

## **I-257 – DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA OPERACIONAL PARA O SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE COXIM-MS POR MEIO DE MODELAGEM HIDRÁULICA**

**Leandro de Almeida Caldo<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco. Engenheiro orçamentista na empresa Quíron Serviços de Engenharia

**Tiago Batista Ramalho**

Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Católica Dom Bosco. Engenheiro projetista na empresa Quíron Serviços de Engenharia

**Ricardo Verde Selva**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Diretor Técnico na empresa Quíron Serviços de Engenharia

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua São Paulo, 209 - B. São Francisco – Campo Grande - MS - CEP: 79002-270 - Brasil - Tel: (67) 3356-5242 - e-mail: leandrocaldo.quiron@gmail.com

### **RESUMO**

Os sistemas de abastecimento de água - SAA visam o suprimento de água potável a comunidades e envolve as fases de projeto, implantação e operação, sendo esta, a fase mais complexa por ser um processo dinâmico, devido a fatores como: variações de demandas extrapolando a sua capacidade de produção, falhas em componentes eletromecânicos, alto índice de perdas físicas, deficiência no cadastro comercial, entre outros, dificultam a operação de um sistema. Os modelos matemáticos, aliados às tecnologias computacionais e equipamentos de controle, surgiram como ferramentas de grandes aplicabilidades nos sistemas de abastecimento de água, pois são capazes de analisar e prever o comportamento hidráulico, criar diversos cenários, reduzir erros e incertezas, evitar e solucionar problemas na operação de um SAA, melhorando-o continuamente. Neste trabalho, foi criada uma ferramenta de controle operacional por meio de modelagem hidráulica utilizando o EPANET 2.0, que será alimentada periodicamente com as informações comerciais de um setor operacional do SAA de Coxim-MS. O modelo hidráulico criado apresentou desempenho satisfatório em relação à representatividade das características reais do Setor Operacional Centro, o qual possui dados comerciais consolidados, o que agregou confiabilidade à ferramenta operacional criada. A ferramenta possibilita a simulação e análise de manobras operacionais, automação do sistema, elaboração de planos de contingência, simulação de alterações e identificação de vazamentos e consumos indevidos no sistema considerando a demanda real. A avaliação do modelo hidráulico mostrou que o sistema encontra-se em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela literatura e normas vigentes relativos à pressão na rede, entretanto, a rede apresentou velocidades inferiores aos limites definidos. A ferramenta operacional criada a partir da alimentação do modelo com dados operacionais e comerciais demonstrou-se versátil, acessível e confiável, de modo que possa ser utilizada na rotina operacional do sistema.

**PALAVRAS-CHAVE:** Abastecimento de Água, Operação, Informações Comerciais, Modelagem Hidráulica, EPANET 2.0.

### **INTRODUÇÃO**

Os sistemas de abastecimento de água - SAA visam o suprimento de água potável a comunidades, para diversos fins, tais como, consumo doméstico, industrial e público, por meio de um conjunto de obras, equipamentos e serviços. Envolvendo as fases de projeto, implantação e operação, que quando desenvolvidas inadequadamente podem produzir efeitos adversos sociais, econômicos, à saúde e ao meio ambiente (MENESES, 2011). A operação é a fase mais complexa por ser um processo dinâmico, em que o sistema está continuamente se desgastando, sofrendo constantes transformações com adequações, ampliações e manutenções (CARRIJO, 2004).

Fatores como variações de demandas, extrapolando a sua capacidade de produção, falhas em componentes eletromecânicos, alto índice de perdas físicas, custos com energia elétrica, quantidade de água disponível nos reservatórios para suprir demandas, qualidade da água, carência de técnicas de engenharia, métodos modernos de gestão de pessoas, aspectos de planejamento, controle e supervisão, serviços de infraestrutura de apoio e de atendimento ao usuário, cadastro comercial, entre outros, dificultam a operação de um sistema (MENESES, 2011).

Carrijo (2004) considera que disponibilidade de modelos matemáticos para análises das informações é um importante fator na operação de um SAA. Modelos matemáticos, aliados às tecnologias computacionais e equipamentos de controle, surgiram como ferramentas de grandes aplicabilidades nos sistemas de abastecimento de água. Para Alegre et al. (2005), são múltiplas as aplicações de um modelo de simulação em um sistema, nos domínios do planejamento, projeto, operação, manutenção e reabilitação no transporte e distribuição de água.

Os modelos de simulação se tornam ferramentas capazes de analisar e prever o comportamento hidráulico, criar diversos cenários, reduzindo erros e incertezas, evitando e solucionando problemas na operação de um SAA, melhorando-o continuamente. Segundo Gomes (2009), uma das características fundamentais de um modelo de simulação e análise de SAA é a presença da variável tempo e que o objetivo do modelo não é o de determinar valores das grandezas hidráulicas e sim o de obter a variação das grandezas ao longo do tempo. A utilização de um modelo hidráulico justifica-se pela redução dos custos em se fazer ensaios em campo, pela possibilidade de identificar informações em que o conhecimento e os dados sejam insuficientes, podendo estimular ideias e abordagens experimentais. Comparados com os métodos tradicionais, as vezes, modelos fazem um melhor uso dos dados, que se tornam cada vez mais precisos, porém necessitam de um olhar crítico do responsável pela modelagem (WALSKI et al., 2001).

Neste trabalho, propõe-se a criação de uma ferramenta de controle operacional que será alimentada periodicamente com as informações comerciais de um setor do SAA de Coxim-MS através do EPANET 2.0, programa computacional que permite simular o comportamento hidráulico de um sistema pressurizado de distribuição de água ao longo do tempo. Deste modo, pretende-se gerar uma ferramenta versátil, acessível e confiável que possa ser utilizada na rotina operacional do sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O Sistema de Abastecimento de Água de Coxim divide-se em sete setores operacionais (zonas de pressão). O Setor Operacional Centro, área de estudo deste trabalho, é apresentado isolado na Figura 1.

