a opção mais viável de manobra devido à organização de possíveis manutenções.

Por fim, o terceiro panorama propiciou o mínimo tempo possível de operação da ETA de Estação Cocal caso o registro de interligação entre Mina Florita e Estação Cocal fosse aberto. Assim, avaliando a vazão que entra no reservatório da Mina Florita que é de 4,3 L/s, pela diferença que fica na região da Linha Torrens, obtivemos 2,8 L/s.

Foram ajustados os valores de saída máxima do R5 para a soma das vazões de saída e colocado um fator de escala de 65% para a estação e 35% para mina.

De acordo com a simulação do cenário 3 os valores referentes se dispõem conforme a figura 7.

Figura 7 – Gráfico representando os reservatórios da Mina Florita e Estação Cocal aplicados ao cenário 3 em L/h



Fonte: Autores (2018)

Levando em conta os aspectos de tempo de funcionamento da ETA, apesar de que o cenário foi concebido com os reservatórios cheios, o valor de 1,17 horas é soma-

do junto ao tempo do R6, resultando em 21,83 horas de funcionamento. Conseguiu-se analisar que se houver a necessidade de abastecimento da região de Estação Cocal pelo reservatório da Mina Florita, perante um dia, faltarão água 10,10 horas, pois é somado o tempo de enchimento do R6 que também conta como operação, acarretando na depreciação do abastecimento e aumento nas manutenções do sistema.

Devido à comparação dos tempos resultantes dos cenários, conclui-se que mesmo com o rompimento da adutora de água bruta sendo um fator mais preocupante, o reservatório do Centro aliado ao dimensionamento dos recalques, aumentou em média 2,4 horas em seu tempo de abastecimento, independente do prevaecimento entre o conjunto Centro-Bertan e Bertan-Mina Florita. Essa ação garantiu uma melhora significativa observando que o reservatório do Centro é o principal dissipador de água aos restantes.

Para o reservatório da Mina Florita, o tempo de consumo diminuiu em 13,37 horas, sendo essa uma queda considerável comparada ao primeiro cenário. Porém se levarmos em conta que o volume de consumo da região é o mais baixo e o volume do reservatório é o mesmo em comparação com o do Bertan, o fato do tempo ter baixado é importante, porém não tanto quanto à variação dos outros reservatórios que incidirão em maiores reclamações e prejuízos por domicílio.

Não obstante, o reservatório do Bertan obteve um decréscimo médio entre os cenários 2-1 e 2-2 em comparação ao cenário 1 de apenas 2,5 horas, comprovando que a equalização do sistema é uma opção eficiente. A questão do consumo reduzir não é problema, pois o recalque mais afetado foi o do Bertan e mesmo assim conseguiu um bom abastecimento em relação aos outros.

4. CONCLUSÃO

Por meio da criação de situações reais foi possível analisar as informações de tempo, aplicado às operações de funcionamento, na qual houveram sugestões de melhorias em conjunto a tomadas de decisão atreladas a minimização de custos.

Em suma, com as piores situações impostas, a simulação refletiu que os reservatórios tenderam a diminuir seu tempo de abastecimento, o que é ruim, porém com as manobras de equalização, pode-se concluir que a equalização é essencial, principalmente do conjunto Centro-Bertan, que é o mais propício à melhora na eficácia das redes atendidas em caso de falha no sistema.

Individualmente para o reservatório de Estação Cocal, os tempos são invariáveis, pois a região até então só abasteceu o consumo da mesma. Porém, no cenário 3

concluiu-se que a ETA de Estação Cocal deve trabalhar apenas 16,22 horas para suprir a necessidade do consumo alimentado pela Mina Florita, logo, como a ETA possui um funcionamento monitorado de 8 horas por dia serão necessárias contratações de funcionários, gerando um custo adicional à concessionária. No entanto este custo tem proporcionalidade ao uso dos produtos químicos, gasto de energia, tempo de tratamento, dentre outros, que são necessários para manter uma estação de tratamento funcionando 23 horas de produção mais 1 hora para limpeza de filtro.

