

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE GOIÁS
CÂMPUS ANÁPOLIS DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS HENRIQUE SANTILLO
MESTRADO *STRICTO SENSU* EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

**REDUÇÃO DE PERDAS FÍSICAS EMPREGANDO A SETORIZAÇÃO
DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO
COCALZINHO DE GOIÁS-GO**

Rogério Moura de Queiroz

ANÁPOLIS – GO
FEVEREIRO/2016

**REDUÇÃO DE PERDAS FÍSICAS EMPREGANDO A SETORIZAÇÃO
DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO
COCALZINHO DE GOIÁS-GO**

ROGÉRIO MOURA DE QUEIROZ
Engenheiro Civil e de Segurança do Trabalho

ORIENTADOR: PROF. DR. PAULO MÁRCIO FERNANDES VIANA

Dissertação apresentada à Universidade Estadual de Goiás – UEG, Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Agrícola – Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, para obtenção do título de MESTRE.

ANÁPOLIS – GO
FEVEREIRO/2016

Queiroz, Rogério Moura de.

Redução de perdas físicas empregando a setorização de redes de distribuição de água: estudo de caso Cocalzinho de Goiás-GO / Rogério Moura de Queiroz. - 2016.

137 f. il.

Orientador: Prof. Dr. Paulo Márcio Fernandes Viana.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Goiás. Câmpus Anápolis de Ciências Exatas e Tecnológicas Henrique Santillo. Programa de Pós-Graduação *Strictu Sensu* em Engenharia Agrícola, 2016.

Bibliografia.

1. Perdas de água 2. Simulação hidráulica. 3. Calibração. I. Título.

**REDUÇÃO DE PERDAS FÍSICAS EMPREGANDO A SETORIZAÇÃO DE REDES
DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO COCALZINHO-GO**

Por

Rogério Moura de Queiroz

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de

MESTRE EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

Aprovado em 29/01/2016



Prof. Dr. Paulo Márcio Fernandes Viana
Orientador
UEG/CCET



Prof. Dr. Itamar Rosa Teixeira
Membro
UEG/CCET



Prof. Dr. Kleber Teodomiro Martins Formiga
Membro
UFG/EA

À minha esposa Carol pelo apoio incondicional,
alicerce em minhas ausências para dedicação aos estudos
e incentivo nos momentos difíceis.

Aos meus queridos filhos João Pedro e Antônio.

À minha querida irmã Elizabeth, *in memoriam*.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus por me guiar na escolha dos meus caminhos, protegendo-me e confortando-me nas dificuldades.

A Prof^ª. Dr^ª. Anamaria Achtschin Ferreira pela orientação no início de minhas pesquisas, mas principalmente pela acolhida num momento em que eu me encontrava ainda sem orientador.

Ao Prof. Dr. Paulo Márcio Fernandes Viana pelos ensinamentos, críticas, oportunidades oferecidas e confiança em meu trabalho, na realização de mais um dos meus projetos.

Ao colega de trabalho e de profissão Hiago Martins Borges pela generosidade, profissionalismo e grande boa vontade em me auxiliar em todos e em qualquer momento.

A Fapeg pela concessão da bolsa de estudos.

A Saneago pelo apoio logístico e financeiro para realização do presente estudo.

Aos colegas de trabalho Ronaldo, Valdeci, Luís Fernando, Carlos, Rubenilza, Naildes e Thiago pelo apoio impagável.

MUITO OBRIGADO!

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Sistema público de abastecimento de água	3
2.2. Perdas de água	4
2.2.1. Panorama internacional	5
2.2.2. Perdas de água no Brasil	6
2.2.3. Balanço Hídrico e Índice de Vazamento da Estrutura - IVI	8
2.2.4. Gerenciamento de perdas	11
2.2.4.1. Relação entre vazamento e pressão	13
2.2.4.2. Setorização	15
2.2.4.3. Simulação e calibração de redes	17
2.2.4.4. Distrito de medição e controle	23
2.2.4.5. Vazão mínima noturna	25
3 MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Área de estudo	28
3.2. Caracterização do sistema de abastecimento	29
3.3. Balanço hídrico	32
3.4. Métodos utilizados	34
3.4.1. Fluxograma das atividades	34
3.4.2. Estudos preliminares	35
3.4.3. Implantação dos DMCs	35
3.4.4. Medição de pressão instantânea	37
3.4.5. Medição de pressão e vazão por período estendido	37
3.4.6. Modelagem hidráulica	38
3.4.6.1. Demandas nos nós	39
3.4.6.2 Padrão temporal	39
3.4.6.3. Reservatório	42
3.4.6.4. Bomba	42
3.4.6.5. Configuração da modelagem hidráulica	43
3.4.7. Calibração	44
3.4.8. Setorização	47
3.4.8.1. Dimensionamento do projeto	47
3.4.8.2. Implantação dos setores	50
3.4.8.3. Teste de estanqueidade	51
3.4.9. Fator de pesquisa e retirada de vazamentos	52
3.4.10. Análise de perdas e combate às irregularidades	53
3.5. Materiais utilizados	53

3.5.1. Medições de pressão instantânea	53
3.5.2. Medições de pressão com <i>data-loggers</i>	54
3.5.3. Medições de vazão	55
3.5.4. Pesquisa de vazamentos	56
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1. Modelagem hidráulica do sistema de distribuição.....	57
4.2. Calibração hidráulica	58
4.3. Comportamento vazão x pressão.....	63
4.4. Avaliação de perdas	67
5 CONCLUSÕES.....	70
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
APÊNDICE	77

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Volumes globais de água perdidos estimado pelo Banco Mundial (modificado de THORNTON et al., 2008).....	5
TABELA 2. Redes de distribuição de água existentes em Cocalzinho de Goiás.....	30
TABELA 3. Indicadores operacionais do sistema de abastecimento de água tratada da cidade de Cocalzinho de Goiás para o ano de 2014.	32
TABELA 4. Coeficientes e vazões obtidas nas entradas dos distritos de medição e controle.	40
TABELA 5. Características de projeto dos setores.	48
TABELA 6. Coeficientes de eficiência de Nash e Stuclyffe para os valores de vazão e pressão em relação aos valores observados.....	59
TABELA 7. Erros absolutos para os valores médios de pressão em relação aos valores observados.	59
TABELA 8. Erros relativos para os valores médios de vazão em relação aos valores observados.	59
TABELA 9. Erros absolutos e relativos em relação aos valores observados para o cenário 3 antes e após a microcalibração.	62

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Perda de água por país cadastrado no IBNET - 2011 (DANILENKO et al., 2014).	6
FIGURA 2. Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2013, segundo região geográfica e média do Brasil (SNIS, 2014).	7
FIGURA 3. Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços de abrangência regional participantes do SNIS em 2013, segundo prestador de serviços (SNIS, 2014).....	8
FIGURA 4. Parcelas das perdas de água (reais e aparentes) em relação ao volume que entra no sistema (ABES, 2013).	9
FIGURA 5. Cruz de perdas reais (THORNTON, 2002).	11
FIGURA 6. Fator N1 – Relação vazão x pressão (THORNTON, 2003).	15
FIGURA 7. Setor de abastecimento típico (SOARES, 2004).	16
FIGURA 8. Configuração básica do ambiente de trabalho do Epanet 2 (GOMES E SALVINO, 2009).....	19
FIGURA 9. Áreas de controle de perdas (ABENDE, 2001/2002).	25
FIGURA 10. Método das vazões mínimas noturnas (modificado – AESBE, 2015).....	26
FIGURA 11. Localização do município de Cocalzinho de Goiás, Goiás.	28
FIGURA 12. Centro de reservação do sistema de abastecimento público de água de Cocalzinho de Goiás.....	29
FIGURA 13. Configuração das redes de distribuição de água tratada de Cocalzinho de Goiás.	31
FIGURA 14. Balanço hídrico da área em estudo em 2014.	33
FIGURA 15. Fluxograma de atividades.	34
FIGURA 16. Disposição dos distritos de medição e controle e pontos de interesse.....	36
FIGURA 17. Coleta de dados de vazão e pressão na saída do reservatório apoiado.	38
FIGURA 18. Coleta de dados de pressão em ponto crítico.....	38
FIGURA 19. Padrão de consumo: (a) DMC 1, (b) DMC 2 e (c) DMC 3.	41
FIGURA 20. Padrão temporal de nível para o reservatório apoiado.....	42
FIGURA 21. Curva da bomba.	43

FIGURA 22. Configuração da modelagem hidráulica com isolinhas das cotas topográficas..	44
FIGURA 23. Composição dos cenários utilizados para a calibração das redes: (a) cenário 1, (b) cenário 2, (c) cenário 3 e (d) cenário 4.....	46
FIGURA 24. Desenho final do projeto de setorização de redes.....	49
FIGURA 25. Execução das ações de setorização: (a) implantação de registro, (b) capeamento e substituição de trecho de rede com aumento de diâmetro, (c) interligação de pontas de redes e (d) interligação de rede em anéis de distribuição.	51
FIGURA 26. Manômetro analógico com escala de 0 a 100 mH ₂ O.....	54
FIGURA 27. Maleta registradora de pressão (a) e datalogger (b).....	54
FIGURA 28. Macromedidores (a) ultrassônico e (b) eletromagnético.	55
FIGURA 29. Ambiente gráfico do programa LogChart II.	56
FIGURA 30. Haste metálica de escuta (a) e geofone eletrônico (b).	56
FIGURA 31. Comparação da média ao longo do tempo dos valores de pressão no sistema antes da calibração.....	57
FIGURA 32. Comparação da média ao longo do tempo dos valores de vazão no sistema antes da calibração.....	58
FIGURA 33. Mapa de calor da incidência de vazamentos para o ano de 2014.	60
FIGURA 34. Rugosidades e coeficientes emissores do cenário 3 antes da microcalibração...	61
FIGURA 35. Rugosidades e coeficientes emissores do cenário 3 após a microcalibração.....	62
FIGURA 36. Comportamento da vazão e pressão no DMC1 antes da setorização.	64
FIGURA 37. Comportamento da vazão e pressão no DMC1 após a setorização.	64
FIGURA 38. Comportamento da vazão e pressão no DMC2 antes da setorização.	65
FIGURA 39. Comportamento da vazão e pressão no DMC2 após a setorização.	66
FIGURA 40. Comportamento da vazão e pressão no DMC3 antes da setorização.	66
FIGURA 41. Comportamento da vazão e pressão no DMC3 após a setorização.	67
FIGURA 42. Evolução dos índices de perdas.	68
FIGURA 43. Comparativo do desempenho mês a mês do IP.	69

REDUÇÃO DE PERDAS FÍSICAS EMPREGANDO A SETORIZAÇÃO DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA: ESTUDO DE CASO COCALZINHO DE GOIÁS-GO

RESUMO

O crescimento populacional nas cidades tem aumentado a demanda por água em diversas regiões do mundo. Esse consumo requer a procura de novas fontes de recursos hídricos para o abastecimento. Contudo, verifica-se em vários países consideráveis volumes de água perdidos nos sistemas de abastecimento público. No Brasil as perdas de água na distribuição são elevadas, principalmente nas regiões norte e nordeste do país onde o gerenciamento ineficiente e a falta de investimentos no setor de saneamento são mais evidentes. Dessa forma, é necessário o desenvolvimento de mecanismos de simulação do sistema de distribuição, além de ações planejadas para combate às perdas de água no país. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi desenvolver e implantar um projeto de setorização de redes de distribuição de água para a cidade de Cocalzinho de Goiás-GO, de modo a melhorar a operação do sistema com consequente redução do índice de perdas na distribuição. Para o desenvolvimento do projeto foram avaliadas a pressão, a vazão, e particularmente a vazão mínima noturna, correlacionando-as com o índice de perdas antes e após a setorização das redes entre janeiro de 2015 e janeiro de 2016. A modelagem hidráulica do sistema de abastecimento de água tratada foi realizada através do *software EPANET 2* e a calibração através do *Epanet Calibrator*. A calibração da modelagem possibilitou dimensionar o projeto de setorização que foi implantado no período. Nas condições em que foi realizado o estudo pode-se concluir que a setorização de redes, mesmo sem a utilização de válvulas redutoras de pressão, e através do controle das vazões mínimas noturnas possibilitou a redução média das perdas reais em 19%. O melhor resultado foi obtido para o mês de dezembro de 2015 que recuperou 32,4% do volume perdido quando comparado com dezembro de 2014.

Palavras-chave: Perdas de água, simulação hidráulica, calibração, vazão mínima noturna.

PHYSICAL LOSSES REDUCTION USING SECTORIZATION OF WATER DISTRIBUTION NETWORKS: CASE STUDY COCALZINHO DE GOIÁS-GO

ABSTRACT

Population growth in cities has increased the demand for water in various regions of the world. This consumption requires the search for new sources of water to supply. However, there is in many countries considerable quantity of water lost in public water supply systems. In Brazil, the loss in water distribution is high, mainly in the north and northeast of the country where the inefficient management and lack of investment in the water sector are most evident. Thus, on the one hand it is necessary to join efforts and resources to expand the supply (production), on the other hand it is also necessary to manage the demand, especially nowadays where the scarcity of natural resources is already quite evident and severe. Thus, it is necessary the development of mechanisms for distribution systems simulation, as well as actions designed to combat water loss in the country. In this context, the aim of this paper was to develop and implement a sectorization design of water distribution networks to the city of Cocalzinho de Goiás-GO, in order to improve the system operation with consequent reduction of non-revenue water in the distribution. Pressure, flow, and particularly the night minimum flow were evaluated for the design of the project, correlating them with the non-revenue water before and after the sectorization of networks from January 2015 to January 2016. The hydraulic modeling of the water supply system was performed using EPANET 2 software and the calibration using Epanet Calibrator. The calibration of the modeling enabled design the sectorization project that was implemented in the period. In the conditions that the study was performed, it can be concluded that the sectorization of water networks, even without the use of pressure reducing valves, and through the control of night minimum flow enabled the average reduction of real losses by 19%. The best result was obtained for the month of December 2015 which recovered 32.4% of volume lost when compared with December 2014.

Keywords: Water losses, hydraulic simulation, calibration, minimum night flow.

1 INTRODUÇÃO

A água é fundamental para a manutenção da vida. Ela cumpre diversas funções nas mais variadas atividades desenvolvidas pelo homem, tais como: transporte de pessoas e mercadorias, abastecimento público, dessedentação de animais, produção de alimentos, geração de energia, processos industriais, lazer e paisagismo. Por muito tempo considerada recurso abundante e inesgotável, não houve preocupação com a sua preservação.

O aumento populacional, aliado ao processo de industrialização, ao longo dos anos, elevou substancialmente o consumo de água no planeta. Essa situação gerou a concentração de demanda por água potável e a contaminação dos corpos hídricos. A escassez de água tornou-se realidade a partir de então.

Nesse contexto, a limitação na disponibilidade de água doce e sua distribuição heterogênea nos continentes reforçam a necessidade de preservação e uso racional.

No Brasil o cenário não é diferente, pois a maior disponibilidade hídrica está concentrada nas regiões hidrográficas da Amazônia e do Tocantins-Araguaia, que apresentam reduzidas demandas consuntivas. Já as regiões com menor disponibilidade hídrica concentram o maior contingente populacional.

As regiões hidrográficas brasileiras são regidas pela Lei nº 9.433 de 1997, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos - PNRH. Nesse contexto, a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas. Assim, todos os setores usuários da água têm igualdade de acesso aos recursos hídricos. A única exceção vale para situações de escassez em que os usos prioritários da água passam a ser o abastecimento público e a dessedentação de animais. Como as demandas por água para os mais variados usos vêm aumentando, o número de conflitos de interesses envolvendo a água também evoluiu. Por isso, o governo deve agir no sentido de mediar tais conflitos que podem contrapor diversos setores, como: elétrico e hidroviário, saneamento e turismo, irrigação e elétrico, etc. Para garantir os usos múltiplos da água, é necessário que cada setor gerencie de forma racional seus usos da água visando reduzir o nível de desperdício e de perdas.

No setor de saneamento, as perdas de água na distribuição são bastante significativas. O gerenciamento ineficiente dos sistemas de abastecimento, aliado à vida útil avançada da infraestrutura das redes e ramais e à falta de investimentos são responsáveis por perdas de mais da metade do volume produzido. Dessa forma, a gestão das perdas tem sido evidenciada na maioria dos sistemas de abastecimento público.

De acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES (2013), em termos globais países como Japão, Alemanha e Austrália são referências no gerenciamento de perdas. O Brasil, por sua vez, com perdas de três a quatro vezes maiores que as dos países desenvolvidos, encontra-se em situação desfavorável, sendo notável o espaço para mudanças. Nesse sentido, as companhias de saneamento brasileiras devem buscar alternativas capazes de garantir a eficiência de seus sistemas de abastecimento.

Uma importante alternativa para o equilíbrio do sistema de distribuição é a setorização de redes. Prevista em projeto, ela consiste basicamente na divisão de uma rede em setores de abastecimento isolados. Dessa maneira, permite o razoável controle de pressões e o aperfeiçoamento da operação e manutenção das redes.

Para o desenvolvimento e implantação de um projeto de setorização é necessário o conhecimento do comportamento hidráulico do sistema e os possíveis resultados das intervenções propostas. A modelagem matemática através de programas computacionais tem sido uma ferramenta muito útil, indicando onde realizar as intervenções e colaborando na tomada de decisões pelos gestores.

No contexto deste trabalho, a cidade de Cocalzinho de Goiás, objeto de estudo, apresenta no boletim informativo da Saneamento de Goiás S.A., SANEAGO (2014), índice de perdas médio anual de 41,65%. Esse indicador encontra-se acima da média nacional brasileira, de 37%, segundo o Sistema Nacional de Informações do Saneamento - SNIS (2013). Por isso, houve a motivação para realização dessa pesquisa.

Nesse sentido, procurou-se verificar a hipótese de que a setorização de redes irá contribuir para a redução das perdas reais, mesmo sem a utilização de válvulas redutoras de pressão. Assim sendo, esse trabalho objetivou desenvolver e implantar um projeto de setorização de redes de distribuição de água para a cidade de Cocalzinho de Goiás-GO, para melhoria do sistema de abastecimento público existente e redução dos índices de perdas mensal e médio anual. Os objetivos específicos foram: a) mostrar que a simulação hidráulica pode auxiliar no planejamento de novos setores, bem como nas tomadas de decisões para medidas corretivas dos sistemas existentes; b) diminuir o volume de água perdido na retirada de vazamentos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sistema público de abastecimento de água

Sistemas de abastecimento de água podem ser definidos como sistemas projetados para fornecer água tratada em quantidade suficiente e com pressão satisfatória para os consumidores de determinada área de abrangência. A água é fornecida aos usuários através de um conjunto de tubulações, bombas, válvulas e outros acessórios (CLARK E TIPPEN, 1990).

De acordo com Mays (2004), as tubulações que compõem um sistema de abastecimento são geralmente classificadas em adutoras e redes de distribuição. As adutoras geralmente conduzem grandes quantidades de água a longas distâncias, tais como a partir de uma estação de tratamento até um reservatório de distribuição. Essas tubulações, normalmente de grandes diâmetros, seguem por caminhamentos rurais ou urbanos. Já as redes de distribuição possuem geralmente diâmetros menores e seguem os arruamentos das cidades. Os materiais mais comumente empregados em ambos os casos são o ferro fundido, o cloreto de polivinila (PVC) e o aço. Os ramais de ligação são tubos, incluindo acessórios, que transportam a água da rede de distribuição aos imóveis ou propriedades a serem atendidos. Eles podem ter diversos tamanhos, dependendo da quantidade de água necessária para satisfazer os usuários e, são dimensionados de modo a atender a pressão e vazão requeridos em normas técnicas específicas. Os reservatórios de distribuição são utilizados para o armazenamento de água capaz de suprir as flutuações da demanda e estabilizar as pressões no sistema.

As normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT para projetos de sistemas de abastecimento de água estão relacionadas a seguir:

- NBR 12211 - Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água, promulgada em 1992.

- NBR 12212 - Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea, promulgada em 1992.

- NBR 12213 - Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público, promulgada em 1992.

- NBR 12214 - Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público, promulgada em 1992.

- NBR 12215 - Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público, promulgada em 1991.

- NBR 12216 - Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público, promulgada em 1992.

- NBR 12217 - Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público, promulgada em 1994.

- NBR 12218 - Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público, promulgada em 1994.

2.2. Perdas de água

De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS (2014), as perdas de água se dividem em perdas aparentes e perdas reais. As perdas aparentes, também chamadas de perdas não físicas, estão relacionadas ao volume de água que foi efetivamente consumido pelo usuário, mas que, por algum motivo, não foi medido ou contabilizado, gerando perda de faturamento ao prestador de serviços. São falhas decorrentes de erros de medição (hidrômetros inoperantes, com submedição, erros de leitura, fraudes, equívocos na calibração dos hidrômetros), ligações clandestinas, *by pass*, irregulares nos ramais das ligações (conhecidos como gatos), falhas no cadastro comercial, etc. Nesse caso, então, a água é efetivamente consumida, mas não é faturada. Já as perdas reais, também conhecidas como perdas físicas, referem-se a toda água disponibilizada para distribuição que não chega aos consumidores. Essas perdas acontecem por vazamentos em adutoras, redes, ramais, conexões, reservatórios e outras unidades operacionais do sistema. Elas compreendem principalmente os vazamentos em tubulações da rede de distribuição, provocados principalmente pelo excesso de pressão, habitualmente em regiões com grande variação topográfica. Os vazamentos também estão associados à qualidade dos materiais utilizados, à idade das tubulações, à qualidade da mão-de-obra e à ausência de programas de monitoramento de perdas, dentre outros fatores.

Ainda, para entender “perdas” no sistema de abastecimento de água é importante o entendimento de que não existe “perda zero”. O combate às perdas é definido por dois limites: limite técnico, aquele possível de se alcançar utilizando todas as técnicas, tecnologias e recursos disponíveis no momento; limite econômico, nível de perdas em que o custo para recuperar um determinado volume supera o custo de produção e distribuição desse volume; geralmente este limite é atingido antes do limite técnico (AQUINO, 2007).

Até alguns anos atrás, a avaliação das perdas era distinta em cada país, ou mesmo em cada companhia de saneamento em um mesmo país. Nesse contexto, Alegre et al. (2000), procuraram padronizar o entendimento dos componentes dos usos da água em um sistema de

abastecimento propondo uma série de indicadores, onde se incluem os indicadores de perdas. São eles: índice de vazamento da infraestrutura, litros por ramal por dia, litros por ramal por dia por metro de pressão e metro cúbico por quilômetro de rede por hora. Entretanto, neste trabalho foi adotado o índice percentual de perdas na distribuição por ser o indicador tradicionalmente utilizado no Brasil pelo SNIS, além de sua fácil compreensão. O índice de perdas na distribuição (IP) é definido pela Equação 1:

$$IP = \left(\frac{(VP + VTI - VS) - VC}{(VP + VTI - VS)} \right) \cdot 100 \quad (1)$$

Onde:

IP = índice de perdas na distribuição (%);

VP = volume de água produzido (m³);

VTI = volume de água tratado importado (m³);

VS = volume de água de serviço (m³);

VC = volume de água consumido (m³).

2.2.1. Panorama internacional

A perda de água é um problema universal e ocorre tanto em países desenvolvidos quanto em países em desenvolvimento. O Banco Mundial estima que o volume de água perdido em todo mundo é de 48,6 bilhões de m³/ano (Tabela 1) e que, o volume de perdas reais ocorridas em países em desenvolvimento por si só é suficiente para abastecer cerca de 200 milhões de pessoas (THORNTON et al., 2008).

TABELA 1. Volumes globais de água perdidos estimado pelo Banco Mundial (modificado de THORNTON et al., 2008).

	Perdas reais	Perdas aparentes	Água não faturada	Unidades
Países desenvolvidos	9,8	2,4	12,2	bilhões m ³ /ano
Eurásia (CIS)	6,8	2,9	9,7	bilhões m ³ /ano
Países em desenvolvimento	16,1	10,6	26,7	bilhões m ³ /ano
Total	32,7	15,9	48,6	bilhões m ³ /ano

No livro *Parâmetros Internacionais para Redes de Operadoras de Saneamento (International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities – IBNET)*, Danilenko et al. (2014) realizaram estudo para estimar o desempenho das operadoras de saneamento no

que tange à perda de água. Nas operadoras cobertas pelo *IBNET*, a média de perdas de água constatada foi de 35%. Entretanto, de acordo com a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES (2013), como grandes países em desenvolvimento ainda não são cobertos pelo *IBNET* e as estatísticas desses países não são confiáveis, é mais provável que o nível médio de perdas de água em países em desenvolvimento gire em torno de 40-50%.