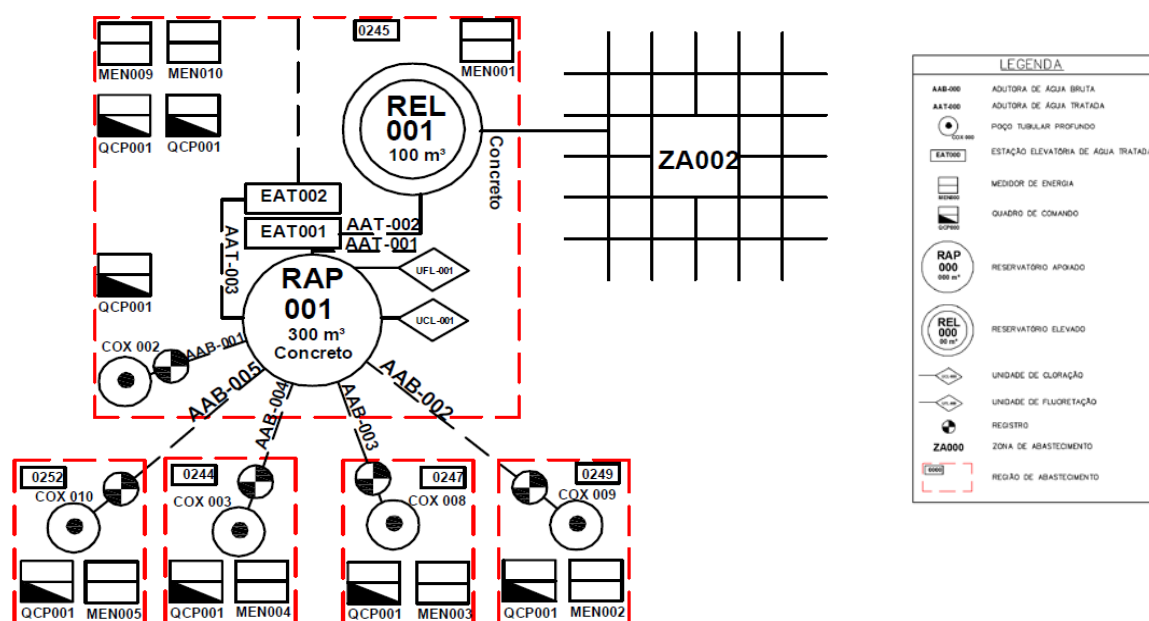


Figura 1 - Croqui do Setor Operacional Centro

O Setor Operacional Centro é composto por um total de 1.934 ligações de água e atende aproximadamente 5.400 habitantes (estimado com base no número de habitantes por ligação de água do Sistema Coxim) e apresenta praticamente todos os processos envolvidos em um SAA, tais como captação, elevatória de água bruta, tratamento, elevatória de água tratada, reservação e distribuição. Conforme levantamento de campo, a água é captada em 5 poços (COX-002, COX-003, COX-005, COX-008 e COX-010). A água captada é aduzida por cinco adutoras de água bruta (AAB-001, AAB-002, AAB-003, AAB-004 e AAB-005) e encaminhada ao reservatório RAP-001.

Em seguida, é realizado o tratamento da água por meio de cloro gasoso, a fim de remover microrganismos patogênicos, e a fluoretação, visando à prevenção à cárie dentária. A dosagem dos reagentes é realizada na casa de química. O Setor Operacional Centro dispõe de uma unidade de cloração (UCL-001) e outra de fluoretação (UFL-001), as quais estão associadas ao RAP-001. As unidades de cloração e fluoretação possuem um sistema de reservação externo à casa de química para o ácido fluossilícico, já o cloro é armazenado em cilindros dentro das instalações.

A água tratada no RAP-001 é bombeada pela (EAT-001) e aduzida para o REL-001 por meio da AAT-001, a EAT-001 opera com dois conjuntos motor-bomba, sendo um ativo e outro de reserva. O REL 001 e RAP-001 são apresentados na Figura 2.



**Figura 2 - REL - 001 e RAP - 001**

**Fonte: Levantamento de campo**

O REL-001 distribui a água por gravidade para a rede de distribuição de água do Setor Operacional Centro. Segundo o cadastro de rede disponibilizado por Sanesul (2014), a rede possui extensão de 28,5 km e é composta predominantemente por tubulação de PVC DN 50 (58,6%). Há outros tipos de material e diâmetros, conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1 - Rede de Distribuição de Água do Setor Operacional Centro**

DN	Material	Comprimento (m)	(%)
40	PEAD	1.306	4,6
50	PVC/PBA	16.690	58,6
75	PVC/PBA	2.659	9,3
100	PVC/PBA	1.909	6,7
150	DEFOFO	491	1,7
150	FOFO	3.484	12,2
200	DEFOFO	1.291	4,5
200	FOFO	269	0,9
250	DEFOFO	371	1,3
Total		28.470	100,0

## PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A realização deste trabalho será executada a partir da metodologia apresentada por Selva et al (2007), a qual tem demonstrado grande versatilidade no estudo de SAA. A metodologia simplificada é apresentada na Figura 3.