Em consideração aos custos, concluiu-se que as interrupções dos recalques gerarão um consumo de energia controlado, podendo assim variar as bombas de recalque, convertendo-os em saldo positivo para investimentos.

Das restrições encontradas, pôde-se considerar *a priori* os fatores físicos e hidráulicos do sistema, aplicados ao software de simulação, que por sua vez não comporta a inserção destas funções. Como aprofundamento, para aperfeiçoar os dados e conduta dos cenários, haveria a necessidade de conhecer certas linguagens de programação para assim inserir restrições específicas. Vale ressaltar que o software não possui um direcionamento para o ramo de operação simulado, e que é de acesso gratuito. Entretanto a sua disponibilidade gratuita restringe o uso de suas ferramentas de desenvolvimento e simulações que demandam de licenças com valor agregado.

Apesar destas restrições, o *FlexSim*® suportou e cumpriu o esperado em auxiliar na obtenção dos tempos e das possíveis otimizações de acordo com os cenários elaborados, criando uma base maior na assertividade das tomadas de decisão propostas ao sistema.

Por fim, cabe aos responsáveis pelo abastecimento verificar se as sugestões são de valia e aplicar as decisões necessárias, assim garantindo a qualidade da distribuição conciliada à redução de custos.

Referências

ALAMBERT JUNIOR, N. **Manual prático de tubulações para abastecimento de água**: informações práticas e indispensáveis para projetos, obras e manutenções. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

BANKS, J. **Handbook of Simulation**: Principles, Methodology, Advances, Applications, and Practice. 1. ed. Geórgia: EMP, 1998.

BANKS, J. *et al.* **Discrete - Event System Simulation**. 4. ed. Upper Saddle River: Prentice Hall, 2005.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Censo Demográfico 2010**: Sinopse. Brasília: IBGE, 2010. Disponível em: <http://cod.ibge.gov.br/h4s0>. Acesso em: 25 set. 2018.

BRASIL. Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento - SNIS. Ministério das Cidades / Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos: Tabela Completa de Indicadores Desagregados e Agregados - 2018**. CASAN - INO13 - Morro da Fumaça. Brasília: SNS/MDR, 2018. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2018>. Acesso em: 26 jun. 2018.

CUNHA, A. A. R. **Otimização energética em tempo real da operação de sistemas de abastecimento de água**. 2009. 191 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

DAL PONT, S. C.; SARTOR, G. D.; SILVEIRA, A. A. da. **Apostila curso de operação e controle de ETA**. Criciúma: CASAN, 2007.

FIGUEIREDO, J.; VASCONCELLOS, L.; PEREIRA, S. O desenvolvimento e a Aplicação de um Modelo Multiagente para o Ensino da Teoria das Restrições. In: Simpósio de Administração da Produção, Logística e Operações Internacionais, 14., 2011, São Paulo. **Anais [...]**. São Paulo: FGV, 2011.

FLEXSIM®. Simulação Aplicada. Modelagem e análise usando *FlexSim*®. **FlexSim**®, [201-]. Disponível em: <https://www.FlexSim.com/ftp/textbook/supportingmaterials/Portugues/Capitulo6PortuguesLivroSimulacaoAplicada.pdf>. Acesso em: 05 jun. 2018.

FORRESTER, J. **Principles of Systems**. Cambridge: Pegasus Communications, 1968.

FRANCATO, A. L., BARBOSA, P. S. F. Operação ótima de sistemas urbanos de abastecimento de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA (COBEM), 15., 1999, Águas de Lindóia. **Anais [...]**. Águas de Lindóia, 1999.

HUM, S., LEE, C. K. JIT Scheduling rules: A simulation evaluation. **Omega - Int. J. Mgmt Sci**, Amsterdam, v. 26, n. 3, p. 381-395, 1998.

PORTER, Michael E. **Vantagem Competitiva**. Rio de Janeiro: Campus, 1996.

PROFOZICH, D. M. **Managing change with business process simulation**. London: Prentice Hall, 1998.

SOUSA, E. R. **Sistemas de Abastecimento de Água**. Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura. Lisboa: Instituto Superior Técnico, 2001.