A Figura 1 apresenta os dados de perdas referentes ao ano de 2011 dos diversos países cadastrados no *IBNET*.

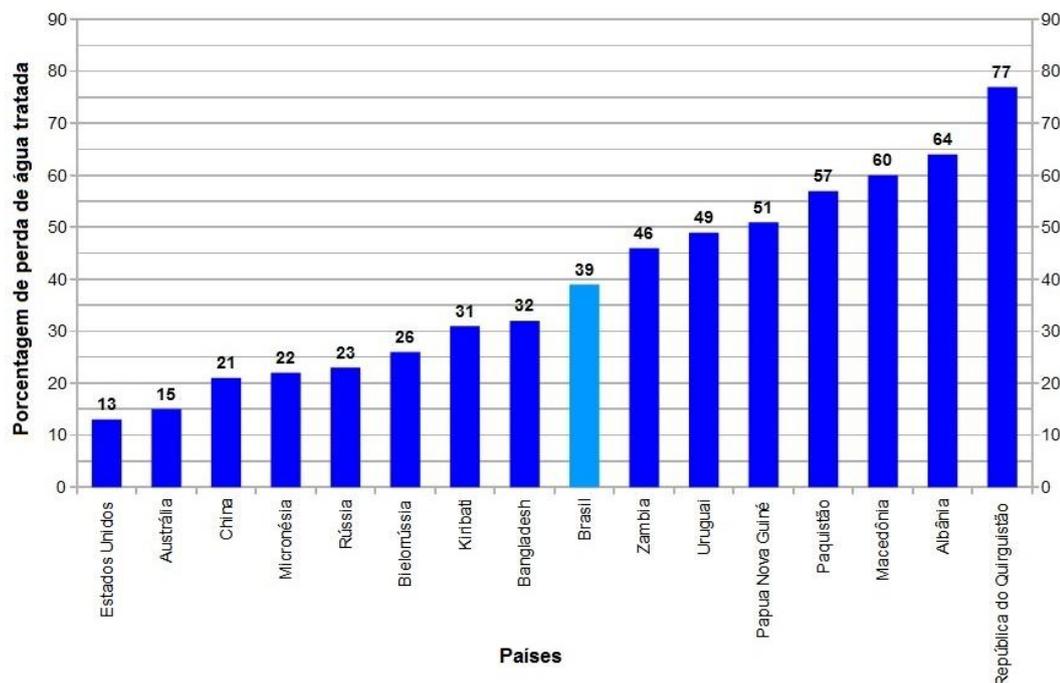


FIGURA 1. Perda de água por país cadastrado no *IBNET* - 2011 (DANILENKO et al., 2014).

Quando se compara o Brasil com países desenvolvidos, é notável o grande espaço para mudanças. Cidades da Alemanha e do Japão, países não cadastrados no *IBNET*, possuem 11% de perdas. Sendo assim, espera-se que o Brasil consiga reduzir seus níveis de perda em, no mínimo, dez pontos percentuais antes que possa atingir os níveis de perdas associados aos países desenvolvidos (ABES, 2013).

2.2.2. Perdas de água no Brasil

A preocupação com o uso racional da água no Brasil, em termos institucionais, evidenciou-se com a criação do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDa em 1997. O programa vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades tem por objetivo geral a promoção do uso racional da água de abastecimento público nas cidades brasileiras, em benefício da saúde pública, do saneamento

ambiental e da eficiência dos serviços, propiciando a melhor produtividade dos ativos existentes e a postergação de parte dos investimentos para a ampliação dos sistemas. A maior concentração de ações do PNCDA está no tema das perdas de água nos sistemas públicos de abastecimento. Nesse contexto, foi celebrado convênio com a Fundação para Pesquisa Ambiental – FUPAM, vinculada à Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo tendo como escopo a realização de estudos especializados e à organização de um conjunto de Documentos Técnicos de Apoio – DTA. Dentre esses documentos pode-se destacar a publicação dos “Guias Práticos”, que visam ao atendimento a uma forte demanda, por parte das equipes operacionais dos prestadores de serviços de saneamento, por documentos de fácil entendimento, aplicação e praticidade, quando da realização de serviços de campo (PNCDA, 2007).

Também vinculado à Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental do Ministério das Cidades, o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento - SNIS é reconhecido pela publicação do Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto que, dentre várias informações, apresenta os índices de perdas dos prestadores de serviços no país.

O Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2013, segundo região geográfica e média do Brasil apontam para valores da ordem 50% para a região Norte do país, 45% para a região Nordeste, 33,5% para as regiões Sudeste e Centro-Oeste e 35% para a região Sul, conforme pode ser visto na Figura 2.

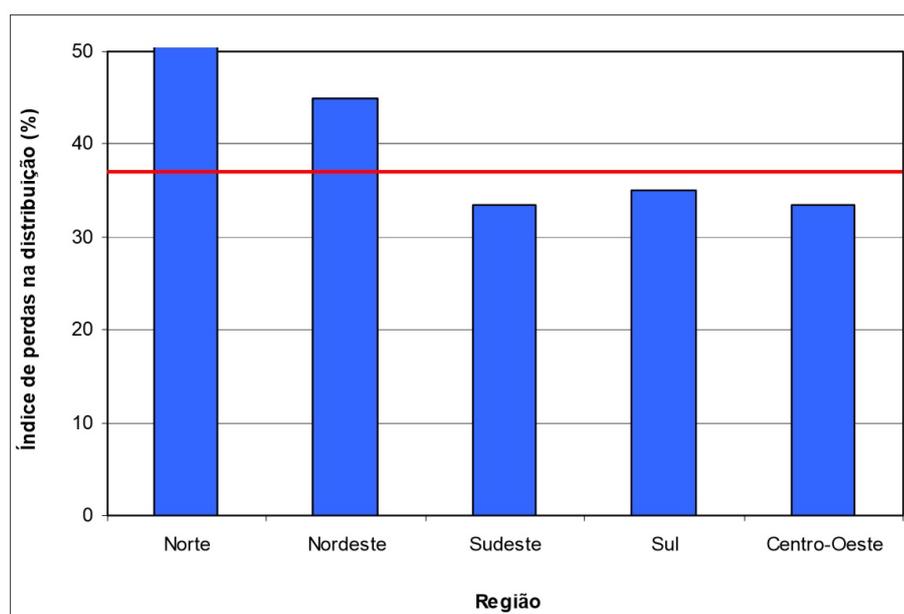


FIGURA 2. Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços participantes do SNIS em 2013, segundo região geográfica e média do Brasil (SNIS, 2014).

O valor médio do índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviço de abrangência regional no ano de 2013 foi igual a 37%. A Figura 3 permite observar que, em 2013, apenas três prestadores apresentaram índice inferior a 30%, sendo eles: a Companhia do Norte de Minas Gerais, a Companhia do Distrito Federal e a Companhia do Estado de Goiás. Chama a atenção que todos os prestadores de serviços que apresentam perdas superiores a 50% se situam nas regiões Norte e Nordeste (SNIS, 2014).

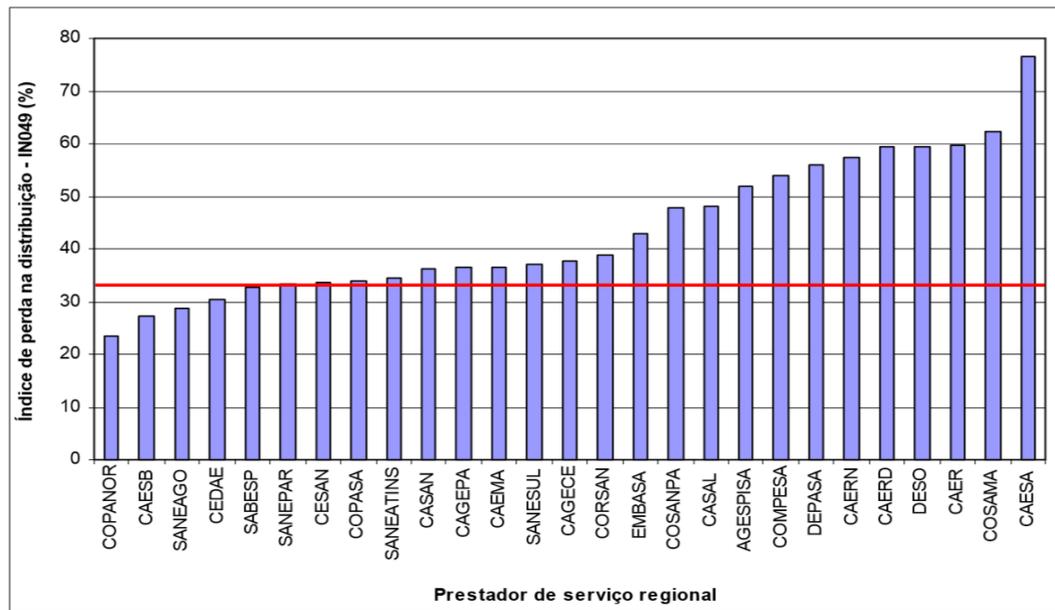


FIGURA 3. Índice de perdas na distribuição dos prestadores de serviços de abrangência regional participantes do SNIS em 2013, segundo prestador de serviços (SNIS, 2014).

2.2.3. Balanço Hídrico e Índice de Vazamento da Estrutura - IVI

De acordo com a Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento – AESBE (2015) os balanços hídricos são “balanços de massa” feitos com dados anuais, comerciais e operacionais de uma mesma base física e temporal. Permitem a obtenção direta dos volumes perdidos em vazamentos e é modelado para um grau de confiança de 95%, sendo as incertezas de medição/estimativas associadas a cada dado de entrada.

O balanço hídrico nos sistemas de distribuição de água é uma ferramenta eficaz para a gestão de perdas, e é utilizada em diversas companhias de saneamento. Com o auxílio dessa auditoria é possível identificar e quantificar quais medidas devem ser implementadas para reduzir o uso e as perdas de água, possibilitando a redução dos custos e a conservação dos recursos hídricos (GANORKAR et al., 2013).

Através de uma matriz que representa o Balanço Hídrico, a *International Water Association – IWA*, (2000) relaciona as perdas físicas ou reais e as perdas de faturamento através da chamada Água Não Faturada (*Non-Revenue Water*). A Figura 4 apresenta o Balanço Hídrico desenvolvido pela IWA, que esquematiza os processos pelos quais a água pode passar desde o momento em que entra no sistema de abastecimento.

Água que entra no sistema (inclui água importada)	Consumo autorizado	Consumo autorizado faturado	Consumo faturado medido (inclui água exportada)	Água faturada	
			Consumo faturado não medido (estimados)		
	Perdas de água	Consumo autorizado não faturado		Consumo não faturado medido (usos próprios, caminhão pipa, etc)	Água não faturada
				Consumo não faturado não medido (combate a incêndios, favelas, etc)	
		Perdas aparentes		Uso não autorizado (fraudes e falhas de cadastro)	
				Erros de medição (macro e micromedição)	
		Perdas reais		Perdas reais nas tubulações de água bruta e no tratamento (quando aplicável)	
				Vazamentos nas adutoras e/ou redes de distribuição	
	Vazamentos e extravazamentos nos reservatórios de adução e/ou distribuição				
		Vazamentos nos ramais (a montante do ponto de medição)			

FIGURA 4. Parcelas das perdas de água (reais e aparentes) em relação ao volume que entra no sistema (ABES, 2013).

Os componentes do Balanço Hídrico são assim definidos:

- Volume de entrada no sistema: corresponde ao volume anual de água que ingressou efetivamente nos sistemas distribuidores;
- Volume faturado: corresponde à soma do volume faturado medido com o volume faturado não medido;
- Volume faturado medido: volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações de água e que deram origem ao faturamento;
- Volume faturado não medido: volume anual de água entregue nas ligações sem hidrômetros e que foram faturadas;
- Consumo autorizado faturado: corresponde ao volume faturado. O termo consumo autorizado faturado serve para se contrapor com consumo não autorizado e também com consumo autorizado não faturado;
- Consumo autorizado: corresponde à soma de consumo autorizado faturado com consumo autorizado não faturado;

- Consumo autorizado não faturado: corresponde à soma de volume não faturado medido com volume não faturado não medido;
- Volume não faturado medido: corresponde aos volumes anuais medidos, cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento;
- Volume não faturado não medido: corresponde aos volumes anuais não medidos (portanto estimados), cujo uso é autorizado pelo prestador de serviços, mesmo sem terem gerado faturamento;
- Perdas Aparentes: correspondem à soma dos volumes de consumo não autorizado com os volumes de inexactidão dos hidrômetros e erros no manuseio de dados;
- Consumo não autorizado: corresponde aos volumes anuais de água entregues aos usuários de forma não autorizada pelo prestador de serviços, como no caso de fraudes nos medidores, *by passes*, e ligações clandestinas, ou outras formas peculiares à realidade do prestador de serviços;
- Submedição dos hidrômetros e erros no manuseio de dados: corresponde aos volumes anuais de água entregue aos usuários que deixaram de ser registrados pelo hidrômetros, por ineficiência destes. Inclui ainda volumes não registrados devido às práticas erradas de leitura ou qualquer tipo de violação à integridade dos dados medidos pelos hidrômetros;
- Perdas reais: corresponde ao volume anual obtido com a operação de subtração do consumo autorizado e perdas aparentes do volume de entrada, representando as perdas de água ocorridas em vazamentos no sistema;
- Perdas de água: corresponde à soma do volume de perdas aparentes com o volume de perdas reais.

A utilização do Balanço Hídrico, conforme orientações da *IWA*, permite quantificar a água perdida na distribuição, constituindo uma importante ferramenta para a gestão de perdas. Essa metodologia tem sido utilizada em diversas pesquisas voltadas para o diagnóstico e combate às perdas nos sistemas de abastecimento (KANAKOUDIS e TSITSIFLI, 2013; WEGELIN e JACOBS, 2013; HAIDER, et al., 2013).

Seguindo a metodologia da *IWA*, outro importante indicador a ser considerado na gestão de perdas é o Índice de Vazamento da Estrutura –IVI. Ele pode ser calculado com base nos dados no balanço hídrico, e é obtido através da Equação 2, dividindo-se o volume de perdas reais anual pelo volume de perdas anuais inevitáveis.

$$IVI = \frac{PRAC}{PRAI} \quad (2)$$

Onde:

IVI = índice de vazamento da infraestrutura;

PRAC = volume de perdas reais anual (m³);

PRAI = volume de perdas reais anuais inevitáveis (m³).

De acordo com a AESBE (2015), considera-se que o IVI é um indicador bastante adequado para fazer comparações entre sistemas diferentes, em condições infraestruturais heterogêneas – não necessariamente é útil para comparar rotineiramente um sistema com ele mesmo, principalmente nos casos em que se está reduzindo as pressões médias. A redução da pressão média, que é uma medida sumamente importante para o controle de vazamentos, reduz a PRAI – embora também reduza as perdas reais correntes.

2.2.4. Gerenciamento de perdas

Lambert e McKenzie (2002) apontam quatro métodos básicos para o gerenciamento de perdas reais: 1) gerenciamento de pressões; 2) pesquisa de vazamentos; 3) velocidade e qualidade de reparos; e 4) seleção do material da tubulação, instalação, manutenção, renovação e substituição. Thornton (2002) sintetiza esses métodos na chamada “cruz de perdas reais”, ilustrada na Figura 5.

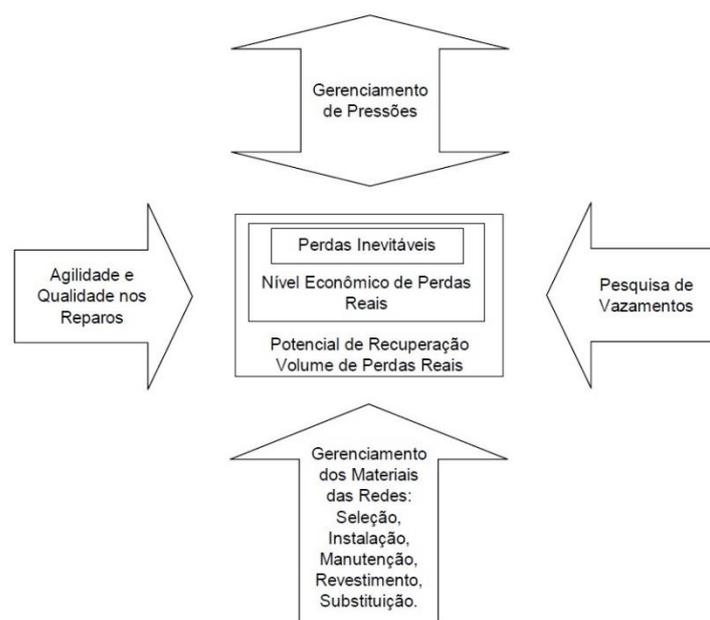


FIGURA 5. Cruz de perdas reais (THORNTON, 2002).

A respeito da “cruz de perdas reais”, Tardelli Filho (2006) faz as seguintes explicações:

- O componente de gerenciamento de pressões e níveis representa a adequação das pressões em valores compatíveis com uma boa operação do sistema de distribuição, sem potencializar a ocorrência e as vazões dos vazamentos, além do controle dos níveis dos reservatórios para evitar extravasamentos.

- O componente relativo à pesquisa de vazamentos representa a realização de campanhas para a detecção de vazamentos não visíveis;

- O componente relativo a agilidade no reparo de vazamentos refere-se ao encurtamento do tempo entre o conhecimento/localização do vazamento e o efetivo estancamento do vazamento, seja visível ou não visível;

- O componente relativo a melhoria da condição da infraestrutura envolve as atividades de proteção da rede contra a corrosão, troca de redes e ramais ou reabilitação dessas tubulações, bem como a melhoria estrutural dos reservatórios;

Reduzir e controlar as perdas de água é cada vez mais importante à medida que aumenta a demanda em muitas partes do mundo. Muitos pesquisadores tem desenvolvido estratégias para reduzir as perdas a nível econômico ou aceitável.

Soares e Reis (2004a) em seus estudos sobre perdas por vazamentos na cidade Piracicaba – SP, utilizaram calibração de redes apoiada em procedimento iterativo para avaliação hidráulica considerando vazamentos distribuídos e demandas dirigidas pela pressão simultaneamente e, obtiveram resultados satisfatórios apesar da complexidade e incertezas inerentes ao modelo do sistema de distribuição de água escolhido.

Kanakoudis et al. (2011) em sua pesquisa propõem uma metodologia de cálculo de preços da água a ser distribuída afetado pelas práticas de gerenciamento de perdas nas rede de distribuição.

Mutikanga et al. (2011) apresentam uma estratégia de decisão multi-critério integrada para o planejamento e escolha da gestão adequada no combate às de perdas de água. O estudo apresentou resultados satisfatórios em decisões de prioridades para redução de perdas de água na cidade de Kampala, Uganda.

A Sociedade Alemã de Cooperação Internacional – GIZ (2011), através de seus colaboradores reuniu e apresentou em seu Guia de Redução de Perdas de Água diversos projetos e metodologias de gestão de pressão para pagar a curto prazo (através da receita de água economizada) os investimentos feitos nos sistemas de abastecimento e, concluem que tais

aplicações certamente não são um substituto para o longo prazo dos programas de reabilitação da rede.

Di Nardo et al. (2013) em seus estudos de setorização de redes de água baseado em índices de desempenho e na Teoria dos Grafos apresentaram resultados eficazes de minimização da quantidade de energia dissipada nas redes de água dos sistemas de distribuição de Parete, Itália e San Luis Rio Colorado no México, utilizando diferentes índices de desempenho com redução de perdas reais.

2.2.4.1. Relação entre vazamento e pressão

Em uma rede de distribuição de água, tanto os vazamentos quanto as demandas dependem dos níveis de pressão atuantes, bem como da variação de tais níveis no tempo e no espaço. Dessa maneira, é necessário controlar o comportamento das redes sob as mais diversas condições operacionais, caracterizadas através dos níveis dos reservatórios, das variações de demanda, bem como do *status* de funcionamento de válvulas, bombas e outros (SOARES e REIS, 2008)

O controle das pressões nas redes de distribuição é um dos principais fatores que influenciam no índice de perdas reais de um sistema de abastecimento. Os níveis elevados de pressão ocasionam o aumento do número de vazamentos visíveis e não-visíveis e conseqüentemente o volume de água perdido.

Os vazamentos no sistema de distribuição apresentam comportamento similar ao dos orifícios em tubulações. Partindo desse pressuposto, a hidráulica básica define a vazão em orifícios através da Equação 3.

$$Q = V.A = C_d.(2gh)^{0,5}.A \quad (3)$$

Onde:

Q = vazão (m³/s);

C_d = coeficiente de descarga;

A = área do orifício (m²);

V = velocidade média da água (m/s);

g = 9,81 m/s² (aceleração da gravidade);

h = pressão (mH₂O).

De acordo com a AESBE (2015), esta relação tem sua aplicação restrita, pois, a área dos orifícios tende a aumentar proporcionalmente com a pressão. Ela não funciona para a maioria das redes de distribuição de água, apenas para tubulações metálicas.

Para superar esta dificuldade, May (1994) propôs uma nova maneira de expressar a relação entre pressão e vazamentos nas redes de distribuição, formulando o conceito FAVAD (*Fixed And Variable Area Discharge*), com a introdução do fator chamado N1. Esta teoria leva em conta que os furos e orifícios por onde ocorrem os vazamentos nas tubulações dos sistemas assumem formatos irregulares e são de vários tipos, inclusive rachaduras longitudinais. O tamanho dos orifícios também varia com a pressão e o tipo de material. A expressão proposta por May (1994), representada na Equação 4, foi:

$$\frac{Q_1}{Q_0} = \left(\frac{P_1}{P_0} \right)^{N1} \quad (4)$$

Em que:

Q_1 = vazão final de vazamentos;

Q_0 = vazão inicial de vazamentos;

P_1 = pressão média da rede final;

P_0 = pressão média da rede inicial;

N1 = expoente que varia de 0,5 a 1,5, usualmente, podendo chegar a 2,5, eventualmente.

N1 funciona como um fator de escala para toda a rede, que varia conforme a composição dos materiais utilizados na infraestrutura do sistema. Para tubulações metálicas, N1 assume o valor 0,5. Para pequenos vazamentos em juntas e conexões (os chamados vazamentos inerentes) N1 assume sempre o valor 1,5. Em casos excepcionais de rupturas longitudinais em tubulações de plástico N1 pode chegar até 2,5. Grandes sistemas com uma mescla de materiais tendem para N1 entre 1 e 1,15.

Os resultados obtidos para o valor numérico de N1, variando vazões e pressões são apresentados na Figura 6.