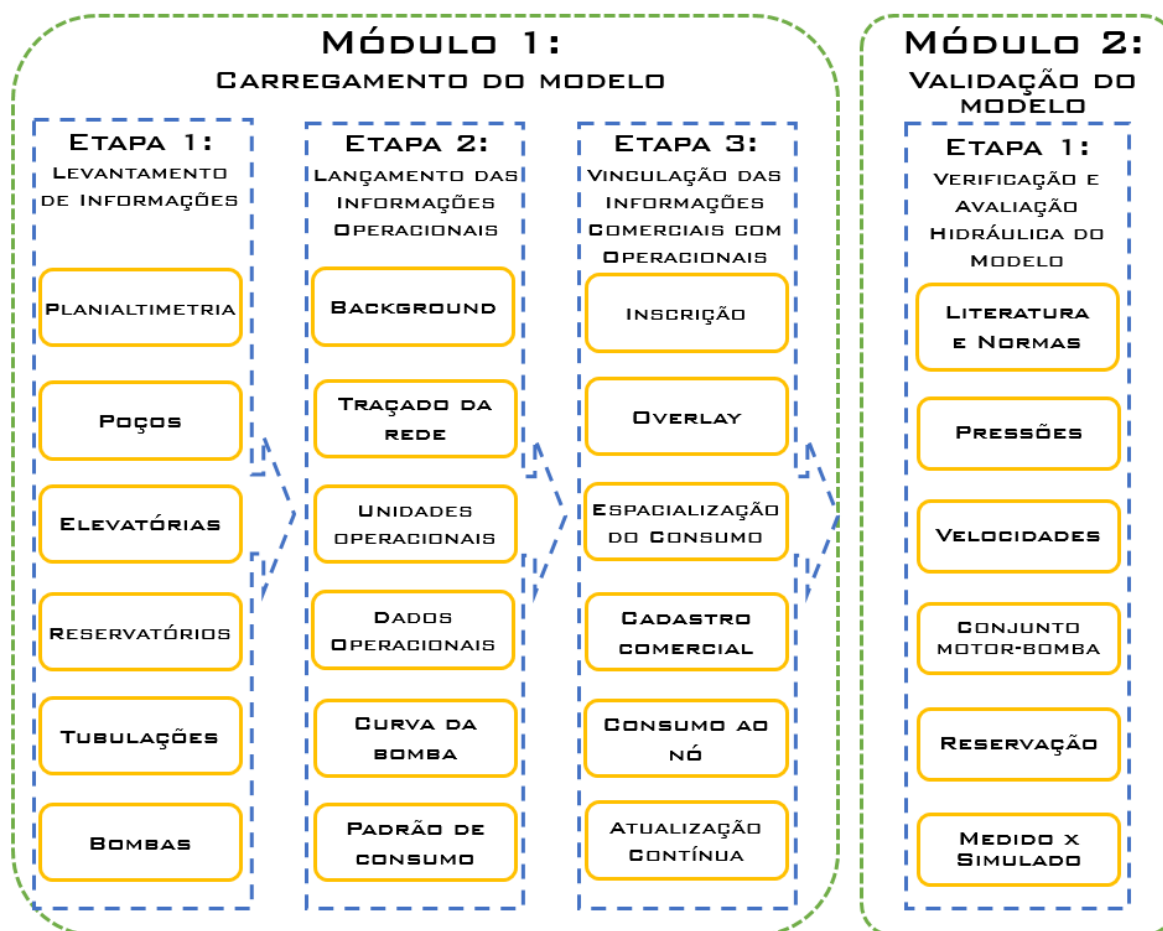


Figura 3 - Metodologia Simplificada  
Fonte: Adaptado de Selva et al (2007)

### MÓDULO 01: CARREGAMENTO DO MODELO.

Este módulo objetiva a criação do modelo hidráulico através do levantamento e lançamento das informações referentes ao sistema de abastecimento de água no EPANET 2.0.

#### ETAPA 01 – LEVANTAMENTO DE INFORMAÇÕES

Foi realizada uma análise de consistência nas bases de informações planialtimétricas existentes, a fim de avaliar se estas estavam satisfatórias para elaboração do escopo de trabalho. As curvas de nível já estavam definidas no cadastro de rede disponibilizado por SANESUL (2014), assim como os demais elementos físicos do Setor Operacional Centro, tais como: tubulações (diâmetros e material), unidades operacionais (poços, adutoras, elevatórias, reservatórios e válvulas) e quadras dentro do respectivo setor comercial. As bases gráficas utilizadas estavam georreferenciadas a fim de garantir a localização geográfica adequada do sistema.

A partir das informações disponibilizadas por SANESUL (2014), foram levantados: marca, modelo, diâmetro do rotor e curva de desempenho, das estações elevatórias em funcionamento. Foi realizada a análise e

verificação da confiabilidade do cadastro comercial do Setor Operacional Centro, a fim de obter a distribuição espacial das demandas.

Foi feita a confirmação dos dados documentais sobre a infraestrutura física do sistema de abastecimento de água e atualização do banco de dados existente, por meio de visita em campo. Foram realizadas medições de pressão em pontos estratégicos pré-determinados, para permitir a elaboração da etapa de verificação do modelo hidráulico.

As informações referentes ao conjunto motor-bomba da EAT-001 foram verificadas e complementadas através da análise em campo do equipamento. Estas informações possibilitam o lançamento da curva de desempenho da bomba no EPANET 2.0, além de garantir maior confiabilidade ao modelo.

## ETAPA 02 – LANÇAMENTO DAS INFORMAÇÕES OPERACIONAIS

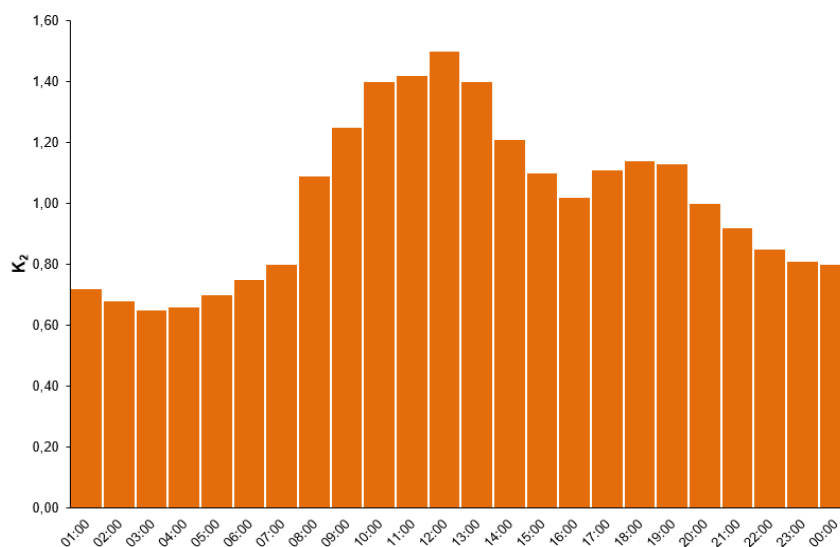
Inicialmente, foram lançados as cotas topográficas e o padrão de consumo correspondentes a cada nó. Para os trechos, foram lançados o diâmetro e a rugosidade de cada tubulação. Os diâmetros das tubulações, material e respectiva rugosidade adotada são apresentados na Tabela 2. O diâmetro lançado no modelo foi o diâmetro interno, a fim de garantir maior precisão nos cálculos hidráulicos.

**Tabela 2 - Diâmetros e Rugosidade das Tubulações**

DN	DI (mm)	Material	Rugosidade (C)
40	35,2	PEAD	140
50	51,4	PVC/PBA	140
75	72,8	PVC/PBA	140
100	94,4	PVC/PBA	140
150	156	DEFOFO	140
150	160	FOFO	100
200	204	DEFOFO	140
200	221	FOFO	100
250	252	DEFOFO	140

Após a finalização do traçado da rede, as unidades operacionais foram locadas. O parâmetro de controle da válvula foi definido como zero, de modo a indicar que a entrada de água no reservatório está sob influência da pressão atmosférica. Os dados referentes ao RNV foram disponibilizados por SANESUL (2014), tais como: altura de água inicial, altura de água mínima, altura de água máxima e diâmetro. A curva da bomba da EAT-001 foi definida a partir do seu ponto de funcionamento (vazão e altura manométrica), conforme informações de SANESUL (2014).

O padrão de consumo para o Setor Operacional Centro foi adotado, pois a sua definição requer equipamentos específicos, como *data loggers*, e a SANESUL não dispunha de um. Este padrão foi o mesmo da cidade de Campo Grande (padrão já definido após medições de pitometria em campo), por apresentarem características regionais e climáticas semelhantes.



**Figura 4 - Lançamento do Padrão de Consumo**

A Figura 4 apresenta o padrão de consumo adotado. Segundo Rossman (2002), o padrão de consumo é utilizado para caracterizar a variação do consumo com o tempo para a principal categoria de consumo no nó. O padrão fornece um conjunto de fatores multiplicativos que são aplicados ao consumo-base para determinar o consumo corrente num determinado instante de tempo.

Após o traçado de todos os componentes do SAA, o Setor Operacional Centro apresentou a estrutura mostrada na Figura 5.



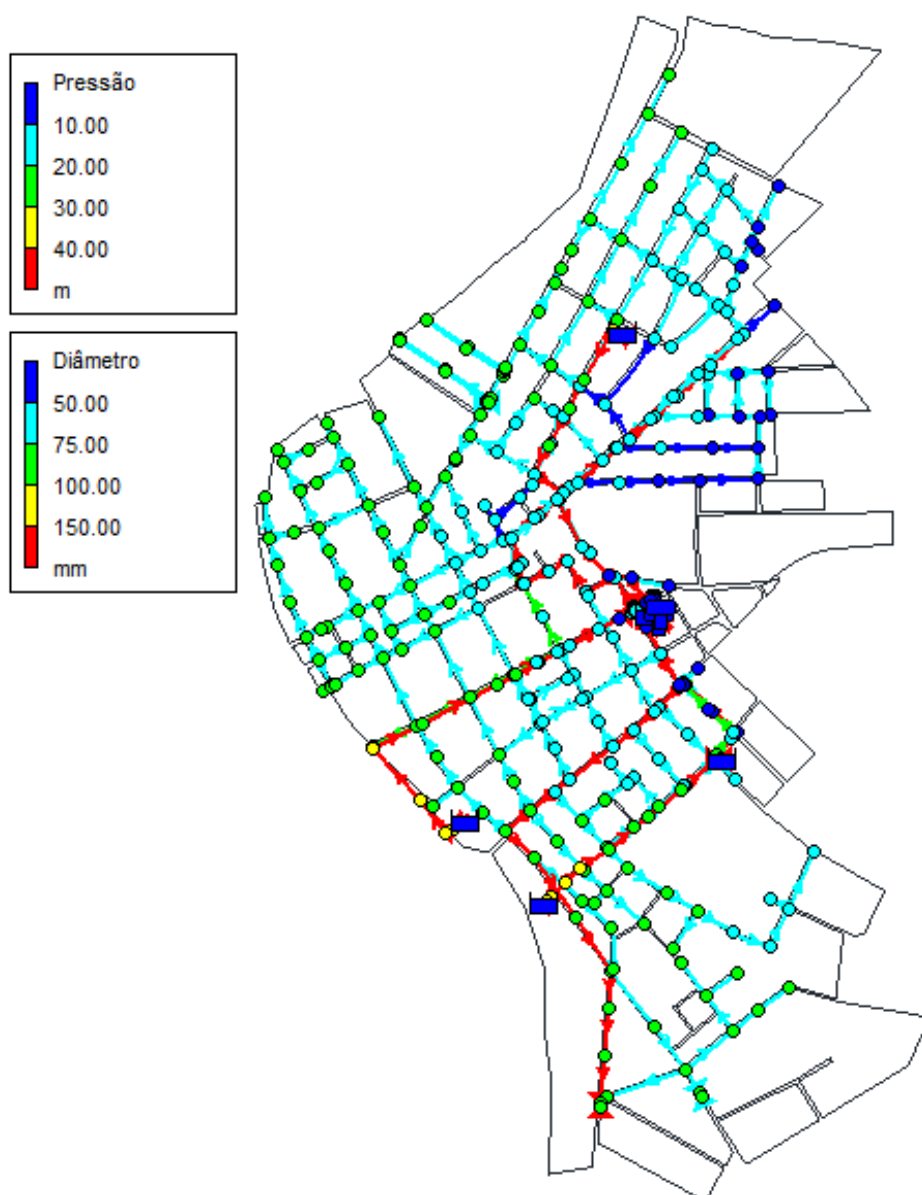


Figura 5 - Rede traçada

### ETAPA 03 – VINCULAÇÃO DAS INFORMAÇÕES COMERCIAIS COM OPERACIONAIS

A última etapa necessária para iniciar a simulação no EPANET 2.0 é correlacionar às informações comerciais com as informações operacionais do sistema. Para correlação foi realizada a definição do consumo base em cada nó, que se obteve a partir de informações comerciais disponibilizadas por SANESUL (2014).

A definição do consumo base em cada nó é a última informação necessária para iniciar a simulação no EPANET 2.0, a qual se obteve a partir de informações comerciais disponibilizadas por SANESUL (2014). Para conhecimento do consumo base, buscou-se a inscrição de cada usuário presente no Setor Operacional Centro e seu respectivo consumo micromedido mensal registrado.

A Figura 6 mostra a estrutura de composição da inscrição de água definida por SANESUL (2014). A numeração representa a regional (Coxim), o município (Coxim), o número de distritos atendidos, o setor comercial (o Setor Operacional Centro abrange três setores comerciais 001, 002 e 003), as quadras, o número dos lotes, número de economias de água e um dígito verificador. Esta estrutura auxiliará na vinculação dos consumos registrados com os nós no EPANET 2.0, uma vez que cada inscrição apresenta um consumo mensal registrado.