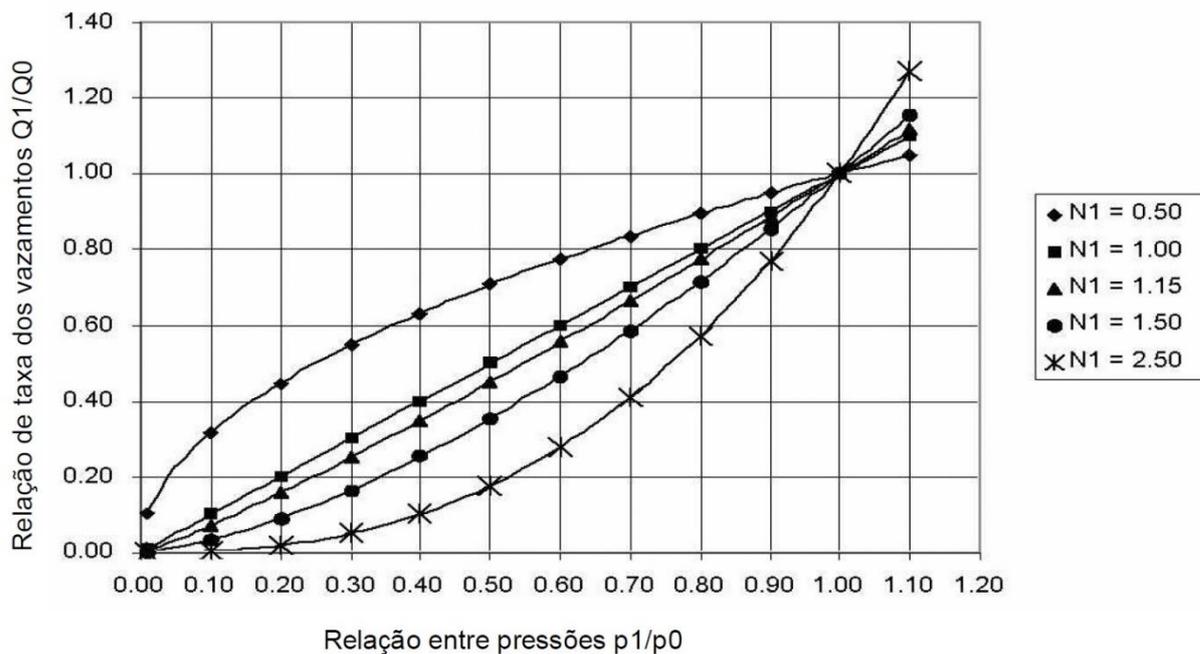


FIGURA 6. Fator N_1 – Relação vazão x pressão (THORNTON, 2003).

2.2.4.2. Setorização

Para Tardelli Filho (2006) a setorização consiste na compartimentação da rede de distribuição através da instalação e manuseio de registros, definindo-se uma área rigorosamente fechada onde se procura ter um perfeito monitoramento dos volumes disponibilizados e consumidos, da vazão mínima noturna, das pressões nos pontos estratégicos e da qualidade da água distribuída. O setor de abastecimento clássico pode ser definido a partir de um ponto de entrega de volumes de água, que pode ser um reservatório, uma derivação de adutora ou um *booster*. Em qualquer dessas zonas de pressão é fundamental que a área seja estanque e que tenha condições de medir vazões de entrada e pressões. De acordo com a Norma Técnica NBR 12218/1994, a pressão máxima admitida na rede é de 50 mH₂O (estática), enquanto a mínima é de 10 mH₂O (dinâmica). O tamanho dos setores varia muito, comportando desde pequenos sistemas, que abastecem pequenos núcleos residenciais, até setores com 40.000 ligações nas grandes cidades.

A setorização é uma das formas mais básicas de gerenciamento de pressão, que ainda é muito eficaz. O monitoramento dos setores fornece informações que auxiliam na localização mais rápida de vazamentos colaborando com a redução das perdas (THORNTON et al., 2008).

Nesse sentido, a setorização proporciona o isolamento necessário de trechos de tubulações tanto para manutenções corretivas, como a retirada de vazamentos, como também

para interrupções programadas, como substituição de registros, ramais de ligação e descargas em rede. A Figura 7 ilustra um setor de abastecimento típico.

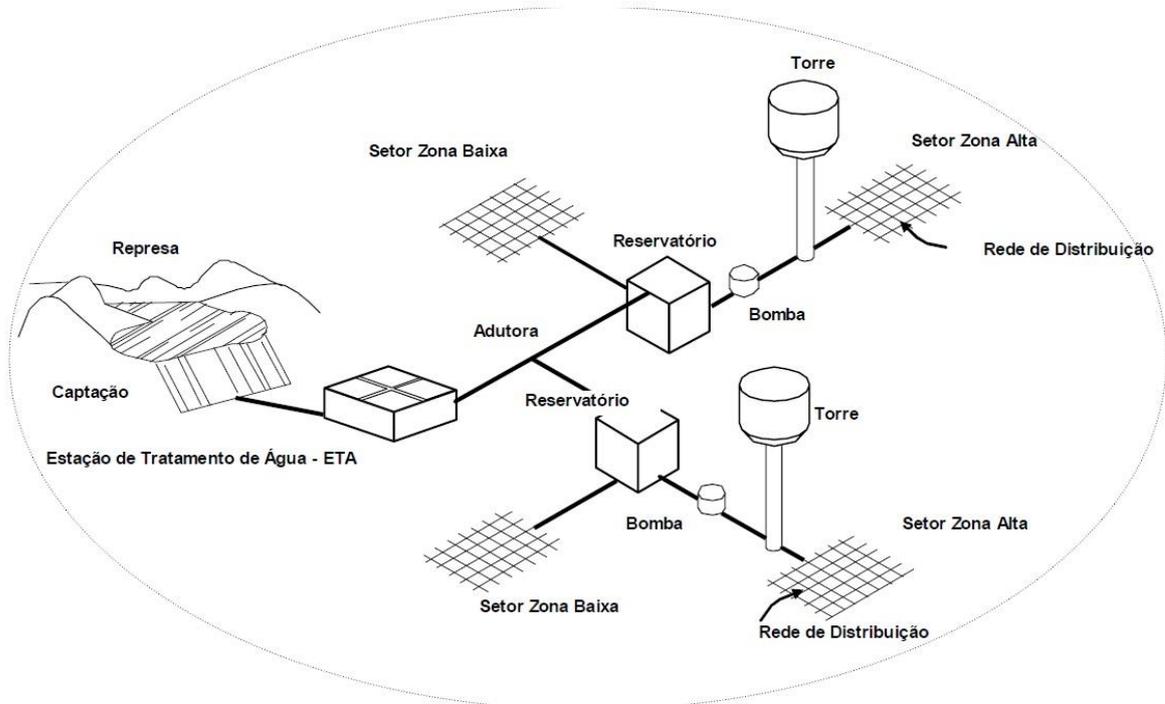


FIGURA 7. Setor de abastecimento típico (SOARES, 2004).

Mays (2004) destaca que as válvulas utilizadas no sistema de distribuição para isolar áreas para manutenção e reparos devem estar localizadas de modo que as regiões isoladas causem o mínimo de inconvenientes para o usuário e, alerta ainda que cuidados devem ser tomados para assegurar que somente o número de válvulas necessárias sejam instaladas.

Como grande parte dos sistemas de abastecimento de água implantados no Brasil não seguiram critérios de setorização e, em muitos deles, o crescimento populacional se deu de forma desorganizada em regiões de fundo de vales e encostas, boa parte das redes de distribuição foram ampliadas sem planejamento. Esse cenário é favorável para ocorrências de perdas nos sistemas de distribuição.

A setorização de sistemas existentes envolve custos elevados. A implantação e substituição de válvulas de entrada e descarga de módulos, a criação de anéis de reforços, localização e substituição de trechos de redes, a recuperação de vias e o fornecimento programado de água aos usuários, torna essa uma atividade complexa, requerendo intenso planejamento por parte dos gestores.

Nesse contexto, é essencial o conhecimento de campo, o cadastro comercial e de rede atualizados, o comportamento hidráulico das redes existentes, bem como a previsão do impacto dos novos setores a serem implantados no sistema de abastecimento. Assim sendo, pode-se fazer uso de ferramentas computacionais para simulação hidráulica dos sistemas de abastecimento.

2.2.4.3. Simulação e calibração de redes

A modelagem hidráulica de um sistema de distribuição de água tem como objetivo relacionar, por meio de modelos matemáticos, as características dos componentes (diâmetro e materiais dos tubos, níveis dos reservatórios, parâmetros das bombas, etc.) aos critérios hidráulicos como pressões, velocidades máximas e mínimas e vazões nos trechos.

Os modelos de análise hidráulica de redes de distribuição são ferramentas essenciais nos estudos modernos de projeto e operação dos sistemas de abastecimento, uma vez que eles permitem avaliar diferentes cenários de funcionamento e auxiliam o processo de tomada de decisão. Para que o uso destes modelos seja ampliado é preciso que os mesmos sejam adaptados para descrever as situações mais realísticas que os sistemas, principalmente os brasileiros, enfrentam atualmente, como pressões insuficientes em alguns pontos da rede e vazamentos (FORMIGA e CHAUDHRY, 2008).

Com a modelagem hidráulica é possível, por exemplo, verificar a situação atual do sistema e, em caso de problemas, estudar a melhor opção de intervenção confrontando os resultados esperados com os fornecidos pela simulação hidráulica em programas computacionais desenvolvidos para esse fim.

Carrijo (2001) relata que o algoritmo de cálculo da maioria dos programas simuladores baseia-se na solução da matriz topológica, formatada pelos nós da rede, aos quais se associam as equações de verificação da continuidade das vazões e pelos elementos que constituem as malhas fechadas, nas quais, se deve verificar o balanceamento entre as cargas disponíveis, definidas pelos níveis dos reservatórios (condições de contorno), e as cargas acrescentadas nas bombas e dissipadas nas válvulas e singularidades.

De acordo com Silva (2014) o avanço da engenharia de *softwares* possibilitou o desenvolvimento de programas mais robustos, capazes de realizar uma série de cálculos com grande velocidade e precisão. Os pesquisadores apropriaram-se desse salto tecnológico para estudar problemas reais e de maior complexidade. Entretanto, reconhece que apesar da evolução

substantial nas pesquisas, o uso de softwares permanece, de forma geral, no plano hipotético e poucos programas têm sido aplicados em casos reais de controle de perdas no Brasil.

Existem diversos simuladores hidráulicos disponíveis para utilização nos sistemas de distribuição de água. A seleção de um programa deve levar em conta, prioritariamente, a finalidade de sua aplicação. Para a escolha do *software* utilizado neste trabalho foi adotada a avaliação das características dos modelos feitas por Silva (2014), que apontou o *Epanet 2* e o *Watercad* com as melhores características.

Soares e Reis (2004b), no entanto, observam que os programas *Epanet 2* e *Watercad* não consideram os parâmetros de vazamento nas suas avaliações hidráulicas. Além disso, não levam em consideração a dependência das demandas com a pressão, pois estes consideram nas análises hidráulicas o atendimento integral dos consumos nos nós (demanda potencial) independentemente da pressão atuante. Sendo, assim, eles são denominados Modelos de Simulação Hidráulica Dirigidos pela Demanda (MSHDD).

Entretanto, o *Epanet 2* merece destaque por se tratar de um programa de fácil utilização, com versões nos principais idiomas, distribuição gratuita e por sua compatibilidade com o programa de calibração adotado no presente trabalho.

O *Epanet* é um simulador hidráulico que foi desenvolvido no ano de 1993 pela equipe de Lewis Rossman, para a agência americana de proteção ambiental - *U.S Environmental Protection Agency (USEPA)*, e adaptado para língua portuguesa (Brasil), pelo Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento (LENHS), pertencente ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba (UFPB).

A Figura 8 apresenta a configuração básica do ambiente de trabalho do *Epanet 2*.

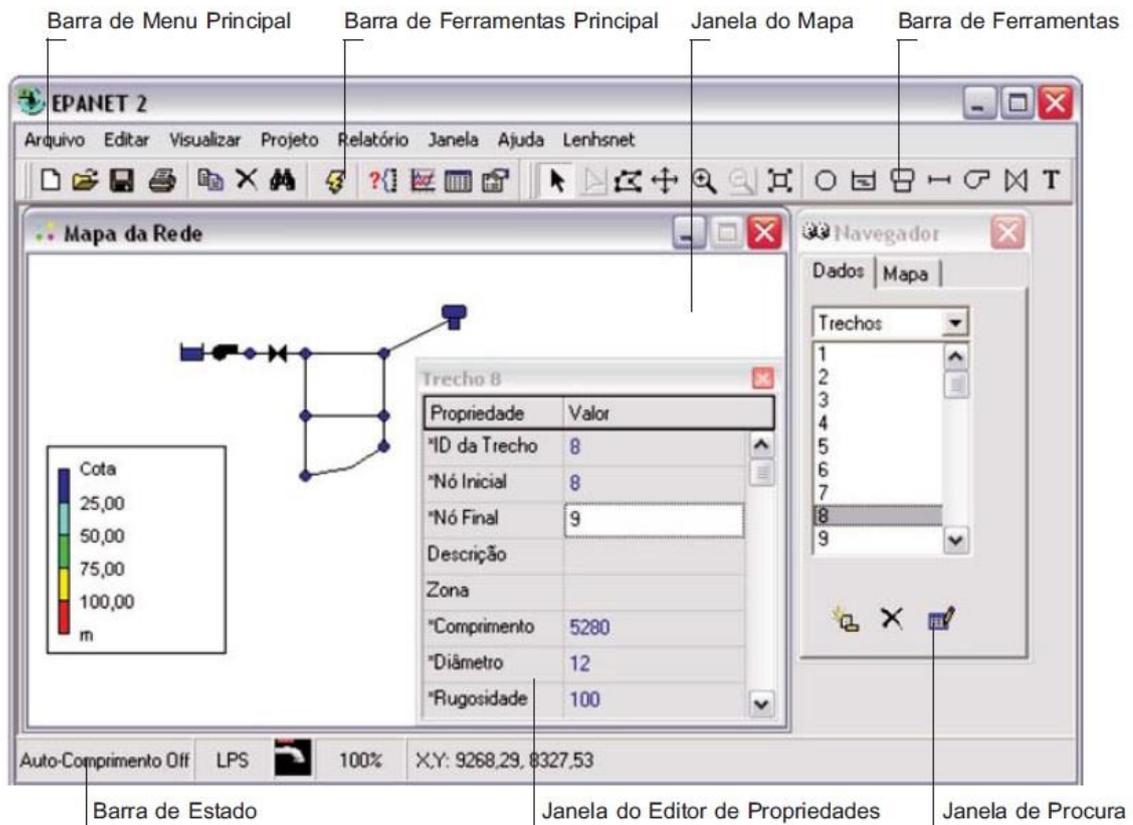


FIGURA 8. Configuração básica do ambiente de trabalho do *Epanet 2* (GOMES E SALVINO, 2009).

De acordo com Rossman (2000), o *Epanet 2* é um programa computacional automatizado que possibilita a simulação do comportamento hidráulico e de qualidade da água em um sistema de distribuição, com diversas condições operacionais em função de um determinado período de funcionamento.

Em uma simulação hidráulica, através da definição da rede por meio da caracterização dos diversos componentes e consumos nos nós, o *Epanet 2* determina os valores da vazão em cada trecho, a pressão em cada nó, a altura de água em cada reservatório de nível variável e a concentração de substâncias químicas ao longo da rede, durante o período de simulação.

Dentre as características mais relevantes das ferramentas de cálculo para apoio à simulação hidráulica disponibilizadas pelo *Epanet 2* pode-se destacar a possibilidade de análise de redes de dimensões ilimitadas, cálculo da perda de carga utilizando fórmulas usuais na literatura (Hazem-Williams, Darcy-Weisbach ou Chezy-Manning), modelagem de diferentes tipos de bombas, válvulas redutoras de pressão e reservatórios (ROSSMAN, 2000).

Todini e Pilati (1987) em seus estudos, propuseram um método capaz de resolver as equações da continuidade e da conservação da energia e a relação entre a vazão e a perda de

carga, que caracterizam as condições de equilíbrio hidráulico da rede num dado instante. Esse método, adotado mais tarde no *Epanet*, foi designado como o Método do Gradiente.

A equação de iteratividade para o cálculo das vazões nos trechos utilizada pelo *Epanet* 2 pode ser, de forma simplificada, ilustrada pela Equação 5.

$$Q_{ij} = Q_{ij} - (y_{ij} - p_{ij} \cdot (H_i - H_j)) \quad (5)$$

Onde:

Q_{ij} = vazão no trecho entre os nós i e j;

y_{ij} = fator de correção de vazão;

p_{ij} = inverso da derivada da perda de carga total no trecho entre os nós i e j em relação à vazão;

$H_i - H_j$ = perda de carga total no trecho.

Se a soma de todas as variações de vazão (em valor absoluto) relativamente à vazão total em todos os trechos for superior à tolerância especificada (p.ex., 0.001), são calculadas novamente as cotas piezométricas e os novos valores de vazão no trecho. A nova vazão obtida a partir da Equação 5 satisfaz o princípio da continuidade da vazão nos nós.

O programa permite a incorporação de outros aplicativos pelo fato de suas rotinas de cálculo estarem disponíveis em uma biblioteca de vínculos dinâmico de funções, que permitem a personalização de acordo com as necessidades do usuário. Também é possível efetuar diversas análises da rede, como por exemplo, o comparativo de dados medidos e simulados.

Embora a simples comparação de dados medidos em campo e simulados em programas computacionais seja útil, torna-se necessário ajustar o modelo simulado para que o mesmo possa concordar com a realidade de campo. Essa operação é denominada calibração e serve para dar confiabilidade ao modelo hidráulico.

Segundo Ostfeld et al. (2012) os métodos de calibração podem envolver técnicas de otimização formal ou métodos manuais, em que o modelador informalmente examina os parâmetros do modelo alternativo. Essa atividade envolve a definição das variáveis do modelo, dos coeficientes e das equações e abrange a seleção de uma função objetivo para medir a qualidade da calibração comportando ainda um esquema de otimização manual para alterar os valores dos coeficientes, no sentido de reduzir a função objetivo.

Ainda, de acordo com Soares e Reis (2004b), dentre os parâmetros de campo decisivos na reprodução do comportamento hidráulico das redes pode-se mencionar: as rugosidades absolutas das tubulações, bem como os coeficientes de perdas por vazamento.

Dessa forma o *Epanet 2* possui os dispositivos emissores que podem ser utilizados para simular perdas em tubulações (se o coeficiente de vazão e o expoente de pressão, para a perda na junta ou fissura poderem ser estimados). Assim ele modela os dispositivos emissores como sendo uma propriedade do nó e não como um componente separado. A vazão através dos dispositivos emissores varia em função da pressão no nó, de acordo com a lei de vazão expressa na Equação 6 a seguir:

$$q = C \cdot p^y \quad (6)$$

Onde:

q = vazão;

p = pressão;

C = coeficiente de vazão;

y = expoente do emissor.

Ormsbee (1997), aponta que um modelo de calibração de rede deve compreender sete passos básicos: 1) identificar o uso pretendido para o modelo; 2) determinar as estimativas iniciais dos parâmetros; 3) coletar os dados para calibração; 4) avaliar os resultados do modelo; 5) executar macrocalibração; 6) realizar análise de sensibilidade; 7) executar microcalibração.

A calibração de redes de distribuição de água apresenta certo grau de complexidade pelo fato da existência de grande quantidade de variáveis e equações envolvidas no processo (SALVINO et al., 2015).

Nesse contexto, Mays (1999) relata que para garantir que a calibração irá ser bem sucedida, o número de medições deverá exceder o número de parâmetros a serem estimados no modelo. Se esta condição não for satisfeita, vários conjuntos de parâmetros que correspondem às observações de campo poderão ser encontrados, isto é, uma solução única não pode ser determinada. Cada conjunto poderá dar resultados dramaticamente diferentes ao se preverem outras condições.

As imprecisões nas demandas nodais constituem uma das principais fontes de incerteza na calibração e aplicação de modelos de redes, pois o padrão de demanda é bastante imprevisível, mudando com o tempo e localização (WALSKI et al., 2003).

De acordo com Zaque et al. (2012) o processo de calibração de redes hidráulicas não é um problema resolvido nas companhias, já que as ferramentas computacionais desenvolvidas não são, geralmente, adotadas na prática, devido às incertezas no procedimento e no número de cenários a serem utilizados nas simulações.

Boa parte das ferramentas de calibração existentes no Brasil, dentre elas o LenhsCalibra desenvolvido por Salvino (2012) e o *Epanet Calibrator* desenvolvido através da plataforma Resan Labs, parceria entre os laboratórios de hidroinformática da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o laboratório de eficiência energética e hidráulica em saneamento da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS) utilizam métodos de otimização e busca baseados nos chamados algoritmos genéticos multiobjetivos. Padilha (2013) relata que esse método é inspirado na teoria da evolução das espécies onde os algoritmos seguem o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto, declarado pelo naturalista inglês Charles Darwin no livro “A Origem das Espécies”.

Krajnák (2012) em sua pesquisa destaca que os algoritmos genéticos multiobjetivos oferecem uma alternativa interessante aos métodos de otimização “clássicos” baseados em gradientes e são particularmente úteis para os problemas e modelos altamente não lineares.

Vieira (2008) em seus estudos desenvolveu uma técnica de calibração inversa baseada nos algoritmos genéticos multiobjetivos como ferramenta de otimização que foi aplicada em duas redes: uma teórica e outra real. A pesquisa encontrou resultados satisfatórios uma vez que a otimização multiobjetivo demonstrou ser capaz de melhorar a acurácia da calibração do modelo.

De acordo com Machado e Vettorazzi (2003), um dos mais importantes critérios estatísticos para avaliar o ajuste de modelos de calibração é o Coeficiente de Eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), calculado por meio da Equação 7 a seguir:

$$\text{COE} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (E_m - E_s)^2}{\sum_{i=1}^n (E_m - \bar{E}_s)^2} \quad (7)$$

Onde:

E_m = evento observado;

E_s = evento simulado;

\bar{E}_s = média do evento no período de simulação;

n = número de eventos.

Conforme Silva et al. (2008), quando o valor de COE resultar maior que 0,75, o desempenho do modelo é considerado bom. Para valores de COE entre 0,36 e 0,75 o desempenho é considerado aceitável, enquanto valores de COE inferiores a 0,36 fazem com que o modelo seja julgado como inaceitável. O coeficiente pode variar entre negativo infinito a 1, sendo o valor 1 indicativo de um perfeito ajuste.

Outra avaliação dos modelos calibrados, com ênfase no controle de perdas, foi proposta pelo *Water Research Centre - WRC* (1989), e definiu critérios para os resultados de vazões e pressões obtidos. Para a pressão o erro absoluto, que é a diferença entre o valor calibrado e o observado, dos valores deve estar dentro das seguintes faixas:

- $\pm 0,50$ mH₂O para 85% das medidas de pressão;
- $\pm 0,75$ mH₂O para 95% das medidas de pressão;
- $\pm 2,00$ mH₂O para 100% das medidas de pressão.

Para os valores de vazão, o erro relativo deve estar dentro das seguintes faixas:

- $\pm 5\%$ para as medidas de vazão, quando estas excedem 10% da vazão total;
- $\pm 10\%$ para as medidas de vazão, quando estas não excedem 10% da vazão total.

Ainda, segundo Walski (1983), para um bom conjunto de dados, um modelo deve ser capaz de alcançar a diferença média entre a pressão prevista e observada de $\pm 1,5$ mH₂O, com uma diferença máxima de $\pm 5,0$ mH₂O. Já para um conjunto pobre em dados, uma diferença média de $\pm 3,10$ mH₂O, com uma diferença máxima de ± 10 mH₂O, é algo razoável.

2.2.4.4. Distrito de medição e controle

Para Thornton et al. (2008) o distrito de medição e controle – DMC é uma área específica, geralmente definida pelo fechamento de válvulas, em que as quantidades de água que entram e saem da área são medidas. O DMC permanentemente monitorado é a ferramenta mais eficaz para ajudar a reduzir a duração do vazamento não visível. O monitoramento da vazão noturna facilita a rápida identificação de vazamentos não visíveis e fornece dados necessários para fazer o uso mais eficaz de recursos de localização de vazamentos.

No Brasil, o DMC também é conhecido como distrito pitométrico – DP. Embora as condições para implantação do DP dependem basicamente das configurações das redes de distribuição, sua criação não está necessariamente vinculada a nenhum zoneamento piezométrico.

Tardelli Filho (2006) aponta as condições mínimas para implantação de um DMC:

- Tamanho médio entre 1.000 e 5.000 ligações;
- Área estanque, não se admitindo fluxos entre distritos vizinhos;
- Existência de ponto para a medição de vazão e pressão na entrada.

Motta (2010), em sua pesquisa relata que para o perfeito funcionamento de um DMC deve-se realizar o teste de estanqueidade. Esse teste consiste em fechar e identificar, marcando com tinta, quais válvulas fazem parte dos limites do DMC, permanecendo aberta(s) a(s) entrada(s) do distrito. A seguir, instalam-se medidores de pressão em pontos estratégicos da rede (próximos aos limites, na entrada, nos pontos baixos e nos pontos altos da área do distrito). Em seguida fecha-se a rede de alimentação do subsetor e faz-se o monitoramento das pressões até que todas atinjam o valor “zero”. Caso, não se consiga atingir o valor “zero” é possível que alguma passagem de água esteja ocorrendo, então se deve verificar, válvula a válvula, qual o ponto de passagem ou investigar através de medições de pressão a existência de redes não cadastradas.