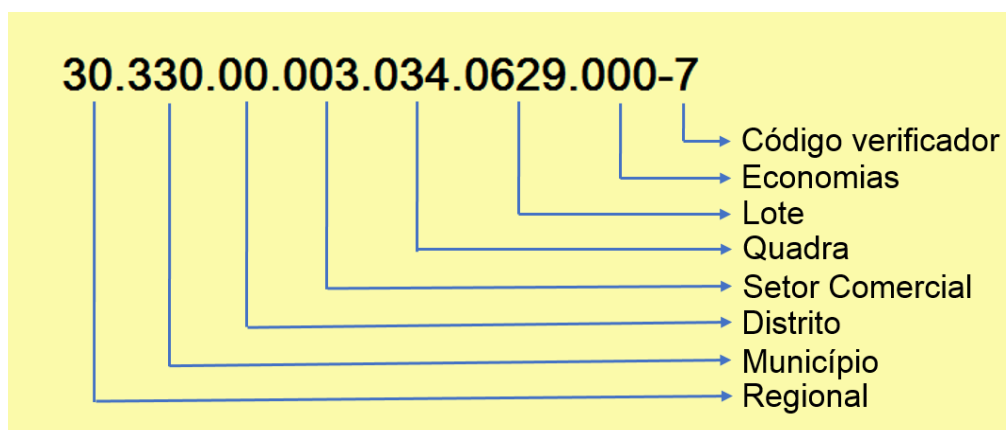


Figura 6 - Estrutura da Inscrição

Para vinculação dos consumos aos nós, foi necessário fazer o levantamento de todas as inscrições existentes no Setor Operacional Centro. O levantamento foi feito com base nos *overlays* disponibilizados por SANESUL (2014). Os *overlays* representam as quadras com os respectivos lotes, como dito anteriormente, essas variáveis compõem a inscrição de cada usuário. Os *overlays* são representados conforme a Figura 7.

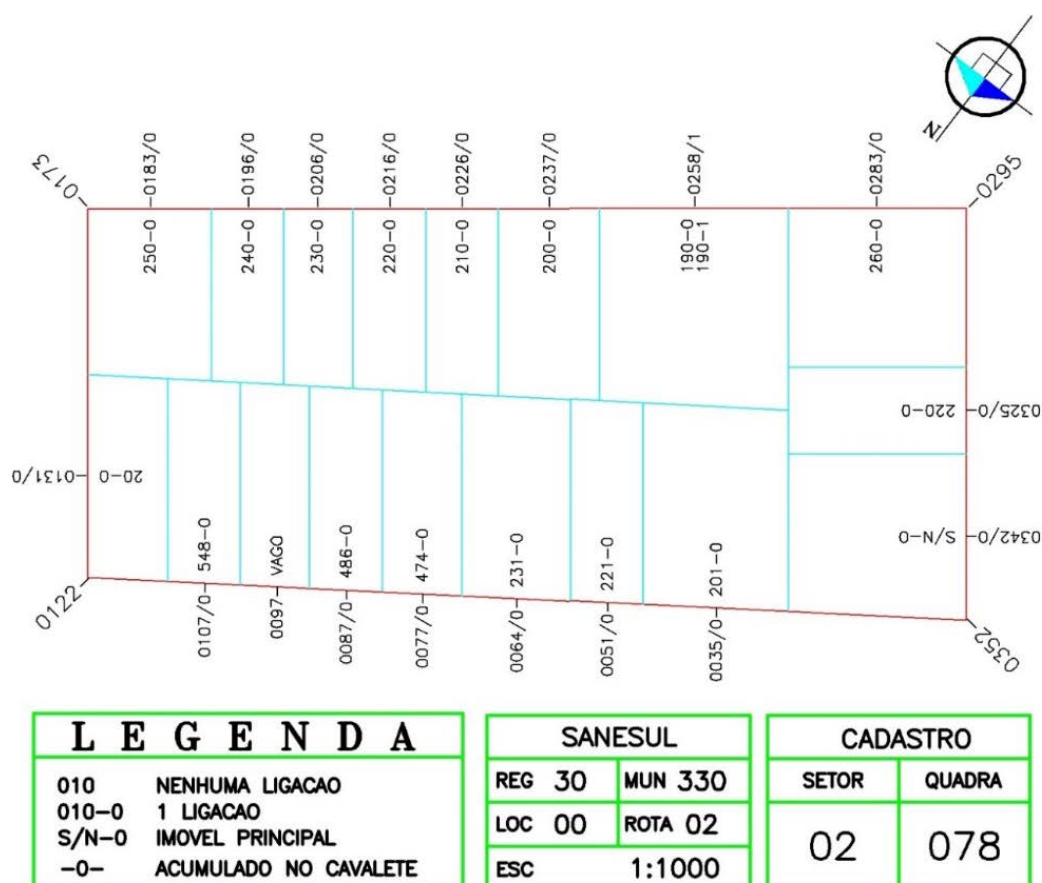


Figura 7 - Exemplo de Overlay

Os *overlays* em conjunto possibilitam a espacialização dos consumos da área de estudo, de modo que os consumos das inscrições são ligados ao nó correspondente à respectiva área de influência, conforme Figura 8.



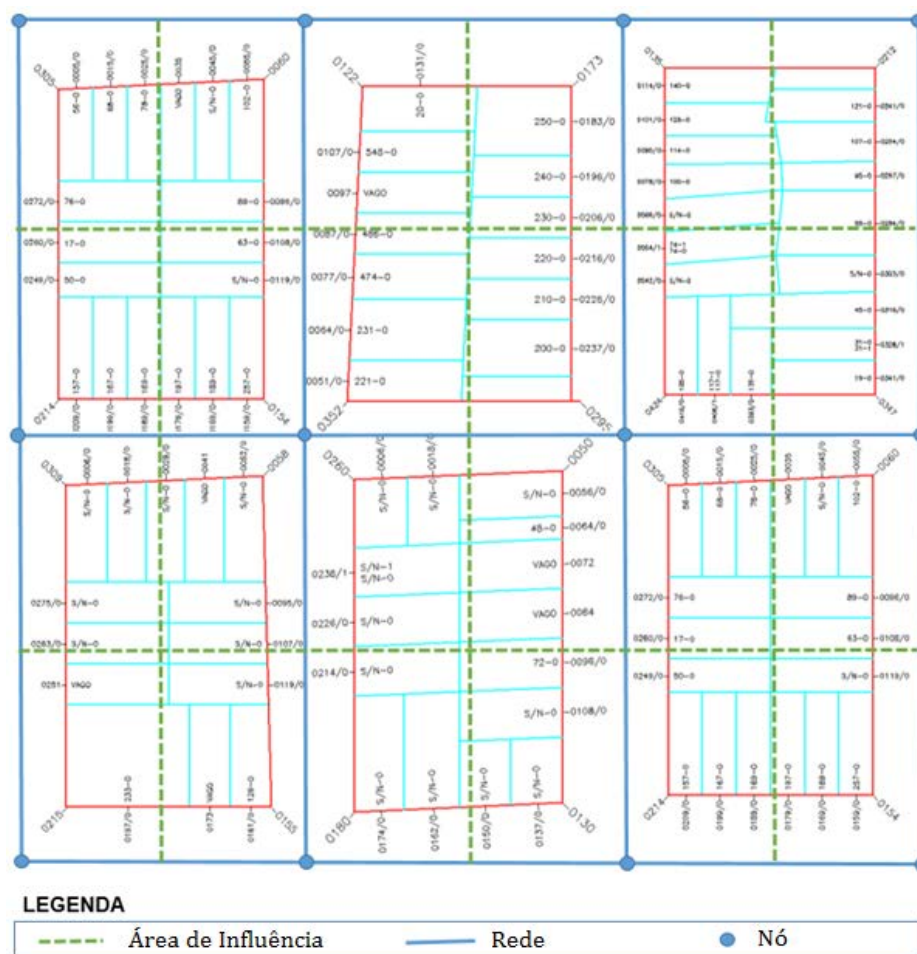


Figura 8 - Espacialização dos Consumos

Após a extração de todos os códigos presentes nos *overlays*, foi feita a composição de cada inscrição no arquivo em *excel*. Como o Setor Operacional Centro encontra-se dentro da regional Coxim, no Município de Coxim e o Sistema Coxim não atende outras localidades, os primeiros valores ficaram fixos. Ao mesmo tempo da extração foi feita a vinculação de cada inscrição ao nó mais próximo. A Tabela 3 mostra parte das 1.932 inscrições existentes no Setor Operacional Centro e seus respectivos nós de influência.

Tabela 3 - Vínculo de Inscrições aos Nós

Regional	Município	Distrito	Setor	Quadra	Lote	Economia	Matrícula	Nó
30	330	00	003	148	1564	000	1564/0-S/N-0	N197
30	330	00	003	148	1060	000	1060/0-508-0	N123
30	330	00	003	148	1040	000	1040/0-500-0	N123
30	330	00	003	148	1028	000	1028/0-482-0	N123
30	330	00	003	148	1014	000	1014/0-476-0	N123
30	330	00	003	148	0999	000	0999/0-462-0	N123
30	330	00	003	148	0984	000	0984/0-444-0	N123
30	330	00	003	148	0967	000	0967/0-430-0	N123

Após a criação da planilha de vínculo dos nós às respectivas ligações, definiu-se os consumos referentes a cada ligação a partir do banco de dados da concessionária (Tabela 4). Os dados recebidos apresentavam as leituras mensais dos hidrômetros de cada uma das 1.932 ligações com valores acumulados nos meses de junho, julho, agosto e setembro. O cálculo do volume mensal de água consumido foi realizado pela diferença do mensal atual em relação ao anterior. Desta forma, definiu-se o volume correspondente a cada ligação. Para o carregamento dos nós, foi feita a soma dos consumos referentes às inscrições vinculadas ao mesmo nó.

**Tabela 4 - Banco de Dados Comerciais**

Matrícula	Local	Inscrição	Número do Imóvel	Economia				Situação da Água	Ano e Mês da Leitura	Leitura
				Res.	Com.	Ind.	Púb.			
30631242	COXIM	30330000010020008000	00650	0	1	0	0	Ativa	201406	723
30631242	COXIM	30330000010020008000	00650	0	1	0	0	Ativa	201407	739
30631242	COXIM	30330000010020008000	00650	0	1	0	0	Ativa	201408	755
30631242	COXIM	30330000010020008000	00650	0	1	0	0	Ativa	201409	769
30070412	COXIM	30330000010020086000	00120	0	1	0	0	Cortada	201406	380
30070412	COXIM	30330000010020086000	00120	0	1	0	0	Cortada	201407	0
30070412	COXIM	30330000010020086000	00120	0	1	0	0	Cortada	201408	380
30070412	COXIM	30330000010020086000	00120	0	1	0	0	Cortada	201409	380
30276688	COXIM	30330000010020086001	00120	0	1	0	0	Cortada	201406	0
30276688	COXIM	30330000010020086001	00120	0	1	0	0	Cortada	201407	0

**Fonte: SANESUL, 2014**

Em seguida, as perdas no Setor Operacional Centro foram estimadas através da associação do volume produzido com o volume consumido. O volume produzido foi calculado através da vazão recalculada pela EAT-001 para o REL-001, de modo que se identificou 258 horas médias de trabalho do conjunto motor-bomba e sua respectiva vazão de 107 m³/h, de modo a gerar um volume produzido de 27.606 m³/mês. O volume mensal consumido foi obtido considerando os maiores consumos por ligação nos 3 meses de dados recebidos. Desta forma, obteve-se uma vazão de 7,96 l/s que equivale a um volume mensal de 20.888 m³.

Para verificar a confiabilidades do valor obtido, estimou-se a população do Setor Operacional Centro pela taxa de 2,8 habitantes por ligação, associada às 1739 ligações ativas no referido setor, de modo a gerar uma população de aproximadamente 4.870 habitantes. A razão entre o volume consumido e o número de habitantes estimado levou a uma captação de aproximadamente 140 l/hab.dia, considerada adequada e ligeiramente superior à captação do Sistema Coxim (128,48 l/hab.dia) em virtude das peculiaridades da região central do município, como o maior poder aquisitivo do setor, que leva a um aumento no consumo de água.

As perdas do Setor Operacional Centro foram calculadas como sendo a diferença entre o volume produzido e consumido na razão do volume produzido. As perdas calculadas foram de 24,3%, valor muito próximo às perdas observadas no Sistema Coxim (24,2%). A correção dos consumos dos nós foi feita através do acréscimo das perdas no sistema, através do fator de correção 1,243.