A partir desse ponto, as medidas corretivas devem ser executadas até que se obtenha a estanqueidade zero na área e esta passe a configurar um DMC.

Sobre os *boosters* de rede e VRPs – Válvulas redutoras de pressão, Tardelli Filho (2006) descreve que o próprio porte predominante desses equipamentos faz com que essas áreas definidas do sistema possam funcionar também como DMC. Como a maioria desses equipamentos tem medidores de vazão e pressão acoplados, o monitoramento e o gerenciamento contínuos desses locais passam a ser uma vantagem muito interessante do ponto de vista operacional. A Figura 9 esquematiza áreas isoladas para controle de perdas com a configuração típica dos distritos pitométricos ou DMCs.

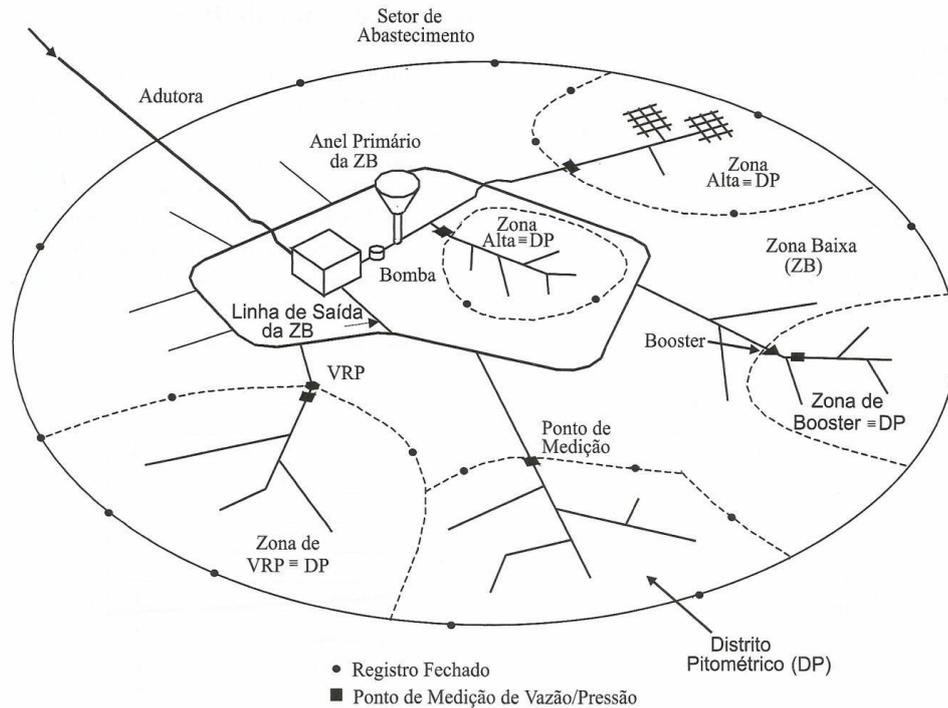


FIGURA 9. Áreas de controle de perdas (ABENDE, 2001/2002).

2.2.4.5. Vazão mínima noturna

A base do cálculo da vazão mínima noturna - VMN é a variação dos consumos no sistema de abastecimento de água ao longo do dia. O pico de consumo geralmente se dá entre 11:00h e 14:00h, e o mínimo consumo normalmente se dá entre 3:00h e 4:00h. A vazão correspondente a esse consumo mínimo é denominada vazão mínima noturna, que pode ser medida através do uso de equipamentos de medição de vazão e pressão, desde que adotados procedimentos adequados de fechamento dos registros limítrofes do subsetor em análise. No Brasil, a utilização da VMN para a determinação das perdas reais é vantajosa devido ao fato de que, no momento de sua ocorrência, há pouco consumo e as vazões são estáveis (as caixas d'água domiciliares estão cheias), e uma parcela significativa do seu valor refere-se às vazões dos vazamentos (TSUTYIA, 2006).

Em sistemas de abastecimento sem intermitência e com pressurização normal os consumos são mínimos entre as 02:00h e as 04:00h da manhã. Devido a esse fato, torna-se mais fácil estimá-los com segurança – frequentemente correspondem a menos de 10% do volume que ingressa no setor, mesmo em sistemas com bom controle de vazamentos (AESBE, 2015).

A Figura 10 ilustra o método das vazões mínimas noturnas.

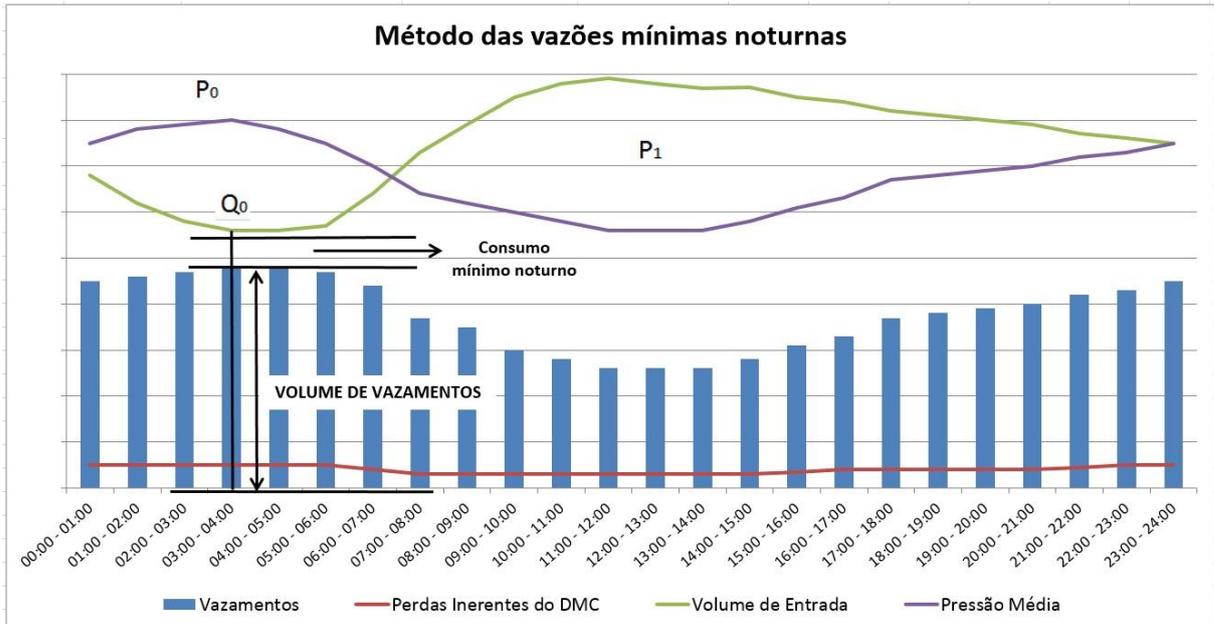


FIGURA 10. Método das vazões mínimas noturnas (modificado – AESBE, 2015).

A vazão mínima noturna é o principal indicador do nível de perdas reais que está ocorrendo em um sistema. Normalmente, o consumo noturno é reduzido, principalmente em áreas residenciais. Qualquer alteração na vazão mínima de uma unidade de abastecimento pode significar ocorrência de vazamentos. Sua abordagem no combate às perdas está relacionada com o fator de pesquisa - FP. Esse parâmetro é determinado a partir da Equação 8 que define a relação entre a vazão mínima noturna e a vazão média diária (GOMES et al., 2007).

$$FP = \frac{Q_{MN}}{Q_{MED}} \quad (8)$$

Em que:

FP = fator de pesquisa;

Q_{MN} = vazão mínima noturna;

Q_{MED} = vazão média diária.

Fávero e Dib (1981) relatam que o comportamento do parâmetro FP indica possíveis problemas operacionais no abastecimento de água. Quanto mais ele tende para 1, maior a possibilidade de estarem ocorrendo vazamentos. Isto significa também um grande potencial de retorno no trabalho de pesquisa acústica. Em geral, se o fator de pesquisa for maior que 0,30, o setor em estudo contém vazamentos economicamente detectáveis.

Em setores com intermitência no abastecimento o fator de pesquisa deve ser evitado. A irregularidade no fornecimento de água nessas regiões durante o dia eleva o consumo das reservas domiciliares no período noturno (demanda reprimida), mascarando o valor da vazão referente aos vazamentos.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O presente trabalho foi desenvolvido na área urbana do município de Cocalzinho de Goiás, Goiás.

O município está localizado na porção central do Estado de Goiás, a oeste do Distrito Federal e, pertence à Mesorregião do Leste Goiano e à Microrregião do Entorno do Distrito Federal conforme pode ser visto na Figura 11. Possui área de 1.789 km² e faz limite com Águas Lindas de Goiás, Corumbá de Goiás, Padre Bernardo, Pirenópolis, Santo Antônio do Descoberto e Vila Propício. Além da sede municipal, o município conta ainda com os povoados de Edilândia e Girassol.

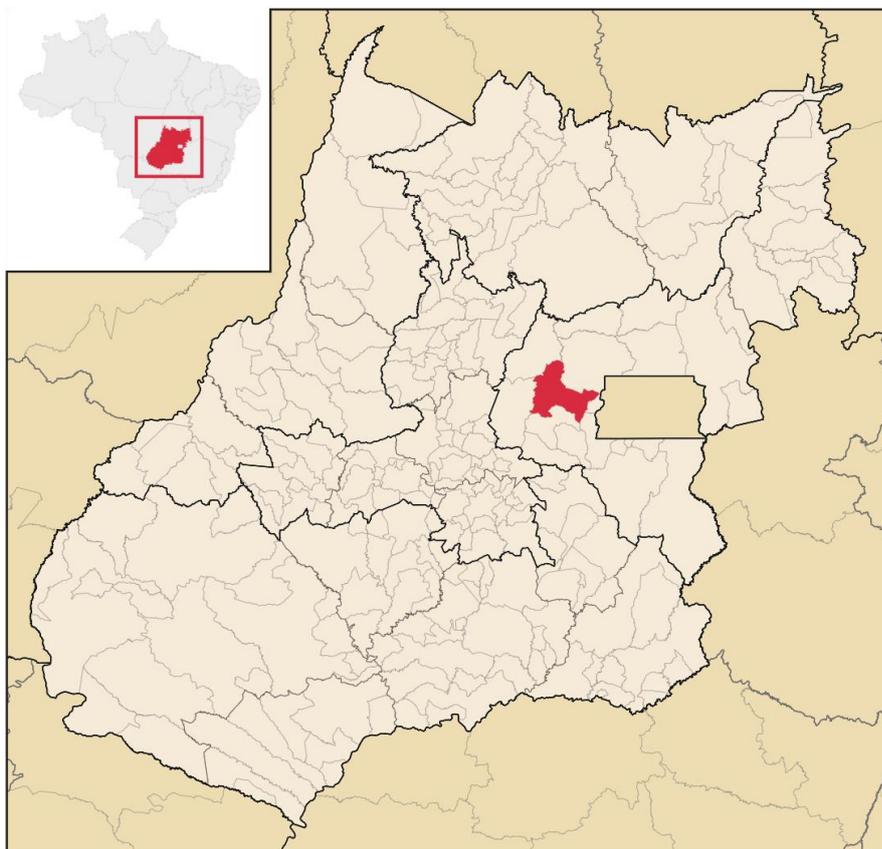


FIGURA 11. Localização do município de Cocalzinho de Goiás, Goiás.

A sede municipal dista 115 km de Brasília e 120 km de Goiânia e se localiza nas coordenadas geográficas 15°47'40" de latitude sul e 48°46'33" de longitude a oeste. O município integra os 22 municípios componentes da Região Integrada do Desenvolvimento do

Entorno do Distrito Federal – RIDE, instituída pela Lei Complementar n° 94 de 19 de fevereiro de 1998. A população atual residente no município é de 18.623 habitantes, conforme estimativas de residentes no município com data de referência em 1° de Julho de 2013 (IBGE, 2013).

O clima da região se caracteriza por duas estações bem definidas, típicas do clima tropical quente e úmido, segundo a classificação climática de *Köppen-Geige*. As características geomorfológicas do município contribuem para que tenha uma topografia com declividades variadas. Entretanto, a sede municipal está localizada em região de baixa declividade, com altitudes variando de 1.170 a 1.095 metros.

3.2. Caracterização do sistema de abastecimento

A cidade de Cocalzinho de Goiás não possui sistema de esgotamento sanitário público e nem rede de drenagem pluvial. O sistema existente de abastecimento público de água é operado e mantido pela companhia estadual Saneamento de Goiás S.A. – SANEAGO.

O sistema produtor que abastece a cidade é composto por quatro poços tubulares profundos, com vazão total de $22,21 \text{ L.s}^{-1}$. O centro de reservação é composto por um reservatório apoiado com capacidade de 300 mil litros, casa de cloração, casa de fluoretação e um *booster* (Figura 12). Os níveis operacionais do reservatório são: $NA_{\text{máx}} = 1.168,10$; $NA_{\text{mín}} = 1.165,00$.



FIGURA 12. Centro de reservação do sistema de abastecimento público de água de Cocalzinho de Goiás.

A cidade conta ainda com um sistema independente que abastece o setor isolado denominado Bairro Votoratin, que não será abordado no presente estudo.

A rede de distribuição de água é do tipo mista (malhada com ramificações) e atualmente atende a 100% da população residente, por meio de 34,47 mil metros de extensão, com 3.048 ligações, todas hidrometradas. As redes existentes apresentam diâmetros pequenos, geralmente inferiores a 50 mm, em PVC soldável e ponta-bolsa-anel (PBA), conforme apresentado na Tabela 2. A idade média das redes de pequenos diâmetros é de aproximadamente 30 anos. Não há válvulas redutoras de pressão instaladas na cidade.

TABELA 2. Redes de distribuição de água existentes em Cocalzinho de Goiás.

Diâmetro (mm)	Material	Extensão (m)
32	PVC Soldável	17.655
40	PVC Soldável	1.930
50	PVC Soldável	2.913
50	PVC PBA	7.458
75	PVC PBA	972
100	PVC PBA	819
150	PVC PBA	2.730

As redes de distribuição estão configuradas em duas zonas de pressão. A zona alta que abrange as cotas altimétricas de 1165 a 1140 m e a zona baixa começa a partir da cota 1140 m e vai até a cota 1105 m. A Figura 13 ilustra a configuração das redes de distribuição.



FIGURA 13. Configuração das redes de distribuição de água tratada de Cocalzinho de Goiás.

Analisando o histórico de alguns dados operacionais do sistema de abastecimento público de água da cidade de Cocalzinho de Goiás para o ano de 2014 (apresentados na Tabela 3) observou-se que a média anual do índice de macromedicação próxima de 100% sugere que os dados de produção que compõem os índices de perdas possuem considerável confiabilidade. Já a análise dos indicadores de perdas mensal e anual aponta um sistema de abastecimento classificado com gerenciamento ruim (IP maior que 40%) segundo o critério apontado por Tardelli Filho (2006).

TABELA 3. Indicadores operacionais do sistema de abastecimento de água tratada da cidade de Cocalzinho de Goiás para o ano de 2014.

	Volume faturado por economia (m ³ /econ)	Índice de hidromedicação (%)	Índice de macromedicação (%)	Perdas por ligação (l/lig.dia)	Perdas por economia (l/econ.dia)	Índice de perdas mensal (%)	Índice de perdas anual (%)
Jan/2014	9,47	99,92	99,55	205,67	201,05	39,66	39,83
Fev/2014	10,55	99,92	100,00	204,81	200,21	34,66	39,40
Mar/2014	9,82	99,92	100,00	223,14	218,13	40,74	39,31
Abr/2014	10,06	99,92	100,00	298,49	291,79	46,50	40,26
Mai/2014	9,92	99,92	100,00	254,78	249,07	43,73	40,85
Jun/2014	10,86	99,92	99,09	260,60	254,76	41,27	40,84
Jul/2014	10,64	99,92	100,00	284,26	277,90	44,72	41,04
Ago/2014	11,25	99,92	100,00	227,95	222,87	38,02	40,99
Set/2014	11,28	99,92	100,00	202,45	197,97	34,46	40,88
Out/2014	11,19	99,92	100,00	255,16	249,52	40,85	40,83
Nov/2014	10,27	99,92	100,00	265,33	259,48	43,08	41,20
Dez/2014	9,95	99,92	94,02	324,46	316,96	49,66	41,65
Média	10,44	99,92	99,39	250,59	244,98	41,45	41,65*

* A referência dezembro representa a média anual, pois o cálculo do indicador já considera a média dos últimos doze meses.

3.3. Balanço hídrico

O balanço hídrico da área de estudo foi determinado para o ano de 2014 utilizando os conjuntos de dados fornecidos pelo Sistema de Informações Comerciais da SANEAGO – SICSAN e registros do sistema supervisor de controle de níveis de reservatórios, de fabricação própria da empresa.

A confecção do balanço hídrico seguiu a metodologia da matriz proposta pela IWA. Foi utilizado o programa *WB-EasyCalc* desenvolvido por Liemberger por intermédio do *World Bank - WB* (2006).

Todo o consumo de água medido em Cocalzinho de Goiás é faturado. A porcentagem do consumo de água não medido e não faturado corresponde ao consumo autorizado não faturado e é representado pelo volume de água para atividades operacionais especiais do sistema e ao volume estimado de consumo da agência de atendimento ao público da empresa na localidade.

Além disso, quase não há conhecimento de consumo ilegal ou não autorizado de água. A incidência de vazamentos ou extravazamentos no reservatório de armazenamento é baixa em função do monitoramento e controle pelo sistema supervisor. A maioria das perdas de água aparentes ocorrem devido a imprecisões de medição do cliente, embora seu percentual seja baixo devido ao trabalho consistente da companhia na substituição dos hidrômetros com mais de cinco anos de vida útil. A maioria das perdas reais são devido aos vazamentos nas ligações dos ramais e cavaletes de medição do cliente e, vazamentos em anéis e redes de distribuição. A Figura 14 ilustra a matriz balanço hídrico.

Volume de Entrada no Sistema 100% 608.324 [m³] Margem de Erro [+/-] 1,5%	Consumo Autorizado 55,96% 340.439 [m³] Margem de Erro [+/-] 0,2%	Consumo Autorizado Faturado 55,08% 335.072 [m³]	Consumo Medido Faturado 55,03% 334.759 [m³]	Água Faturada 55,08% 335.072 [m³]
			Consumo Não Medido Faturado 0,05% 313 [m³]	
	Perdas de Água 44,04% 267.886 [m³] Margem de Erro [+/-] 3,4%	Consumo Autorizado Não Faturado 0,88% 5.367 [m³] Margem de Erro [+/-] 9,8%	Consumo Medido Não Faturado 0,00% 0 [m³]	Água Não Faturada 44,92% 273.252 [m³] Margem de Erro [+/-] 3,3%
		Perdas Aparentes 9,90% 60.252 [m³] Margem de Erro [+/-] 1,0%	Consumo Não Medido Não Faturado 0,88% 5.367 [m³] Margem de Erro [+/-] 9,8%	
			Consumo Não Autorizado 0,19% 1.177 [m³] Margem de Erro [+/-] 3,6%	
		Inexatidão dos hidrômetros e erros de manipulação de dados 9,71% 59.075 [m³] Margem de Erro [+/-] 1,0%	Perdas Reais 34,13% 207.633 [m³] Margem de Erro [+/-] 4,4%	

FIGURA 14. Balanço hídrico da área em estudo em 2014.

De forma geral a matriz do balanço hídrico refletiu com coerência a realidade das perdas de água tratada no sistema de abastecimento público da cidade de Cocalzinho de Goiás para o ano de 2014.

3.4. Métodos utilizados

3.4.1. Fluxograma das atividades

As atividades desenvolvidas, desde os estudos preliminares até a análise de perdas, foram sistematizadas no fluxograma de atividades a seguir:

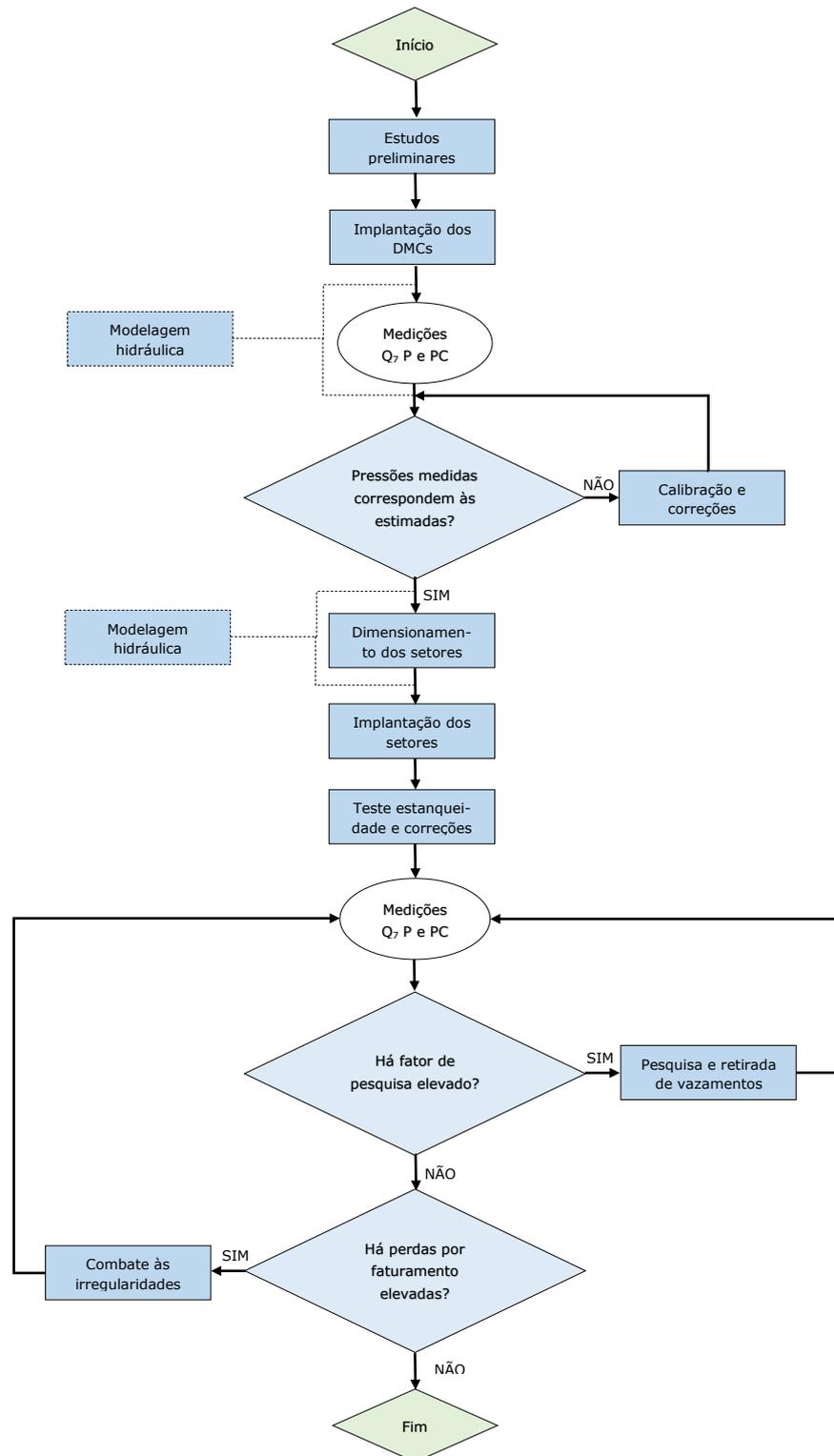


FIGURA 15. Fluxograma de atividades.