O bom desempenho da ferramenta está condicionado à sua alimentação contínua por meio dos dados comerciais registrados mensalmente nas leituras de consumo. O procedimento para importação dos dados atualizados no modelo é relativamente simples, pois necessita apenas da conversão dos dados tabulados em arquivo de texto, o que facilita sua execução na rotina operacional do sistema.

## MÓDULO 02: VALIDAÇÃO DO MODELO

Este módulo objetiva a verificação de conformidades do modelo criado e a avaliação hidráulica após a simulação do modelo.

## **ETAPA 01 – VERIFICAÇÃO E AVALIAÇÃO HIDRÁULICA DO MODELO**

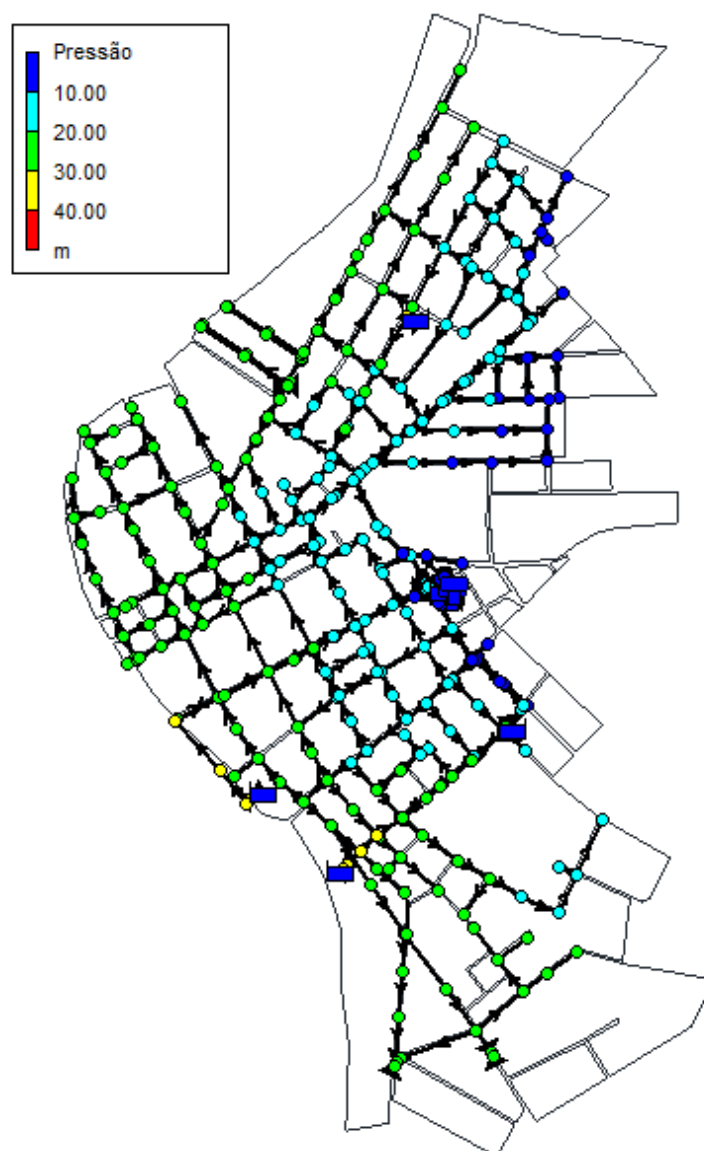
Nesta etapa é realizada a verificação dos dados obtidos através da simulação hidráulica do Setor Operacional Centro com dados do sistema real. Para isto, foi feita a comparação entre a pressão simulada no EPANET 2.0 e a pressão real do sistema, medida em campo, onde foram definidos pontos estratégicos para tal comparação. Esta verificação conduz a resultados mais confiáveis e indica se o modelo criado está coerente com o sistema real.

É realizada também, a avaliação do modelo por meio da simulação hidráulica. Para a simulação foi adotado um período de avaliação de 72 horas, que produz melhores resultados quando comparados a períodos menores (24 horas), refletindo o sistema real de forma satisfatória. Foi feita uma análise na consistência dos dados simulados, confrontando-os com o que a literatura e as normas recomendam. Os elementos hidráulicos avaliados foram: pressões em cada nó, velocidades na rede, carga hidráulica do REL-001 e produção da EAT-001.

## **RESULTADOS**

Através do levantamento e lançamento das informações referentes ao sistema de abastecimento de água no EPANET 2.0 chegou-se a um modelo hidráulico para Setor Operacional Centro. Então foi possível verificar a conformidade do modelo criado e a avaliação hidráulica após a simulação do modelo.

O primeiro elemento avaliado após a simulação hidráulica foram as pressões na rede. Segundo ABNT (1994), a pressão estática máxima nas tubulações distribuidoras deve ser de 50 m.c.a, e a pressão dinâmica mínima, de 10 m.c.a.



**Figura 9 - Pressões no Modelo Hidráulico**

Como mostra a Figura 9, as pressões do Setor Operacional Centro estão dentro do que a norma preconiza, cabe ressaltar que as pressões mantiveram-se dentro dos padrões nas 72 horas simuladas. Quanto a velocidade, a ABNT (1994) estabelece que a velocidade mínima nas tubulações deve ser de 0,6 m/s, e a máxima, de 3,5 m/s. Observou-se que as velocidades simuladas estão abaixo de 0,6 m/s nos trechos da rede de distribuição, entretanto, não ultrapassaram a máxima em todas as horas simuladas. As baixas velocidades se devem ao superdimensionamento gerado após a setorização da área de estudo.

Para a verificação das pressões calculadas através do modelo, foram realizadas medições em campo em quatro pontos (N63, N130, N227 e N263) durante três dias. As medições foram realizadas em ligações próximas aos nós escolhidos. Foi feita a medição de pressão no cavalete com o auxílio de um manômetro com escala de um m.c.a. As medições foram feitas em horários próximos durante os três dias de medição.

Tabela 5 - Pressões Medidas e Simuladas

Ponto	Nó	Dia	Horário	Pressão Medida (m.c.a.)	Pressão Simulada	Diferença de Pressão (m.c.a.)	Diferença Percentual
P1	N227	1	10:05	22	24,36	1,36	5,58%
		2	10:07	23			
		3	10:08	23			
P2	N130	1	10:35	13	13,42	0,42	3,13%
		2	10:28	13			
		3	10:31	13			
P3	N63	1	10:20	25	26,77	0,77	2,88%
		2	10:20	26			
		3	10:21	26			
P4	N236	1	10:00	22	23,85	1,85	7,76%
		2	09:55	22			
		3	09:58	22			

As pressões levantadas em campo apresentaram-se ligeiramente superiores às simuladas no EPANET 2.0, conforme apresentado na Tabela 5. A maior diferença observada foi de 7,76% e a menor de 2,88%, estes valores são justificáveis tendo em conta que as cotas dos nós no modelo foram interpoladas e o manômetro utilizado nas medições em campo possuía uma escala de um metro.

Segundo WRC,1989 *apud* Salvino, 2012, as diferenças de pressão não podem exceder 2 m.c.a. em 100% das medições de pressão, o que mostra que o modelo está adequado por apresentar uma diferença máxima de 1,85 m. A Figura 10 ilustra a diferença nas pressões medidas e simuladas nos pontos definidos.

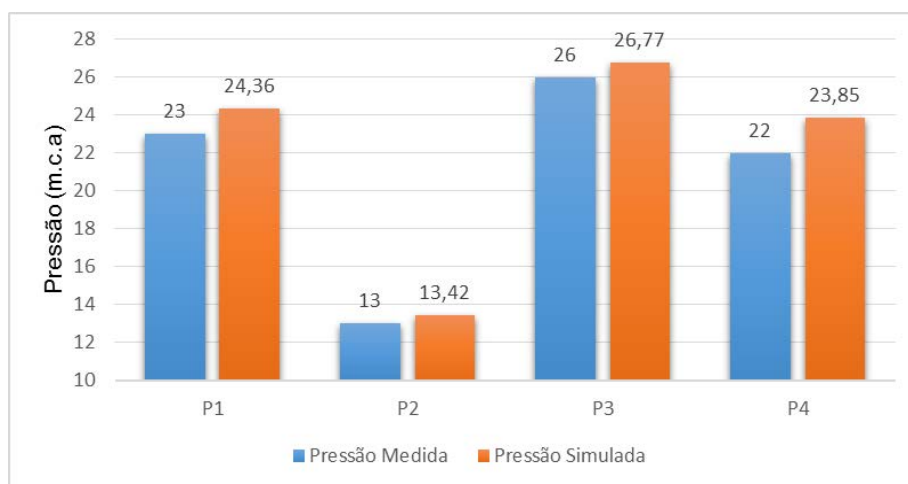


Figura 10 - Verificação das Pressões Medida e Simulada

## CONCLUSÕES

O modelo hidráulico criado apresentou desempenho satisfatório em relação à representatividade das características reais do Setor Operacional Centro do sistema de abastecimento de água de Coxim - MS, o qual possui dados comerciais consolidados, o que agrega confiabilidade à ferramenta operacional criada.

Com a utilização da estimativa real de demanda, a ferramenta possibilita a simulação e análise de manobras operacionais, automação do sistema, identificação de vazamentos e consumos indevidos, elaboração de planos

de contingência e simulação de alterações no sistema, como a incorporação de novos loteamentos e empreendimentos.

A ferramenta operacional criada a partir da alimentação do modelo com dados operacionais e comerciais demonstrou-se versátil, acessível e confiável, de modo que possa ser utilizada na rotina operacional do sistema. A metodologia de correlação dos dados comerciais e operacionais atendeu os objetivos deste trabalho, embora haja necessidade de maiores esforços na fase de espacialização dos consumos por meio da vinculação das inscrições comerciais das ligações de água aos respectivos nós de influência.

A avaliação do modelo hidráulico mostrou que o sistema encontra-se em conformidade com os parâmetros estabelecidos pela literatura e normas vigentes relativos à pressão na rede. Entretanto, a rede apresentou velocidades de água inferiores aos limites definidos. Recomenda-se que sejam adotados procedimentos operacionais como descargas periódicas de rede a fim de promover a remoção de sólidos depositados.

A implantação da ferramenta demandará menores esforços com a inclusão na estrutura do cadastro comercial do sistema um campo destinado a identificar o nó do modelo hidráulico em cada inscrição associada. A ferramenta operacional criada apresenta baixo custo, o que possibilita seu uso em sistemas de pequeno porte, onde há dificuldade em se adquirir ferramentas mais complexas e onerosas.

A utilização de modelagem na operação, desde que haja alimentação contínua do modelo por meio dos dados comerciais registrados, torna-se fonte de consulta como cadastro geral do sistema, uma vez que a ferramenta engloba informações físicas, operacionais e comerciais (localização e consumos) com um processo de constante validação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEGRE, H. COELHO, S.T. ALMEIDA, M.C. e VIEIRA, P. Controlo de perdas de água em sistemas públicos de adução e distribuição. Edição: Instituto Regulador de Águas e Resíduos, Instituto de Água e Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa – Portugal, 2005.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12218 - Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro, 1994.
3. CARRIJO, I.B. Extração de regras operacionais ótimas de sistemas de distribuição de água através de algoritmos genéticos multiobjetivo e aprendizado de máquina. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2004.
4. GOMES, H. P. 2<sup>a</sup>. ed. revisada e ampliada. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB. 2009.
5. MENESES R. A. Diagnóstico operacional de Sistemas de Abastecimento de Água: o caso de Campina Grande. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, UFCG, 2011.
6. ROSSMAN, L.A. EPANET 2.0 – Manual do Usuário (tradução para língua portuguesa). Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba, UFPB, BRASIL, 2002.
7. SELVA, R.V., PEREIRA, P.C.B, BORTOLÁS, R. Modelagem Hidráulica do Sistema de Abastecimento de Água de São Gabriel do Oeste / MS – Brasil. I CONFERÊNCIA DA INICIATIVA NACIONAL PARA SIMULAÇÃO DE SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA (INSSAA); 10 e 11 de Maio, 2007; Barcelos: Laboratório Nacional de Engenharia Civil; 2007.
8. SANESUL – Empresa de Saneamento do Estado de Mato Grosso do Sul. Informações técnico-operacionais de Coxim, MS, 2014.
9. WALSKI, T. M., CHASE, D. V., SAVIC, D. A. Water Distribution Modeling. 1<sup>a</sup>. ed. Waterbury: Haestad Press, 2001.
10. WRC. Water Research Centre. Network Analysis – A Code for Practice. Published by WRC, Swindon, UK. 1989.