3.4.2. Estudos preliminares

Nessa fase foi feita a avaliação e correção dos dados do cadastro técnico que, apresentaram diversas inconsistências entre os dados registrados e os dados de campo. Foi também avaliada a conformação das zonas de abastecimento e definidos os critérios para criação e implantação dos DMCs no sistema de distribuição. Os pontos de interesse para as medições de pressão instantâneas e pressão e vazão prolongadas também foram evidenciados nessa fase. Esses pontos, ilustrados na Figura 16, foram definidos em função de reclamações históricas de usuários com baixa pressão e também em decorrência das simulações hidráulicas realizadas que apontaram locais com pressões abaixo de 10 mH₂O e acima de 50 mH₂O (fora dos limites da norma NBR 12218).

Com o intuito de minimizar os transtornos decorrentes da implantação do projeto foram estabelecidos contatos prévios com o poder público municipal planejando as atividades de corte e recuperação das vias públicas, bem como a programação de comunicação à população sobre os possíveis desabastecimentos.

3.4.3. Implantação dos DMCs

Os DMCs foram definidos de acordo com as zonas de abastecimento existentes. Dessa forma a região de abastecimento do *booster* já configurava um DMC, restando apenas efetuar a substituição do macromedidor existente por outro com capacidade para registro e armazenamento de dados por períodos prolongados.

Optou-se por dividir a zona de abastecimento por gravidade em dois DMCs com objetivo de reduzir a amplitude das pressões em cada distrito e o número de setores a serem implantados. Para que essa configuração fosse efetivada foi necessário intervir em apenas dois pontos específicos promovendo a separação das redes e isolamento total dos DMCs. Assim como na área do *booster* foi necessário substituir o macromedidor existente e instalar um novo para registro e armazenamento de dados por períodos estendidos.

A composição dos DMCs ficou: DMC1 com 499 ligações, DMC2 com 812 ligações e DMC3 com 1492 ligações. A disposição dos DMCs e os locais de instalação dos medidores de vazão e pressão estão ilustrados na Figura 16.



FIGURA 16. Disposição dos distritos de medição e controle e pontos de interesse.

3.4.4. Medição de pressão instantânea

As medições de pressões instantâneas em locais e horários estratégicos foram efetuadas e anotadas no cadastro técnico (com registro de data e horário) a fim de se permitir o reconhecimento dos pontos críticos (pressão mínima e máxima) do sistema de abastecimento ao longo de toda a execução do projeto. Essas medidas foram tomadas diretamente nos cavaletes dos hidrômetros dos usuários através de manômetros analógicos, conforme necessidades pontuais.

Para a execução do teste de estanqueidade foram realizadas medidas de pressão instantâneas em diversos pontos das áreas de limite dos setores de distribuição.

3.4.5. Medição de pressão e vazão por período estendido

As medições de pressão e vazão por período estendido ocorreram em dois intervalos distintos: anterior à implantação da setorização (entre janeiro e fevereiro de 2015) e posterior à implantação da setorização (entre dezembro de 2015 e janeiro de 2016). Essas medições ocorreram propositalmente nos pontos definidos como sendo as entradas dos distritos de medição e controle e em pontos específicos de pressão crítica definidos nos estudos preliminares. Os equipamentos de medição e registro foram programados para coletar os dados de vazão e pressão durante sete dias consecutivos, a cada três minutos.

Os dados registrados através de *dataloggers* em períodos estendidos possibilitaram a verificação dos efeitos da sazonalidade. Essas informações forneceram os parâmetros para a modelagem hidráulica, melhorias em pontos de abastecimento e para a calibração das simulações.

As medições de vazão através de macromedidores ultrassônicos e eletromagnéticos ocorreram nas saídas do reservatório apoiado, do *booster* e no anel de distribuição por gravidade, em redes de 150 e 100 mm de diâmetros (Figura 17). Nesses locais a medição de pressão foi efetuada através de sensores acoplados em maletas registradoras.



FIGURA 17. Coleta de dados de vazão e pressão na saída do reservatório apoiado.

As medições de pressão em pontos críticos (PC) ocorreram de forma simples através da instalação de *dataloggers* em derivações com torneiras nos cavaletes das ligações conforme ilustra a Figura 18.



FIGURA 18. Coleta de dados de pressão em ponto crítico.

3.4.6. Modelagem hidráulica

A modelagem do sistema de distribuição de água foi baseada no cadastro técnico das redes elaborado no programa Autocad, que forneceu o número de ligações, diâmetros e comprimentos das redes, tipos de material e a configuração esquemática para composição dos

trechos e nós. O processo de conversão e importação do cadastro de redes para o *Epanet 2* utilizou o *software* Conversor do Autocad (dxf) para *Epanet 2* (inp).

No ambiente *Epanet 2* foi feito manualmente o lançamento das cotas topográficas dos nós por intermédio do levantamento topográfico da área disponibilizado pela companhia de saneamento. Na sequência foram alterados os diâmetros previamente definidos no processo de importação para os trechos da rede. Foi adotada a fórmula de Darcy-Weisbach com coeficiente de rugosidade igual a 0,0015 para o cálculo das perdas de carga em função dos diâmetros reduzidos das redes de distribuição.

3.4.6.1. Demandas nos nós

Para o cálculo das demandas nodais foi considerado o volume total de água faturada no sistema de abastecimento para o ano de 2014. O procedimento consistiu em obter o número de ligações contribuintes para cada trecho, a partir do cadastro atualizado de contas, e distribuí-las nos nós conforme as áreas de influência destes. Dessa forma a demanda nos nós correspondeu à soma dos consumos de todas as ligações reais em sua área de influência.

Para os clientes com consumo mensal superior a 50 m³, em função de sua representatividade no sistema, foi adotado procedimento específico. Após o diagnóstico da localização e dos consumos de cada grande cliente, foram criados nós específicos para o lançamento dessas demandas.

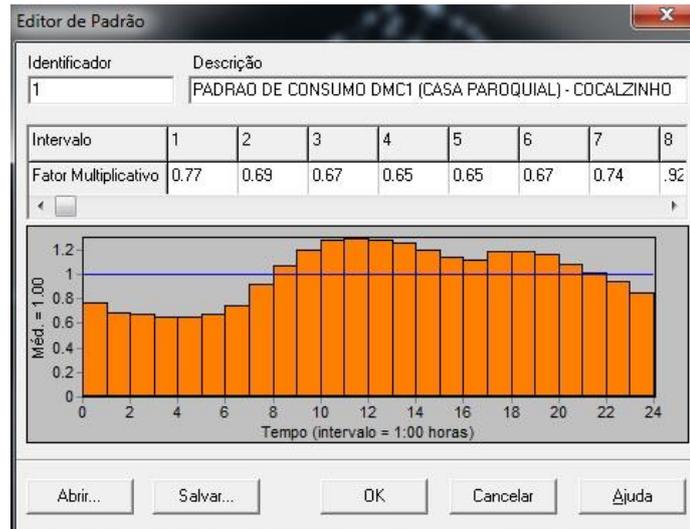
3.4.6.2 Padrão temporal

O padrão de variação horária da demanda adotado foi obtido através da medição da vazão de entrada na rede de distribuição. As medições foram realizadas por meio de medidores de vazão ultrassônicos e eletromagnético instalados na entrada de cada distrito de medição e controle para um período representativo de sete dias, absorvendo dessa forma a sazonalidade semanal. Os dados foram coletados a cada três minutos e a vazão horária foi estabelecida a partir da média de cada hora para todos os dias da semana. Para cada intervalo horário, obteve-se o fator multiplicativo em relação ao valor médio de todo o período (Tabela 4).

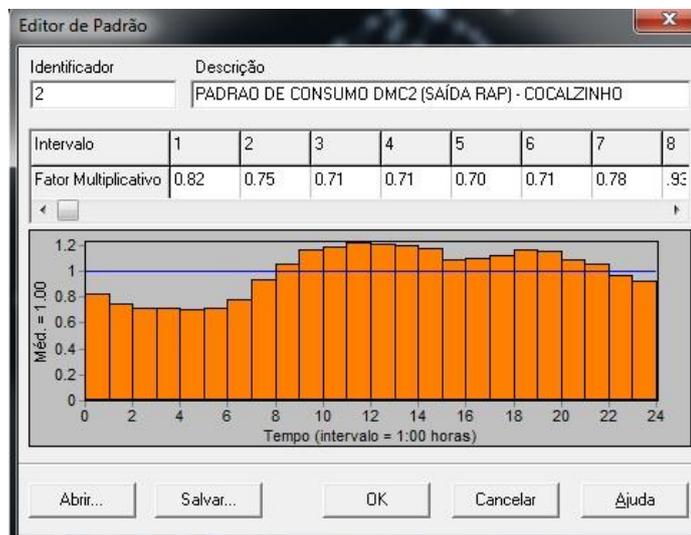
TABELA 4. Coeficientes e vazões obtidas nas entradas dos distritos de medição e controle.

Hora	DMC 1		DMC 2		DMC 3	
	Vazão L.s ⁻¹	Fator Multiplicativo	Vazão L.s ⁻¹	Fator Multiplicativo	Vazão L.s ⁻¹	Fator Multiplicativo
00:00	3,20	0,77	5,86	0,82	6,98	0,74
01:00	2,87	0,69	5,37	0,75	6,52	0,69
02:00	2,77	0,67	5,09	0,71	6,18	0,65
03:00	2,71	0,65	5,04	0,71	6,74	0,71
04:00	2,70	0,65	5,00	0,70	8,14	0,86
05:00	2,80	0,67	5,04	0,71	7,85	0,83
06:00	3,08	0,74	5,57	0,78	8,35	0,88
07:00	3,81	0,92	6,65	0,93	9,29	0,98
08:00	4,46	1,07	7,60	1,06	9,85	1,04
09:00	4,99	1,20	8,27	1,16	10,00	1,06
10:00	5,31	1,28	8,53	1,19	9,91	1,05
11:00	5,34	1,29	8,68	1,22	10,76	1,14
12:00	5,30	1,28	8,64	1,21	11,15	1,18
13:00	5,18	1,25	8,58	1,20	10,97	1,16
14:00	4,99	1,20	8,44	1,18	10,40	1,10
15:00	4,73	1,14	7,77	1,09	10,33	1,09
16:00	4,59	1,11	7,86	1,10	11,07	1,17
17:00	4,94	1,19	8,02	1,12	11,04	1,16
18:00	4,90	1,18	8,31	1,16	11,01	1,16
19:00	4,80	1,16	8,18	1,15	11,08	1,17
20:00	4,49	1,08	7,81	1,09	10,72	1,13
21:00	4,21	1,01	7,49	1,05	10,60	1,12
22:00	3,90	0,94	6,93	0,97	10,01	1,06
23:00	3,52	0,85	6,58	0,92	8,41	0,89
Média	4,15		7,14		9,47	

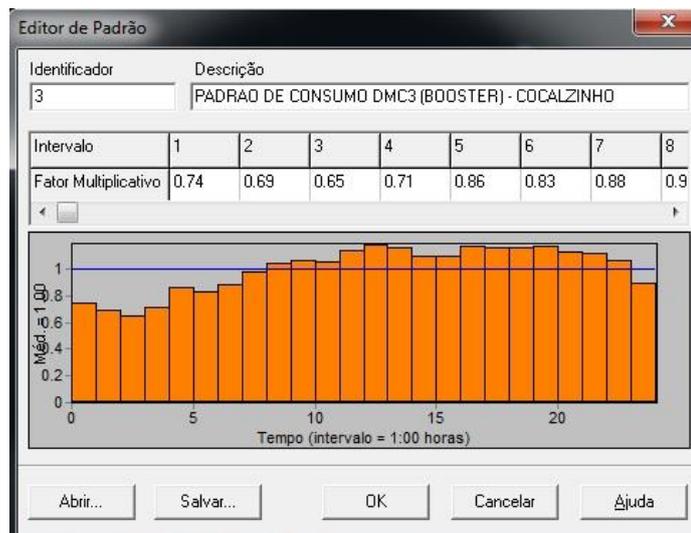
O padrão temporal obtido para cada DMC é apresentado na Figura 19.



(a)



(b)



(c)

FIGURA 19. Padrão de consumo: (a) DMC 1, (b) DMC 2 e (c) DMC 3.

3.4.6.3. Reservatório

Para construção da modelagem hidráulica foi considerado o reservatório como sendo de nível fixo com carga hidráulica variável no tempo. Dessa forma definiu-se o padrão temporal dos níveis para 24 horas de acordo com o histórico de dados fornecidos pelo sistema supervisor existente.

O principal parâmetro inserido nas propriedades do reservatório foi a carga hidráulica (cota do fundo + altura de pressão) resultando no valor de 1168,10 m. O padrão temporal de nível obtido para o reservatório é apresentado na Figura 20.

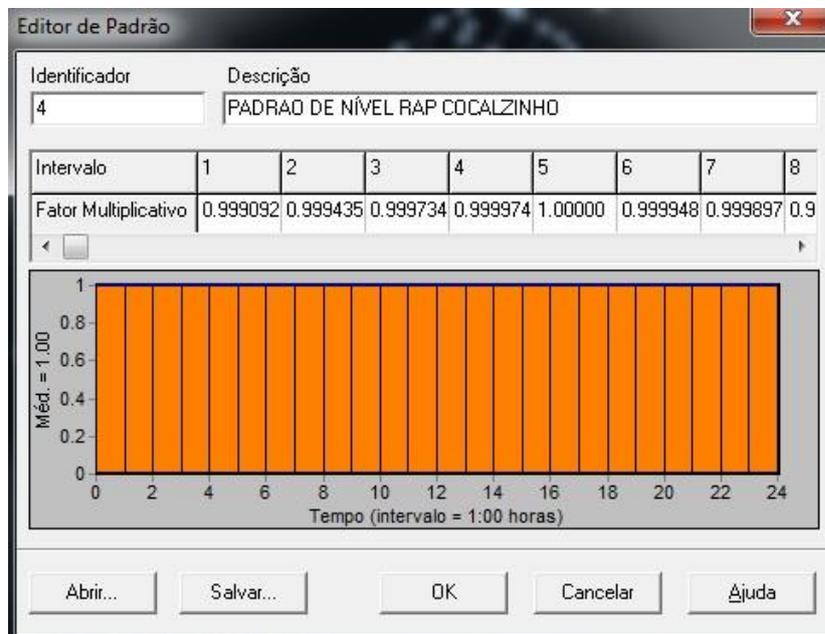


FIGURA 20. Padrão temporal de nível para o reservatório apoiado.

3.4.6.4. Bomba

Para a modelagem do *booster* foi considerada a altura manométrica e a vazão para definir as suas condições de funcionamento. Ao *Epanet 2* foi fornecido um par de valores de vazão – altura manométrica, referente ao ponto ótimo de funcionamento da bomba, definido nos estudos preliminares. A Figura 21 apresenta os dados da curva da bomba.

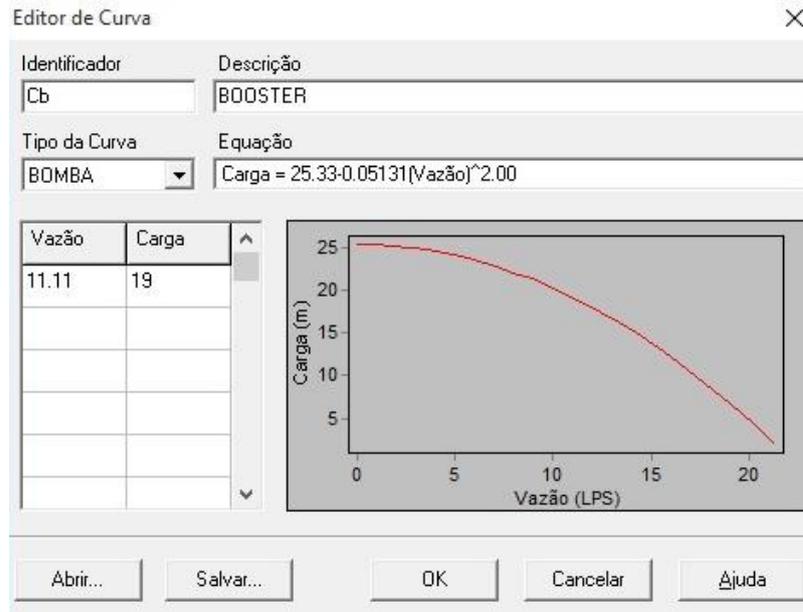


FIGURA 21. Curva da bomba.

De modo a garantir a fidelidade da operação na modelagem hidráulica, o *booster* recebeu a configuração de funcionamento de acordo com a programação real. Assim sendo, foi estabelecido o controle programado para desligamento entre 22:00h e 08:00h. Entretanto, após a implantação da setorização, optou-se por reprogramá-lo para desligamento entre 22:00h e 05:00h em razão de desabastecimento na região próxima ao reservatório.

3.4.6.5. Configuração da modelagem hidráulica

Utilizando o *Epanet 2*, as redes de distribuição foram modeladas com a topologia da Figura 22, na qual as tubulações foram configuradas com os dados reais das redes (Apêndice A). O reservatório apoiado, definido com nível fixo, está representado pelo nó denominado RAP e o gráfico de isolinhas das cotas topográficas é apresentado no detalhe inferior direito da figura.

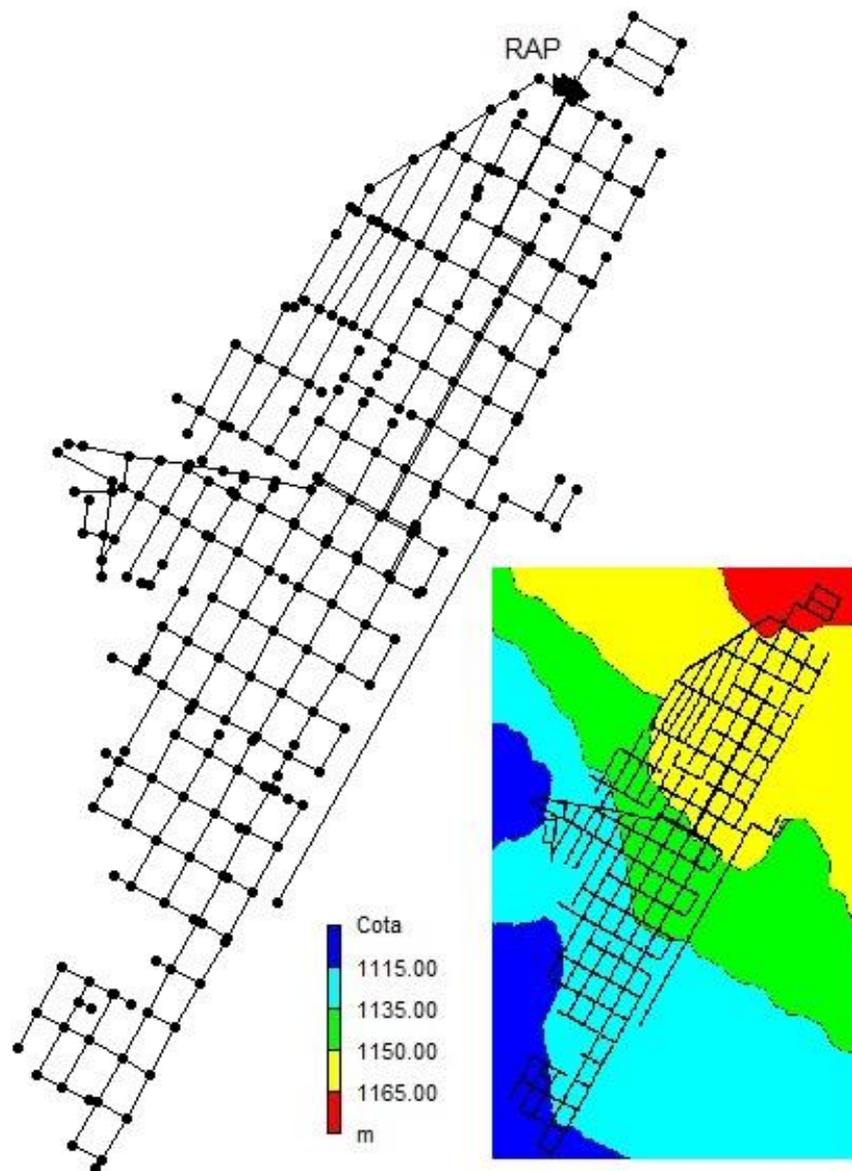


FIGURA 22. Configuração da modelagem hidráulica com isolinhas das cotas topográficas.

3.4.7. Calibração

Para efeito deste trabalho foi utilizado o programa *Epanet Calibrator* em função de sua disponibilização gratuita. Não foi objeto de estudo julgar ou validar qual a melhor ferramenta de calibração disponível no mercado e sim a aplicação nas simulações propostas para validar o presente estudo.

De acordo com Cheung (2004), o *Epanet Calibrator* corresponde à versão aperfeiçoada do *Epanet 2* que possui módulo de calibração de modelos (rugosidade, parâmetros de vazamentos). Esse *software* possui módulos de classificação de setores, entrada de dados de

campo (pressão e vazão) com importação em .csv e o módulo de calibração (baseado no método dos algoritmos genéticos).

As pressões e vazões observadas nos pontos de entrada dos distritos de medição e controle configuraram os dados de entrada no programa calibrador. Também configuraram dados de entrada o comprimento dos trechos, os diâmetros, a cota topográfica, a rugosidade das tubulações e as demandas dos nós. O sistema de distribuição de água foi calibrado por meio das variáveis representadas pela rugosidades das tubulações e coeficientes emissores (para considerar o efeito dos vazamentos nas redes e ramais) simulando o abastecimento por um período de 24 horas.

Conforme recomendam Abe e Cheung (2009), no processo de calibração com a importação do modelo hidráulico criado no *Epanet 2*, foram definidos grupos que representassem conjuntos de tubulações com características em comum. Quanto mais precisa for a definição dos grupos, melhor a calibração. Dessa forma foram analisados quatro cenários para a escolha da melhor opção de calibração, cada um com uma concepção distinta de grupos de tubulações. A Figura 23 apresenta os cenários concebidos.

No cenário 1 foi considerada toda a rede como sendo um único grupo de características semelhantes. Para o cenário 2 foram definidos dois grupos levando-se em consideração as zonas de abastecimento por gravidade e em marcha (*booster*). O cenário 3 contou com a criação de três grupos, sendo cada um representado pelas áreas de abrangências dos DMCs 1, 2 e 3. Já para o cenário 4 foram criados 7 grupos em função das idades aproximadas das tubulações obtidas através da companhia de saneamento.

A pressão nos nós e a vazão nos trechos, observadas nas entradas dos DMCs para cada um dos cenários, foram lançadas no *software* de calibração adotando-se os seguintes parâmetros genéricos: população inicial 3000, probabilidade de mutação 0,01, probabilidade de cruzamento 0,9 e gerações 5000. O tempo médio de cada operação foi de aproximadamente 30 minutos em um computador com processador *Intel Core i7 – 4510U* de dois núcleos, de 2,00 GHz, 4 processadores lógicos e 8 GB de memória *RAM*.

Após cada calibração, conforme recomenda Pizzo (2004), foi executada a análise de sensibilidade e posteriormente a microcalibração.

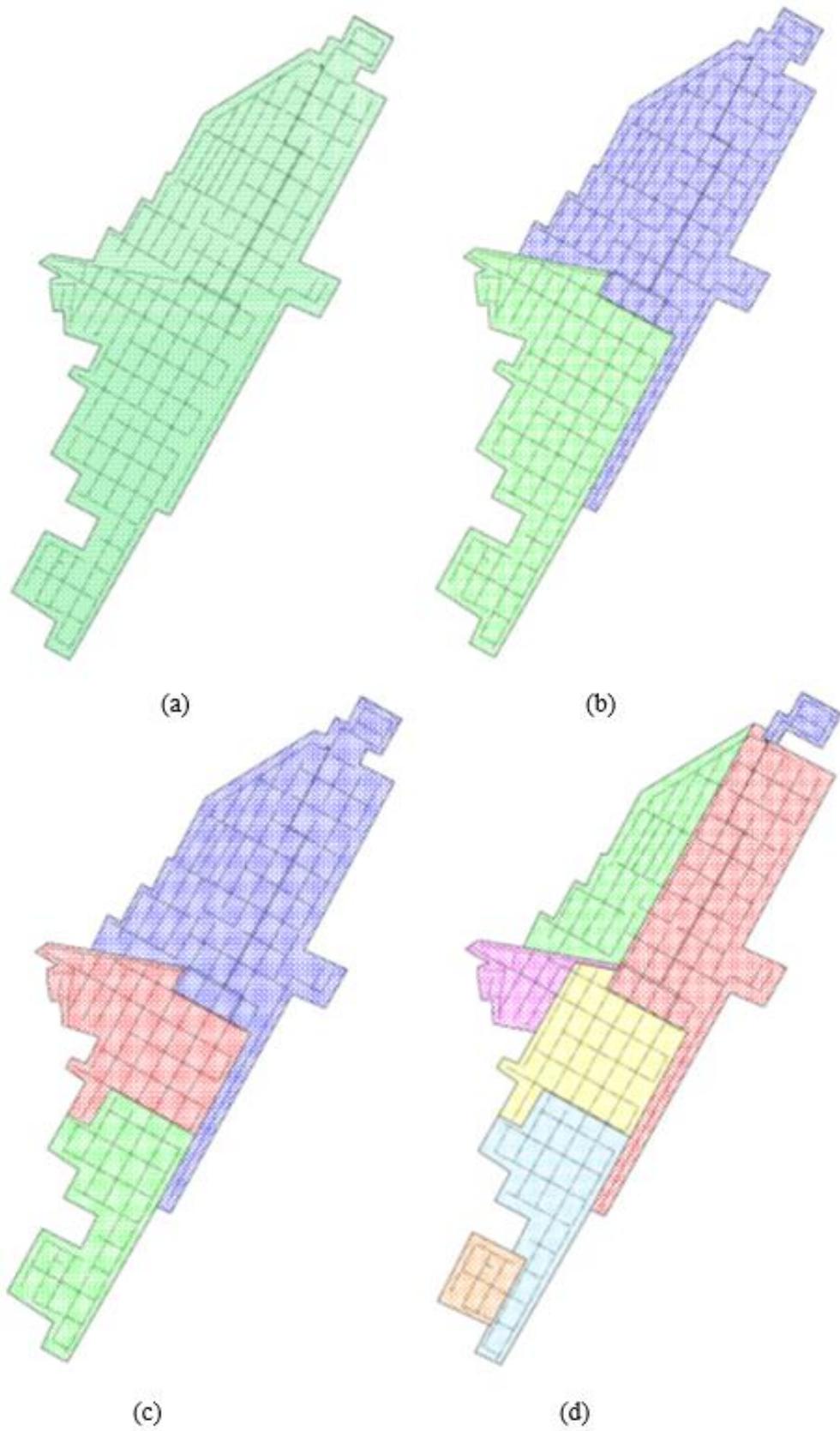


FIGURA 23. Composição dos cenários utilizados para a calibração das redes: (a) cenário 1, (b) cenário 2, (c) cenário 3 e (d) cenário 4.

A análise de sensibilidade foi feita a partir da avaliação estatística dos dados dos cenários calibrados de acordo com o coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) e dos critérios estabelecidos pelo WRC. De posse dessa verificação foi definida a calibração com melhores resultados dentre os cenários avaliados. A análise consistiu em verificar a coerência entre os valores retornados e a situação real de campo da melhor alternativa entre os cenários. Dessa forma foram analisados os trechos e nós com valores incoerentes, além daqueles que apresentaram pressões negativas ao longo da simulação para as 24 horas.

A microcalibração foi executada alterando os coeficientes dos emissores dos nós e as rugosidades nos trechos de acordo com o mapa de calor dos vazamentos e a idade da rede, respectivamente. O mapa de calor dos vazamentos foi obtido a partir dos dados constantes no sistema SICSAN da companhia de saneamento para o ano de 2014, através da utilização do programa QGIS. No *software* foram lançados todos os vazamentos de redes, ramais e cavaletes obtendo um mapa georreferenciado com a posição e densidade das ocorrências. Foi adotado o critério de executar a microcalibração das zonas de menor cota topográfica para as de maior cota, evitando assim alterações mais significativas ao longo do sistema.

3.4.8. Setorização

3.4.8.1. Dimensionamento do projeto

O projeto de setorização das redes de distribuição seguiu os preceitos da NBR 12218 de 1994. Segundo essa norma um setor de abastecimento deve abranger uma área que apresente uma ou mais das seguintes características:

- Extensão de rede: 7 mil a 35 mil metros;
- Número de economias: 600 a 3.000 unidades;
- Área: 40.000 a 200.000 m².

No presente trabalho, entretanto, alguns critérios de dimensionamento estabelecidos não puderam ser atendidos, notadamente aqueles relacionados ao tamanho dos setores. Todavia, as vazões de abastecimento desses locais foram previamente calculadas atendendo os padrões normatizados e, posteriormente verificadas e corrigidas as distorções por meio das pressões retornadas na modelagem matemática. A Tabela 5 apresenta as principais características de projeto dos setores.

TABELA 5. Características de projeto dos setores.

Setor de Abastecimento	Extensão (m)	Economias	Área (m²)
0.0276.0001	1631	88	64318
0.0276.0002	1874	112	63003
0.0276.0003	3507	299	248114
0.0276.0004	3097	312	174991
0.0276.0005	6012	500	371760
0.0276.0006	2814	165	195630
0.0276.0007	5725	403	420117
0.0276.0008	4035	410	114890
0.0276.0009	2300	201	127878
0.0276.0010	2141	227	126501
0.0276.0011	1075	86	53741

A nomenclatura dos setores seguiu a codificação do distrito (cidade) adotada pela companhia de saneamento, seguida da numeração sequencial de execução (jusante para montante). Foram demarcadas e registradas as áreas de influência de cada setor constando os números das quadras e a respectiva área de reservação. De forma a facilitar a execução foram definidas e detalhadas as ações com seus respectivos endereços. Para cada setor foram determinados os registros de manobra e de descarga e indicadas as suas localizações no projeto.

Uma lista de materiais foi elaborada para cada setor contendo a descrição detalhada de todo o quantitativo relacionado às ações programadas.

A Figura 24 ilustra o produto final do dimensionamento que contou com 11 setores distribuídos dentro dos 3 DMCs existentes.

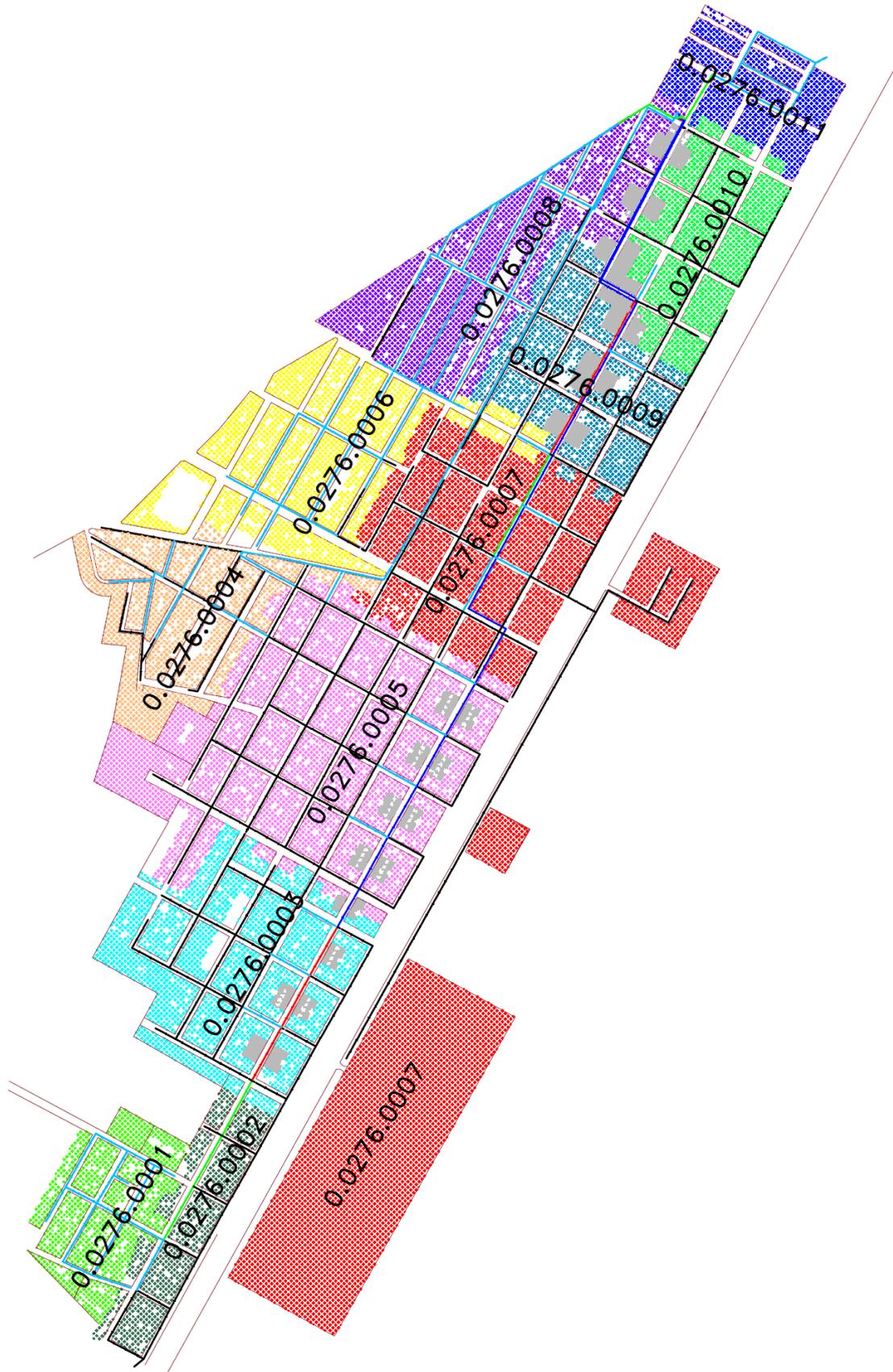


FIGURA 24. Desenho final do projeto de setorização de redes.

3.4.8.2. Implantação dos setores

A implantação dos setores de distribuição envolveu uma série de atividades. A primeira delas consistiu em verificar a disponibilidade, quantidade e funcionamento de todos os materiais e equipamentos necessários previamente. Feito isso, foi checada a localização das redes e de suas válvulas onde foram programadas as intervenções, garantindo livre acesso ao local. Nessa etapa foram verificados também o tipo de pavimento das vias, calçadas, proximidade de equipamentos públicos e condições de tráfego.

As intervenções seguiram o projeto executivo elaborado e foram representadas por:

- Localização e teste de funcionamento de registros de manobras ou descargas (quando existentes);
- Capeamento ou separação de redes previamente interligadas, permitindo a separação dos setores;
- Instalação de registros de manobras ou de descargas com conjunto pré-moldado de manilha, anel e tampão;
- Sobreposição de uma rede à outra (quando ambas se encontravam interligadas) com a finalidade de restringir a alimentação dos setores;
- Interligação de pontas de redes permitindo a circulação de água nas quadras;
- Interligação de redes em anéis de distribuição melhorando as condições de abastecimento;
- Substituição de trechos de rede com aumento do diâmetro para melhorar a condição de abastecimento do setor.

Para cada uma das ações executadas foi planejada a interrupção do abastecimento estritamente nos momentos necessários e, emitidos comunicados à população somente nos casos em que houvesse comprometimento do abastecimento.

A Figura 25 mostra os tipos mais comuns de intervenções para implantação da setorização das redes.



(a)



(b)



(c)



(d)

FIGURA 25. Execução das ações de setorização: (a) implantação de registro, (b) capeamento e substituição de trecho de rede com aumento de diâmetro, (c) interligação de pontas de redes e (d) interligação de rede em anéis de distribuição.

3.4.8.3. Teste de estanqueidade

O teste de estanqueidade consiste na verificação em campo do completo isolamento do setor em relação ao restante da rede. Esse procedimento foi utilizado como decisivo para a consolidação da criação de um setor de abastecimento.

Para a execução do teste foi feita a indicação em planta cadastral dos registros de entrada e descarga do módulo, bem como daqueles que porventura interligam setores entre si. Em campo os registros foram previamente localizados e verificadas as condições de operação de cada um, substituindo ou executando as devidas manutenções caso necessárias.

A operação foi realizada interrompendo a entrada de água no setor por intermédio do fechamento de válvulas e, monitorando na sequência as pressões instantâneas através dos manômetros até se obter pressões nulas na rede. Para facilitar o procedimento, em algumas situações, foram realizadas descargas de rede com o intuito de reduzir o tempo necessário para a finalização do teste. Constatado o perfeito isolamento do setor é dado como encerrado o teste.

Caso contrário, são necessárias investigações de possíveis interligações e programadas as ações corretivas para posterior aplicação de novo teste.

Após o encerramento de cada teste foi definido e executado monitoramento das pressões até o reestabelecimento do abastecimento na área. Caso constatado algum problema de desabastecimento, foram disparadas ações pontuais para correção dos mesmos.

3.4.9. Fator de pesquisa e retirada de vazamentos

Periodicamente, ao longo da implantação da setorização das redes e, após o teste de estanqueidade, foram calculados os fatores de pesquisa (de acordo com o preconizado no item 2.2.4.5. Vazão mínima noturna) para identificar e quantificar as perdas físicas nos setores.

Para o cálculo da vazão mínima noturna foram definidos intervalos de dias sem ações de implantação que pudessem gerar intermitências no sistema e feitas as coletas das medições de vazões para um período de 24 horas através dos *dataloggers*. Com esses dados foi efetuado o cálculo do fator de pesquisa e, encontrados valores acima de 0,30 (evidência de perdas não inerentes) foram programadas atividades de pesquisa de vazamentos não visíveis e eventualmente investigação visual de vazamentos visíveis na área em análise.

A pesquisa de vazamentos não visíveis foi realizada através de hastes metálicas específicas (varetas) posicionadas diretamente sobre a tubulação do cavalete dos hidrômetros com o propósito de se detectar ruídos típicos de vazamentos nos ramais ou até mesmo em redes. Para essa finalidade, funcionários treinados e em regime de mutirões executaram “varetamentos” nas áreas selecionadas e os casos de suspeita de vazamentos foram anotados em planilhas específicas com endereço, data, horário e número de hidrômetro para posterior confirmação. Após essa etapa, em horários específicos (ou até mesmo de madrugada), executou-se a confirmação e localização mais aproximada dos vazamentos com geofones (equipamentos mais precisos) e fez-se o registro de sua marcação ou amarração para posterior retirada.

A retirada dos vazamentos detectados foi realizada manualmente ou através de caminhões com retroescavadeiras acopladas. Após essa etapa, se diagnosticado novo fator de pesquisa acima do limite especificado, eram refeitas a pesquisa e a retirada de vazamentos.

3.4.10. Análise de perdas e combate às irregularidades

Com resultado satisfatório obtido pelo fator de pesquisa é feita a análise de perdas para a região estudada. Essa atividade é realizada apurando-se o IP da área em estudo obtido no fechamento do ciclo de consumo e comparando-o com o valor de referência da empresa (IP = 27%). O índice de perdas da área em estudo é calculado pela razão do volume macromedido no DMC pelo volume faturado (micromedido) no mês de referência da análise. A operação possui dois desdobramentos:

- Se o IP da área em estudo for maior que o valor referência, são disparadas ações de combate às irregularidades no setor;
- Se o IP da área em estudo for menor ou igual ao valor referência, são encerradas as ações naquela região até o próximo ciclo de faturamento.

As atividades de combate à irregularidade envolveram vistorias em campo para as contas com consumo inferior à 50% do consumo estimado, vistorias nas contas suprimidas com e sem fonte alternativa, lacração de todos os hidrômetros com lacre anti-fraude e remoção de hidrômetros internos aos lotes para fora destes.

3.5. Materiais utilizados

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados diversos equipamentos e maquinários para as investigações e execuções de campo, além de *softwares* específicos para simulação e calibração hidráulica.

3.5.1. Medições de pressão instantânea

Manômetros analógicos da marca Acros com escala de 0 a 100 mH₂O e de 0 a 30 mH₂O com mangueiras de engate rápido de 3/4" adaptável às torneiras e cavaletes dos hidrômetros foram utilizados nas medições instantâneas. A Figura 26 ilustra o tipo de manômetro utilizado.



FIGURA 26. Manômetro analógico com escala de 0 a 100 mH₂O.

3.5.2. Medições de pressão com *data-loggers*

As medições de pressão por períodos prolongados foram feitas a partir de maletas registradoras com sensores da marca Smar e coletores e armazenadores de dados do modelo Log Box – AA da marca Novus com uma ou duas entradas de dados, conforme pode ser visto na Figura 27.



(a)



(b)

FIGURA 27. Maleta registradora de pressão (a) e *datalogger* (b).

3.5.3. Medições de vazão

As medições de vazão foram feitas a partir de macromedidores da marca Micronics tipo ultrassônico Modelo U3000C e macromedidor da marca Krohne tipo eletromagnético com datalogger acoplado modelo Waterflux 3070. Os coletores e armazenadores de dados utilizados para ambos foram também o modelo Log Box – AA da marca Novus com uma ou duas entradas de dados. A Figura 27 mostra os modelos de macromedidores.



FIGURA 28. Macromedidores (a) ultrassônico e (b) eletromagnético.

O programa utilizado para descarregar e converter as informações armazenadas em dados editáveis através dos *dataloggers*, tanto no caso de vazão como pressão, foi o *LogChart II*. O ambiente gráfico desse programa é apresentado na Figura 29.

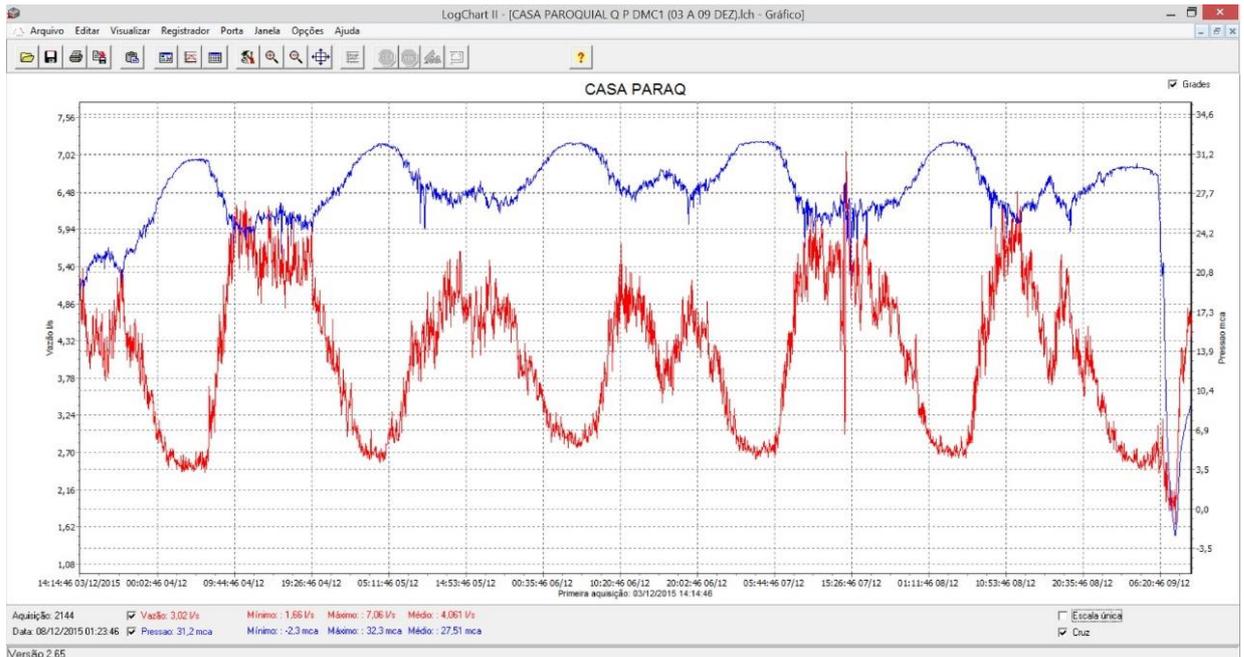


FIGURA 29. Ambiente gráfico do programa *LogChart II*.

3.5.4. Pesquisa de vazamentos

Para pesquisa de vazamentos não visíveis foram utilizados dois equipamentos: haste metálica de escuta e geofone eletrônico. As hastes metálicas de escuta utilizadas foram do tipo mecânica da marca Metalvax modelo HE MIC e os geofones utilizados foram do tipo eletrônico da marca Yamatec modelo TEC 0506 conforme ilustra a Figura 30.



FIGURA 30. Haste metálica de escuta (a) e geofone eletrônico (b).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo serão apresentados e discutidos conforme a sequência de execução. O primeiro tópico refere-se à simulação das redes de distribuição, o segundo à calibração da simulação hidráulica em três cenários distintos, o terceiro às vazões e pressões do sistema de distribuição antes e após a implantação da setorização das redes e, por último, os resultados obtidos na redução das perdas reais de água.

4.1. Modelagem hidráulica do sistema de distribuição

Através da utilização do programa *Epanet 2* a rede de distribuição foi simulada obtendo como resposta as pressões nos nós e as vazões nos trechos. A Figura 31 mostra a comparação dos valores de pressão simuladas no modelo com as medidas obtidas em campo das redes reais antes do processo de calibração.

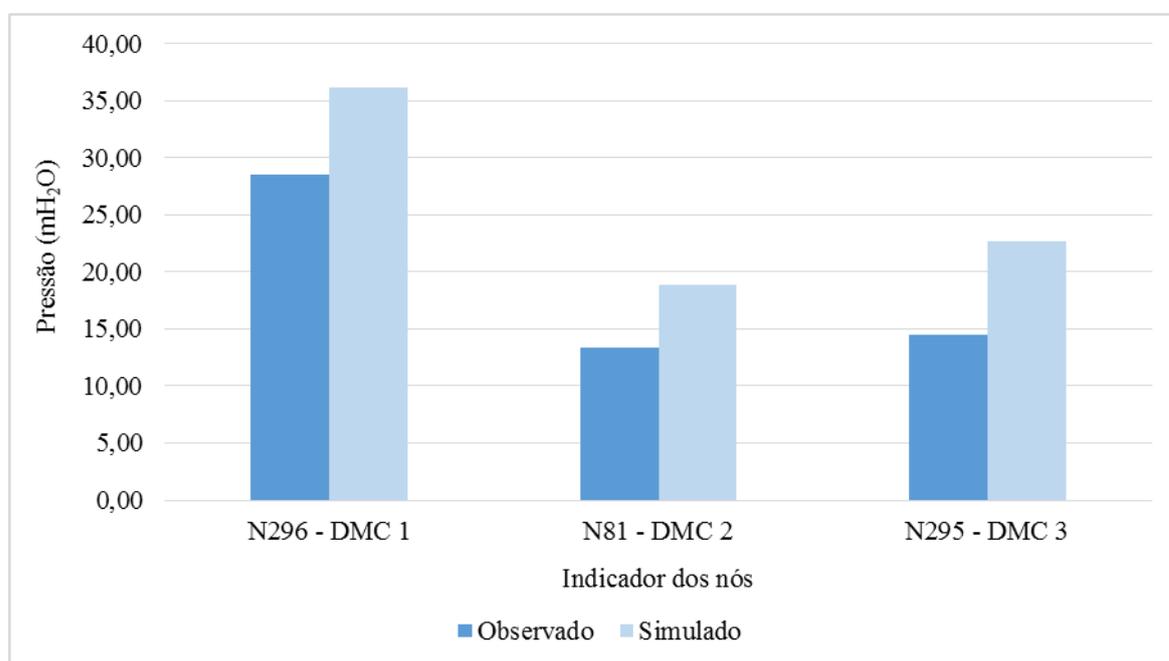


FIGURA 31. Comparação da média ao longo do tempo dos valores de pressão no sistema antes da calibração.

Observando-se os resultados obtidos para o modelo da rede sem a calibração, a análise das diferenças de pressão, mostrou que as diferenças foram significativas e essas divergências podem ter várias causas, principalmente o fato da simulação não levar em conta a quantidade de vazamentos existentes e a idade das redes. Nota-se que todas as medidas de pressão ficaram

acima de 2 mH₂O. A análise do coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) para os dados de pressão apontaram o valor médio de 0,095. Logo, tanto os critérios do *WRC* como o COE não foram atendidos.

As medidas de vazão, conforme ilustra a Figura 32, excederam em 10% da vazão total abastecida e o erro relativo da maior diferença foi de 54,18%. O valor do COE para a variável vazão foi de 0,105, valor tido como inaceitável para o critério adotado nesse trabalho. Essas diferenças, muito significativas, sugerem que o modelo hidráulico simulado no *Epanet 2* não fez um boa estimativa e, podem também ser atribuídas ao elevado número de vazamentos existentes e à idade das redes, dentre outros fatores.

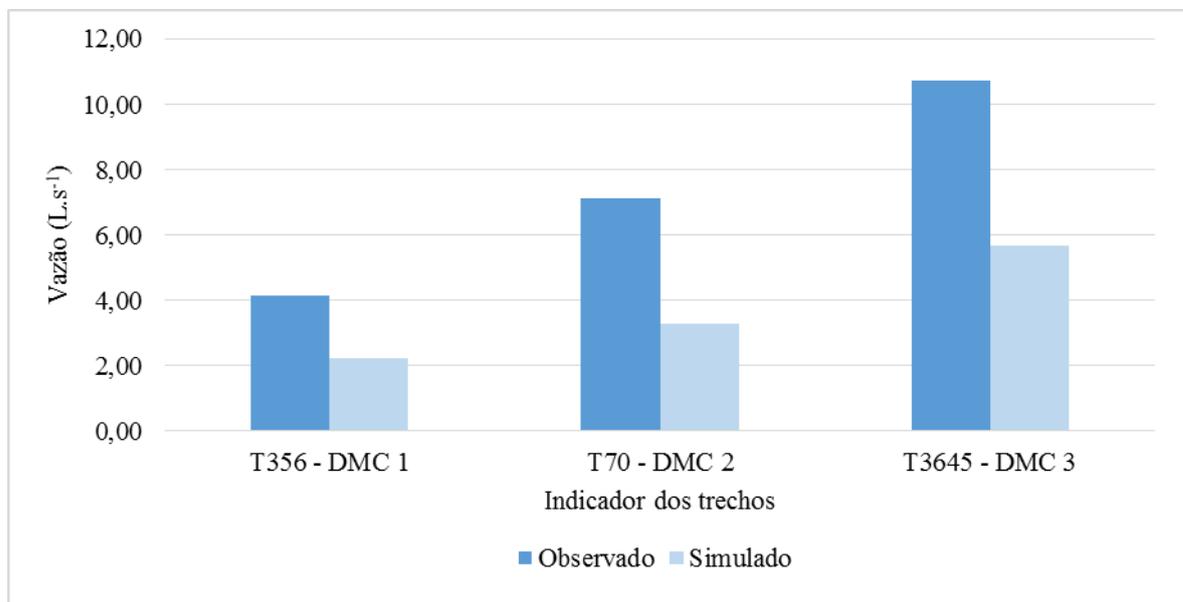


FIGURA 32. Comparação da média ao longo do tempo dos valores de vazão no sistema antes da calibração.

4.2. Calibração hidráulica

Utilizando o *Epanet Calibrator* a simulação hidráulica da rede de distribuição de Cocalzinho foi calibrada por meio das variáveis de rugosidade e coeficiente emissor segundo quatro cenários distintos. A Tabela 6 apresenta os valores de COE para os dados de vazão e pressão simulados e calibrados nos cenários 1, 2, 3 e 4 em relação aos valores observados.

TABELA 6. Coeficientes de eficiência de Nash e Stucilffe para os valores de vazão e pressão em relação aos valores observados.

	Simulação	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
Vazão	0,095	0,754	0,861	0,852	0,790
Pressão	0,105	0,470	0,589	0,594	0,517

Os resultados obtidos para vazões e pressões mostram a significativa melhora dos valores de COE que o processo de calibração permitiu. O desempenho do modelo tido como inaceitável (antes da calibração) mudou para aceitável para a vazão e bom para a variável pressão, evidenciando o comportamento cenários 2 e 3 no processo. A análise dos erros absolutos das pressões e dos erros relativos das vazões para o mesmo conjunto de dados apontam resultados convergentes. A Tabela 7 mostra os erros absolutos do conjunto de dados de pressão para a simulação e cenários em relação ao observado.

TABELA 7. Erros absolutos para os valores médios de pressão em relação aos valores observados.

DMC	Erro absoluto (mH ₂ O)				
	Simulação	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
DMC 1	7,56	0,90	0,46	0,03	0,56
DMC 2	5,52	1,01	0,60	0,55	0,27
DMC 3	8,17	1,01	0,18	0,83	0,58

Baseado nos critérios do WRC, que estabelece que a rede hidráulica esteja calibrada quando as medidas de pressão realizadas em campo não excedam em ± 2 mH₂O das medidas simuladas (erro absoluto), pode-se afirmar que o estado inicial da modelagem hidráulica não é satisfatório, atingindo erro absoluto máximo da ordem de 12,88 mH₂O. Entretanto, após a calibração uma significativa melhora aponta para todos os valores médios de pressão dentro do limite de erro absoluto. O valor máximo encontrado foi de 2,70 mH₂O. A análise dos dados permite observar os bons resultados dos cenários 2, 3 e 4.

A Tabela 8 mostra os erros relativos do conjunto de dados de vazão para a simulação e cenários calibrados em relação ao observado.

TABELA 8. Erros relativos para os valores médios de vazão em relação aos valores observados.

DMC	Erro relativo (%)				
	Simulação	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4
DMC 1	46,42	-20,61	-10,37	-4,22	-5,33
DMC 2	54,18	21,42	19,33	16,75	6,88
DMC 3	46,99	5,16	-1,07	-3,99	-8,68

Em relação aos valores de erros relativos das vazões, segundo os critérios do *WRC*, houve significativa redução dos erros em relação ao simulado, embora todos os cenários apresentaram valores acima de 5% da vazão total abastecida. O erro relativo máximo encontrado foi de 45,39%. Os melhores desempenhos foram obtidos nos cenários 4 e 3.

Dessa forma, com base no desempenho apresentado no coeficiente de Nash e Stučliffe e nos critérios do *WRC*, foi feita a escolha do cenário 3 dentre os cenários calibrados para a execução da análise de sensibilidade e microcalibração.

O mapa de calor que representa a incidência de vazamentos nas áreas dos DMCs é apresentado na Figura 33. As regiões 1, 2 e 3 indicadas no mapa tiveram seus coeficientes emissores retirados na microcalibração em função da baixa incidência de vazamentos, enquanto as regiões indicadas pelas setas (alta densidade de vazamentos) tiveram seus coeficientes emissores majorados. Dessa forma, foi possível ajustar a distribuição uniforme retornada no procedimento de calibração para as condições reais da rede de distribuição existente, no contexto do trabalho.

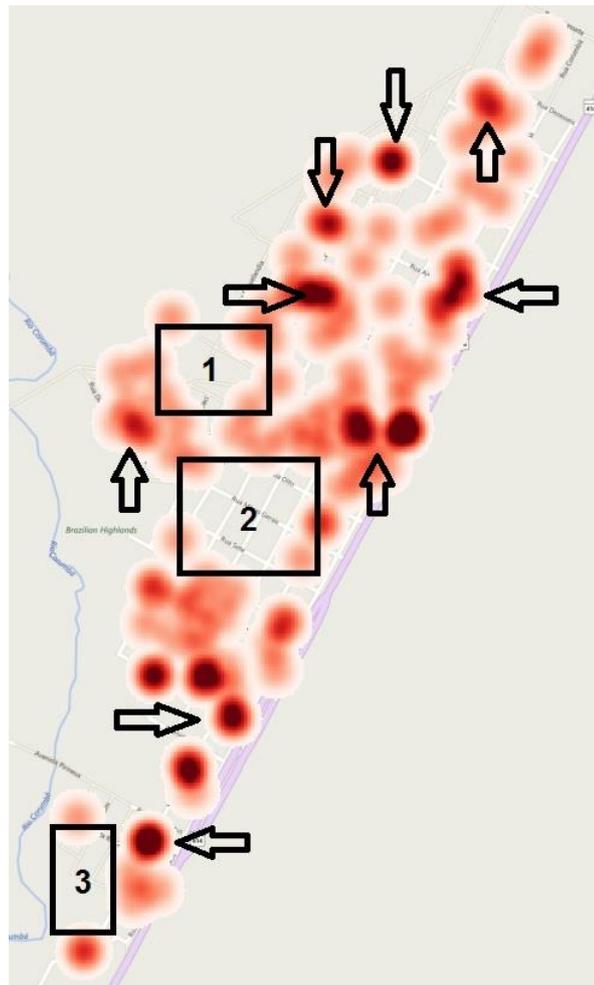


FIGURA 33. Mapa de calor da incidência de vazamentos para o ano de 2014.

Outro ajuste foi considerado alterando-se os valores das rugosidades nos trechos de redes novas (com menos de 5 anos de implantação). O resultado retornado pela calibração do cenário 3 sem intervenções e, o obtido após a microcalibração são mostrados nas Figura 34 e 35.

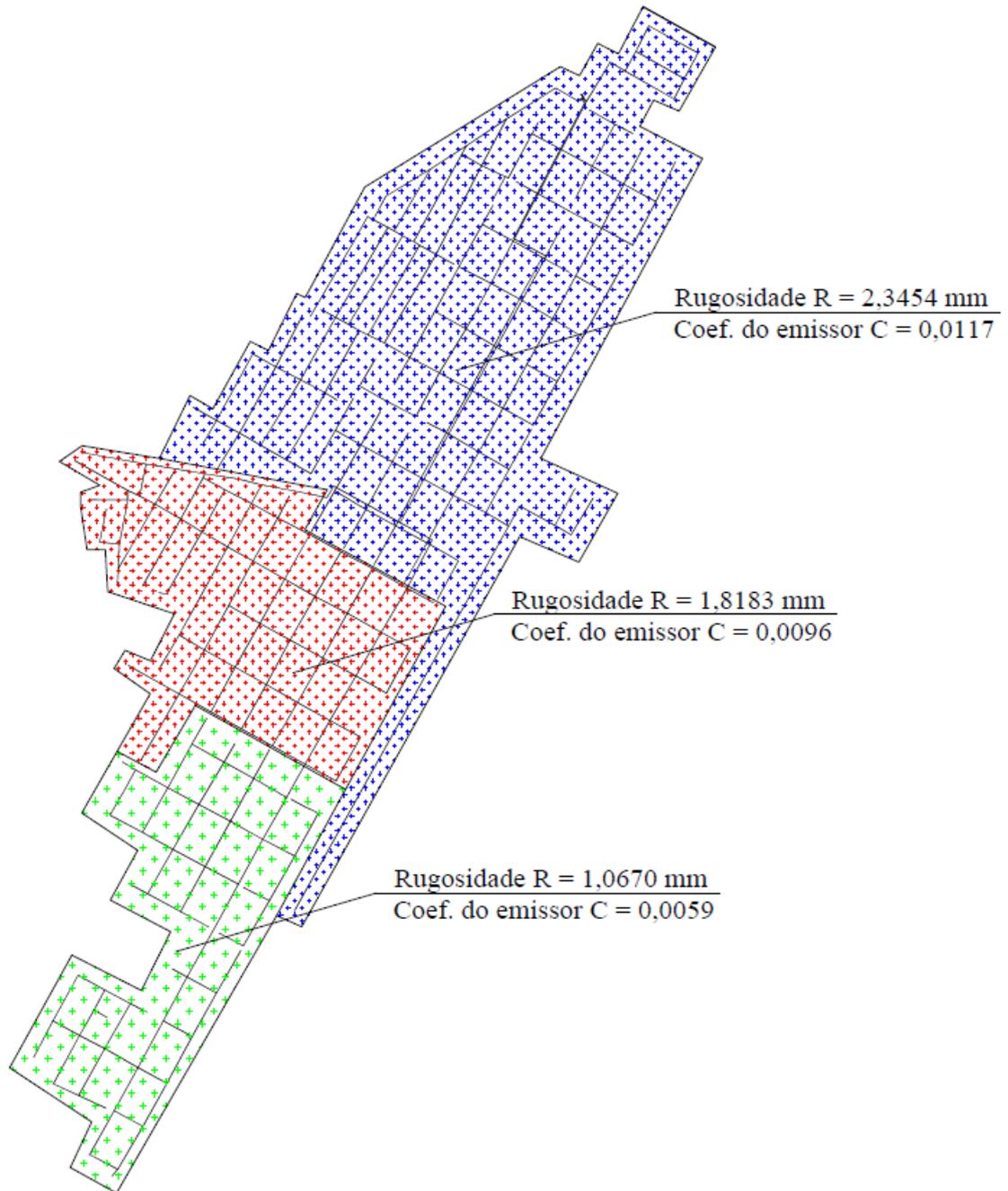


FIGURA 34. Rugosidades e coeficientes emissores do cenário 3 antes da microcalibração.

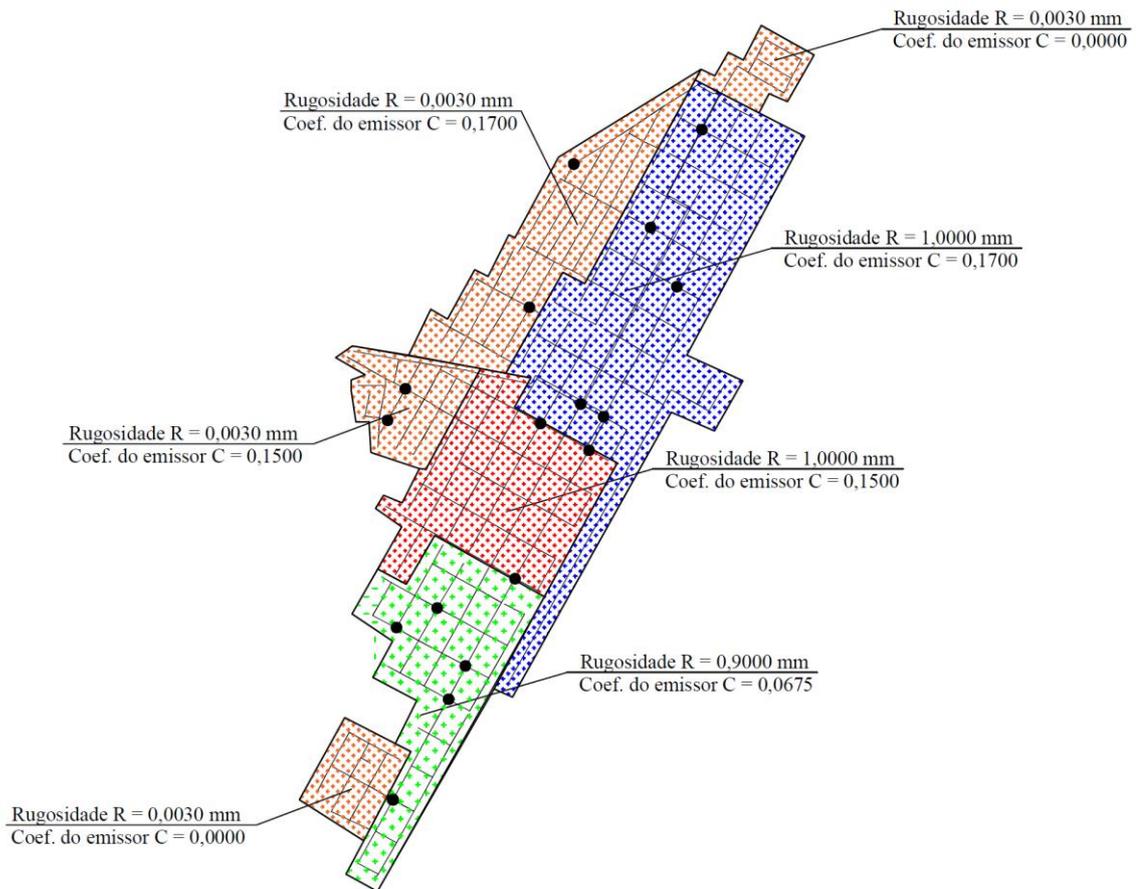


FIGURA 35. Rugosidades e coeficientes emissores do cenário 3 após a microcalibração.

O resultado final após a microcalibração foi verificado quanto à análise estatística do COE e critérios do WRC com o objetivo de certificar que as alterações impostas não prejudicassem os resultados anteriormente obtidos. Os valores de COE de 0,991 para a vazão e 0,829 para a pressão evidenciam a significativa melhora do modelo após a microcalibração. A Tabela 9 sintetiza os resultados finais da calibração em relação aos valores observados.

TABELA 9. Erros absolutos e relativos em relação aos valores observados para o cenário 3 antes e após a microcalibração.

Erro	DMC	Simulação	Cenário 3 Inicial	Cenário 3 Final
Absoluto (mH ₂ O)	DMC 1	7,56	0,03	0,51
	DMC 2	5,52	0,55	0,14
	DMC 3	8,17	0,83	1,32
Relativo (%)	DMC 1	46,42	-4,22	-0,96
	DMC 2	54,18	16,75	-2,00
	DMC 3	46,99	-3,99	1,78

Observa-se também que a microcalibração (Cenário 3 Final) melhorou a média dos erros em relação à calibração inicial, apresentando resultados satisfatórios em relação aos critérios do *WRC*. As exceções foram para os DMC1 e DMC3 que sofreram alteração aproximada de 0,50 mH₂O, resultado que ainda sim obedece ao limite preconizado.

Ressalta-se ainda que o real conhecimento da rede estudada contribui substancialmente para uma eficiente análise de sensibilidade e para obtenção de resultados coerentes.

Soares et al. (2004) alcançaram resultados considerados animadores para o modelo calibrado de um setor de redes em Campo Grande – MS. Os erros relativos para as vazões simuladas/observadas foram de aproximadamente $\pm 0,02\%$, enquanto os erros absolutos médios para as pressões diurnas foram de 3,74 mH₂O e de 5,74 mH₂O para as pressões noturnas. Os autores ressaltaram que os resultados poderiam ter sido melhores, não fossem as incertezas relacionadas às estimativas de demandas em alguns pontos, bem como singularidades desconhecidas e erros do cadastro técnico.

Silva (2014) conseguiu bons resultados calibrando uma rede real no Distrito de Juatama, Quixadá, Ceará com o programa *LenhsCalibra*. Embora a vazão média calibrada apresentasse erro relativo de 22% (fora dos limites do *WRC*) que o pesquisador justifica com as perdas e consumos reais baixos (mascarados pelo faturamento de contas no valor mínimo de 10 m³), as pressões calibradas apresentaram valor médio de erro absoluto de 1,4 mH₂O.

Salvino et al. (2015) obtiveram resultados satisfatórios na calibração de uma rede de distribuição de água piloto situada no Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento da Universidade Federal da Paraíba com a utilização do programa *LenhsCalibra*. Os resultados obtidos apontaram diferenças absolutas de pressões abaixo de 2 mH₂O e, com a experiência inicial os autores sugerem que o *software* empregado possa também ser utilizado em outras redes estáticas e dinâmicas.

4.3. Comportamento vazão x pressão

A Figura 36 ilustra o comportamento da vazão e pressão no DMC1 antes da implantação da setorização das redes. A vazão mínima noturna (VMN) obtida no período foi de 2,42 L.s⁻¹ obtida no dia 20/01/2015 e o FP foi de 55,63%, indicando presença de vazamentos na área.

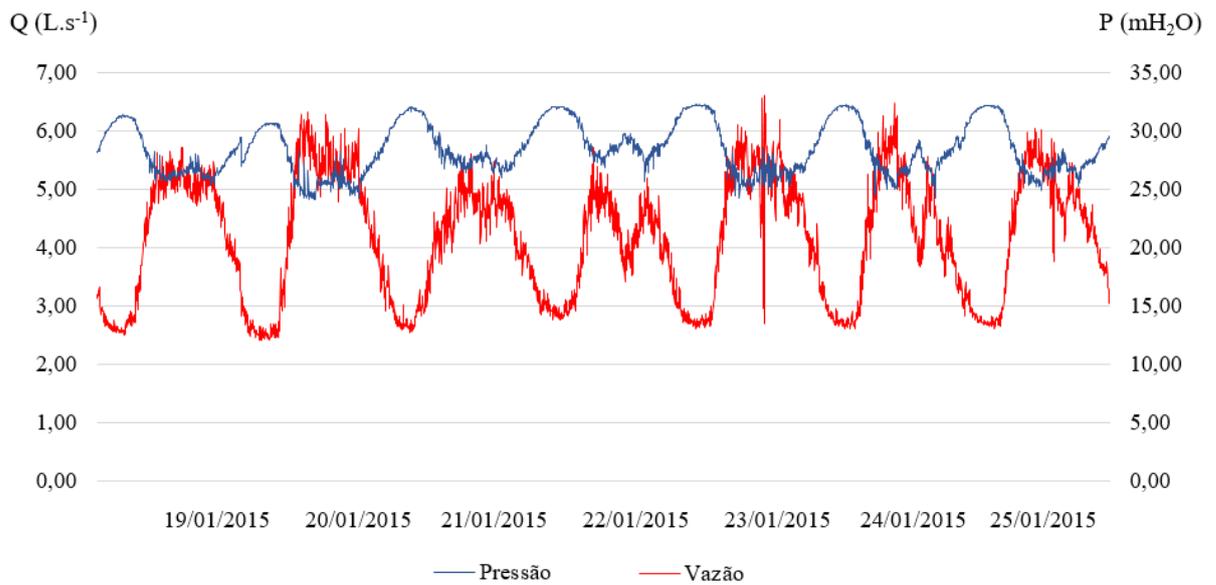


FIGURA 36. Comportamento da vazão e pressão no DMC1 antes da setorização.

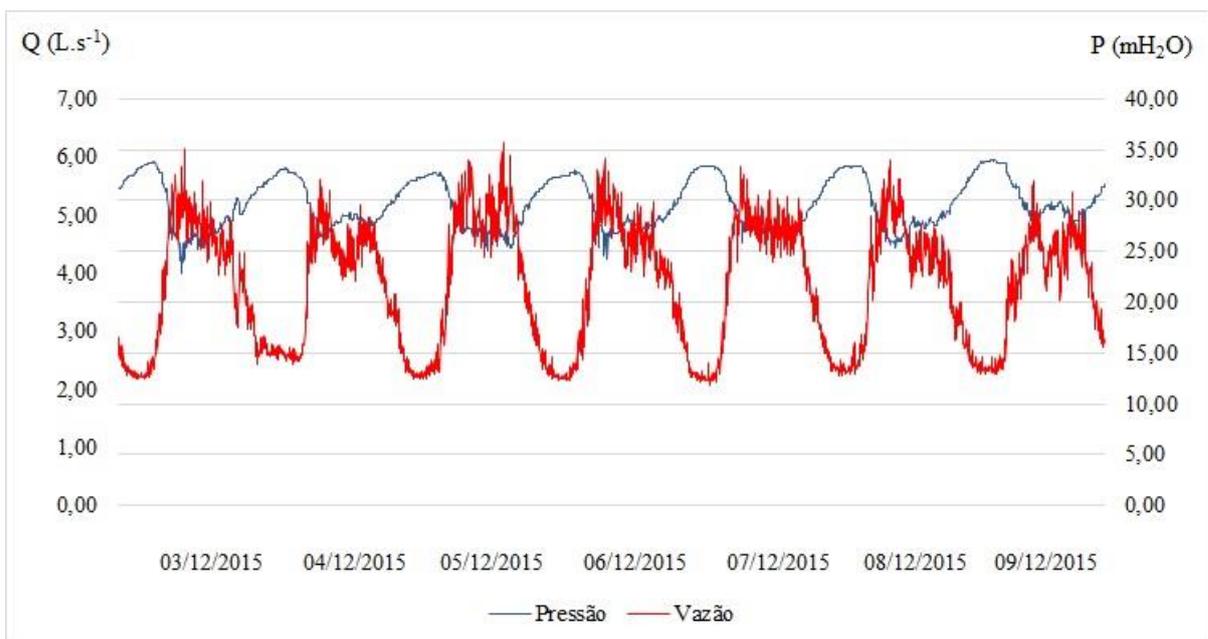


FIGURA 37. Comportamento da vazão e pressão no DMC1 após a setorização.

A Figura 37 mostra o comportamento da vazão e pressão no DMC1 após a implantação da setorização das redes. A VMN obtida no período foi de $2,08 \text{ L.s}^{-1}$ obtida no dia 07/12/2015 e o FP foi de 53,69%, indicando que parte dos vazamentos anteriormente existentes foram retirados. O valor do FP ainda pode ser considerado alto e indica que entre o período de implantação do DMC e o período das últimas medições de vazão novos vazamentos voltaram a surgir na área.

A Figura 38 ilustra o comportamento da vazão e pressão no DMC2 antes da implantação da setorização das redes. A VMN obtida no período foi de $4,18 \text{ L.s}^{-1}$ obtida no dia 20/01/2015 e o FP foi de 56,39%, indicando também como no DMC1 a presença de vazamentos na área.

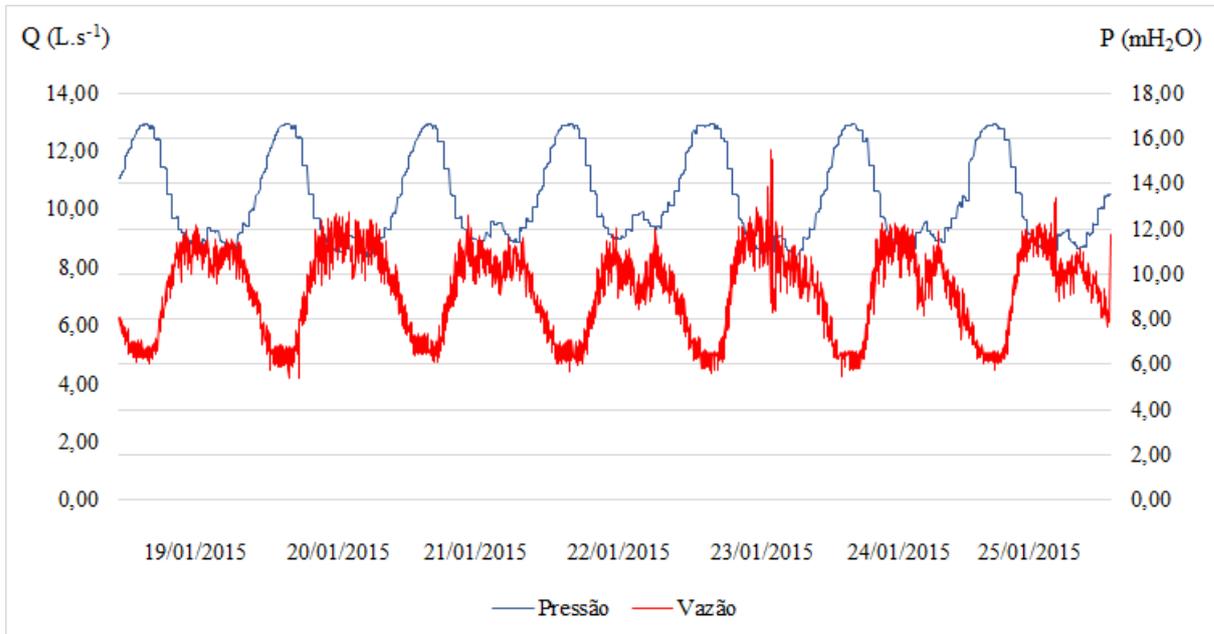


FIGURA 38. Comportamento da vazão e pressão no DMC2 antes da setorização.

O comportamento da vazão e pressão no DMC2 após a implantação da setorização das redes indicado na Figura 39 mostra que a VMN obtida no período foi de $3,41 \text{ L.s}^{-1}$ obtida no dia 04/12/2015 e o FP foi de 55,47%, indicando que a retirada de vazamentos não visíveis influenciaram na redução da VMN. A discussão do FP é parecida com a do DMC1, onde mesmo após a retirada dos vazamentos, há indícios de que outros voltaram a surgir na área.

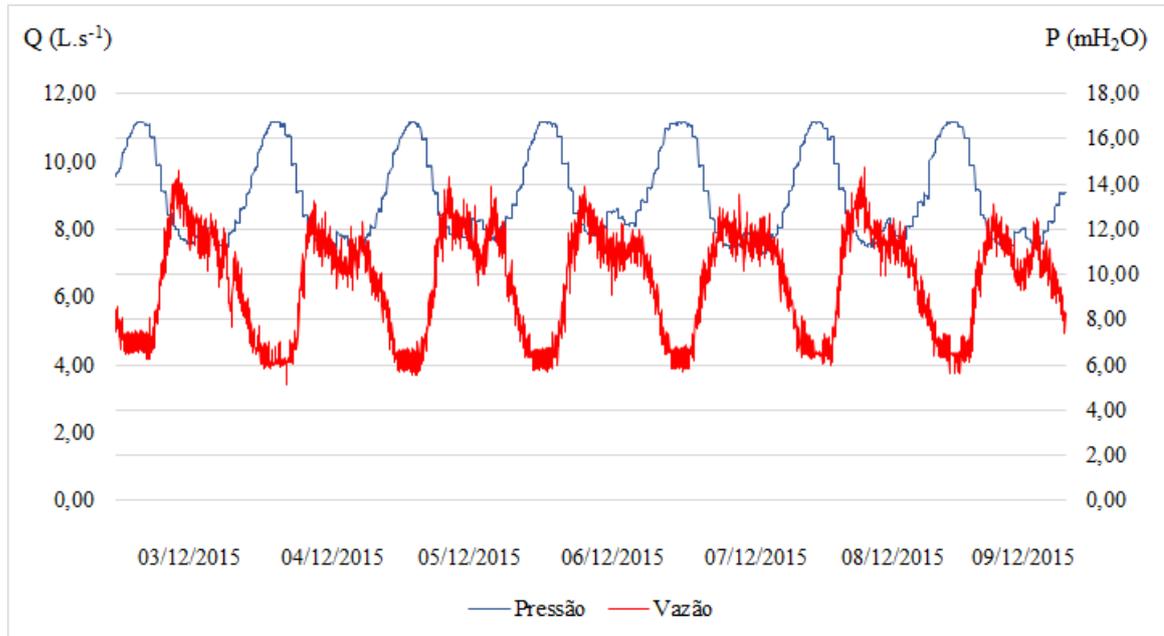


FIGURA 39. Comportamento da vazão e pressão no DMC2 após a setorização.

A Figura 40 ilustra o comportamento da vazão e pressão na região pressurizada do DMC3 antes da implantação da setorização das redes. A vazão mínima noturna (VMN) obtida no período foi de $5,70 \text{ L.s}^{-1}$ obtida no dia 22/01/2015 e o FP foi de 62,55%, indicando a presença de vazamentos na área.

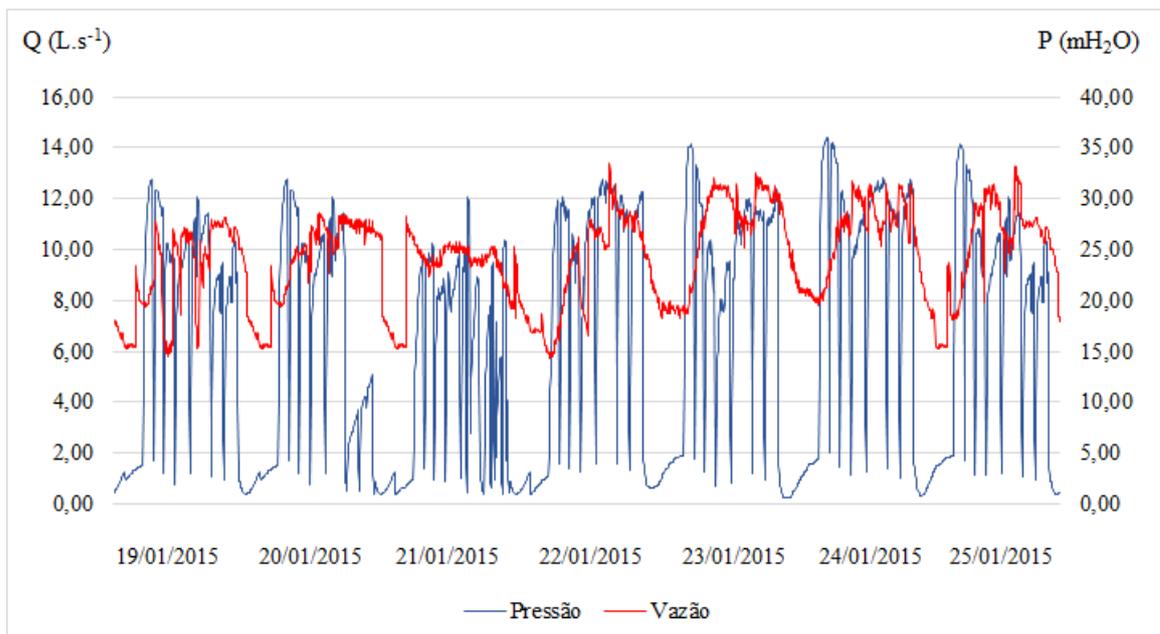


FIGURA 40. Comportamento da vazão e pressão no DMC3 antes da setorização.

O comportamento da vazão e pressão no DMC3 após a implantação da setorização das redes, mostrado na Figura 41, indica que a vazão em geral sofreu aumento. Conseqüentemente,

a VMN obtida no período foi maior, atingindo $7,10 \text{ L.s}^{-1}$ no dia 03/12/2015. O FP foi de 67,82%, indicando que a retirada de vazamentos não visíveis em período anterior não foram suficientes para reduzir seu valor. A elevação do FP pode ter sido provocada pela alteração da frequência de funcionamento do *booster*, que possui inversor de frequência, sem central lógica de processamento – CLP e, que teve seu valor reajustado de 40 Hz para 55 Hz em decorrência de despressurizações em alguns pontos críticos na área do DMC em estudo.

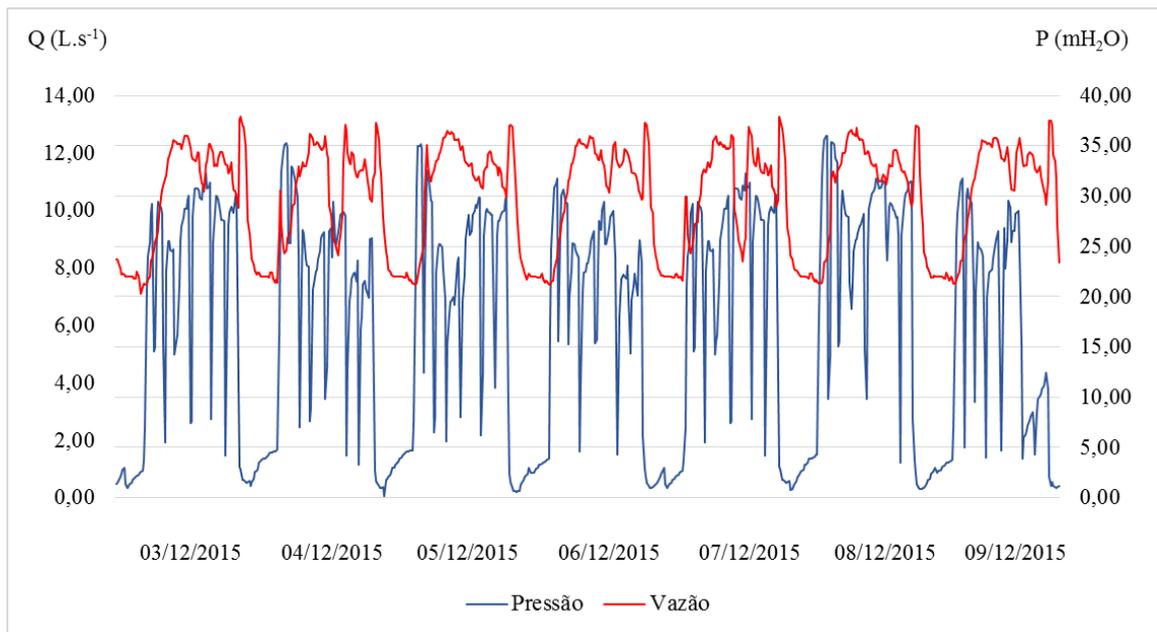


FIGURA 41. Comportamento da vazão e pressão no DMC3 após a setorização.

4.4. Avaliação de perdas

Para ilustrar a evolução das perdas na distribuição do sistema de sistema de abastecimento público de água de Cocalzinho de Goiás durante o desenvolvimento do presente trabalho é importante conhecer o comportamento do índice de perdas na distribuição (IP) e do o índice de perdas médio anual (que representa a média dos doze últimos meses do IP). A Figura 42 apresenta a evolução dos índices de perdas de janeiro de 2014 a janeiro de 2016.

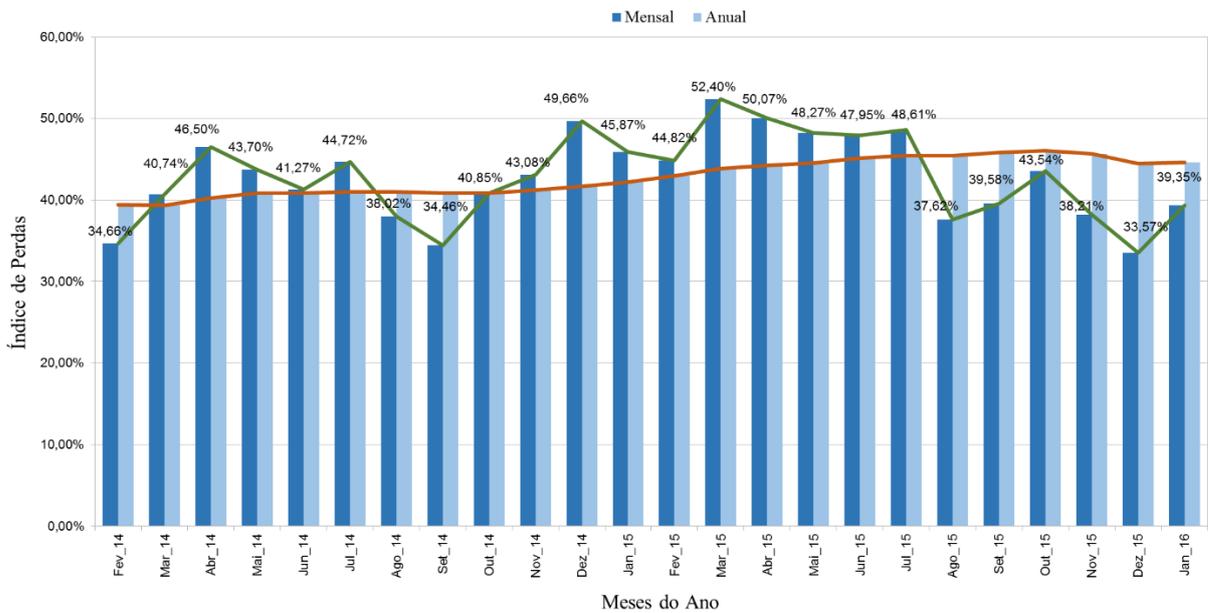


FIGURA 42. Evolução dos índices de perdas.

Observa-se que nos meses de março a julho de 2015 o IP (mensal) atingiu os valores máximos, chegando a perder mais de 50% do volume produzido. Esse período correspondeu ao meses de intensificação da implantação dos setores de distribuição. Outro pico com aceleração da implantação ocorreu no mês de outubro de 2015. No início da implantação dos setores a maioria das redes de distribuição encontravam-se interligadas e as descargas para intervenções envolveram grandes volumes de água perdidos. Outra consideração a ser feita refere-se ao mês de setembro, que historicamente apresenta IP menores em função da baixa produção causada pelo auge da estação de estiagem.

O comportamento da linha de tendência do IP anual indica queda a partir de outubro de 2015. Esse indicador, por considerar a média dos últimos doze meses, reflete o comportamento do sistema a médio prazo. Dessa forma o monitoramento do indicador para os próximos meses será necessário.

Para a análise do índice de perdas deve-se levar em conta a sazonalidade característica de cada mês durante o ciclo de avaliação. Nesse sentido, as variações para os mesmos períodos entre fevereiro de 2014 e janeiro de 2016 foram agrupadas na Figura 43.

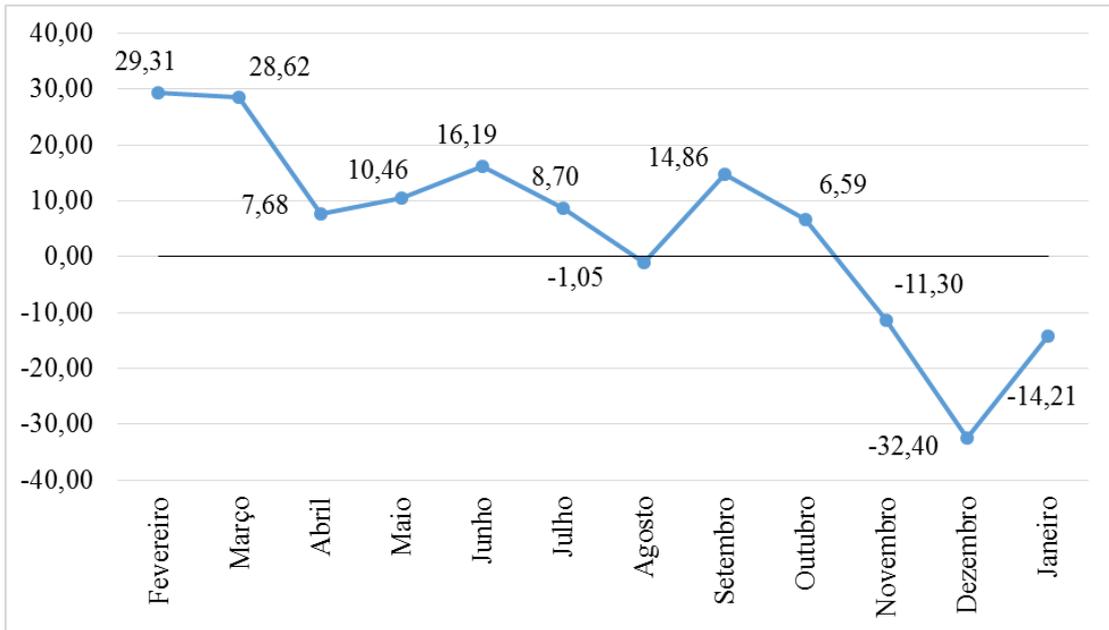


FIGURA 43. Comparativo do desempenho mês a mês do IP.

O comparativo do desempenho mês a mês entre indica resultados satisfatórios já no mês de novembro, restando 20% da setorização das redes para serem executadas. Os ganhos evidenciados no índice de perdas mensal foram de mais de 10% em novembro, 32,4% em dezembro e de 14,21% em janeiro, quando comparado com o mesmo período do ano anterior. No período de dezembro de 2014 a janeiro de 2016 o IP reduziu seu valor de 49,66% para 39,35%.

As ações de setorização conforme proposto na metodologia, com retirada de vazamentos não visíveis e visíveis, contribuem na redução do volume de água perdida, pois com a rede setorizada o volume de água demandado em cada manutenção é menor, aliado à diminuição de vazão absorvida pelos vazamentos (conforme apresentado no item 4.2).

Uma análise simples, levando em conta apenas o volume de água recuperada com a redução do IP para a meta da companhia que é de 27%, aponta potencial de ganho de 103.478 m³/ano. Esse volume pode ser interpretado com uma parcela de água que seria entregue à população e, portanto, faturado (convertido em receita) e outra parcela que deixaria de ser produzida, economizando energia elétrica e consumo de produtos químicos.

Com o IP anual acima de 40% o potencial de ganho (m³/ano) e os investimentos realizados são perfeitamente justificáveis e vantajosos com retorno financeiro já no primeiro ano.

5 CONCLUSÕES

Considerando os resultados apresentados pode-se concluir que:

1. A setorização de redes, aliada à pesquisa e retirada de vazamentos não visíveis, contribuiu para a melhoria do sistema de abastecimento e redução do índice de perdas, mesmo sem a aplicação de VRPs;
2. A simulação do modelo sem calibração não obteve uma boa convergência nos resultados iniciais, dentro dos limites do *WRC*.
3. A calibração da modelagem hidráulica mostrou uma boa aproximação do comportamento dos nós e trechos ao longo do tempo.
4. A modelagem hidráulica calibrada apresentou resultados satisfatórios para os coeficientes de Nash e Sutcliffe, dentro dos limites do *WRC*, e auxiliou no planejamento dos setores e nas tomadas de decisões.
5. A utilização do fator de pesquisa como ferramenta de gestão colaborou na redução dos volumes de água perdidos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABE, N.; CHEUNG, P. B. **Epanet Calibrator - An integrated computational tool to calibrate hydraulic models**. Proc., Computer and Control in Water Industry (CCWI), Integrating Water Systems, Boxall, J. and Maksimovic, v.1, CRC Press, England, 129-133. 2009.

ALEGRE, H.; BAPTISTA, J. M.; CABRERA JR., E.; CUBILLO, F.; DUARTE, P.; HIRNER, W.; MERKEL, W.; PARENA, R. **Performance indicators for water supply services**. London: International Water Association – IWA, 2000.

AQUINO, V. A luta para combater as perdas de água. **Revista Saneas**, São Paulo, n.27, a. IX, p.5-6, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS EMPRESAS ESTADUAIS DE SANEAMENTO. **Guias Práticos**. Brasília, 2015. Disponível em: <<http://www.aesbe.org.br>>. Acessado em: 10 out. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL – ABES. **Perdas em sistemas de abastecimento de água: diagnóstico, potencial de ganhos com sua redução e propostas de medidas para o efetivo combate**. Rio de Janeiro, 2013. 45p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS - ABENDE. **Deteção de Vazamentos Não Visíveis: Métodos Acústicos**. Apostila de Treinamento para Profissionais níveis 1,2 e 3 (CETRE), São Paulo, 2001/2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12211**: Estudos de Concepção de Sistemas Públicos de Abastecimento de Água. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 14p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12212**: Projeto de Poço para Captação de Água Subterrânea. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 10p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12213**: Projeto de Captação de Água de Superfície para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12214**: Projeto de Sistema de Bombeamento de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 5p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12215**: Projeto de Adutora de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1991, 9p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12216**: Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992, 18p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12217**: Projeto de Reservatório de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994, 4p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12218**: Projeto de Rede de Distribuição de Água para Abastecimento Público. Rio de Janeiro: ABNT, 1994, 4p.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS**. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2013. Parte 1 – Texto Visão Geral da Prestação de Serviços. Brasília, 2014.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. Programa de Modernização do Setor Saneamento – PMSS. **Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água**. Guias Práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água. Brasília, 2007.

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo populacional 2013**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/estimativa2013/estimativa_dou> Acessado em: 23/10/2015.

CHEUNG, P. B. **Análise de reabilitação de redes de distribuição de distribuição de água para abastecimento via algoritmos genéticos multiobjetivo**. 2004. 268p. (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

CLARK, R. M; TIPPEN, D. L. **Standart Handbook of Environmental Engineering: Water Suply**. New York: McGraw-Hill, p.5.173-5.220, 1990.

DANILENKO, A.; VAN DEN BERG, C.; MACHEVE, B.; MOFFITT, L. J. **The IBNET Water Supply and Sanitation Blue Book 2014: The International Benchmarking Network for Water and Sanitation Utilities Databook**. Washington D.C: World Bank, 2014. 141p. (WSP Water and Sanitation Program).

DEUTSCHE GESELLSCHAFT FÜR INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT – GIZ. **Guideline for water loss reduction: A focus on pressure management**. Germany. 2011. Disponível em: <<http://www.giz.de/guidelines>>. Acessado em: 17 set. 2015.

DI NARDO, A.; DI NATALE, M.; SANTONASTASO, G. F.; TZATCHKOV, V. G.; ALCO CER-YAMANAKA, V. H. Water network sectorization based on a genetic algorithm and minimum dissipated power paths. **Water Science & Technology: Water Supply**, London, v.13, n.4, p. 951-957, 2013.

FÁVERO, J. A.; DIB, M. E. M. Pesquisa e controle de perdas em sistemas de abastecimento de água. **Revista DAE**, nº 126, p.50-59, 1981.

FORMIGA, K. T. M.; CHAUDHRY, F. H. Modelos de análise hidráulica de redes de distribuição de água considerando demanda dirigida pela pressão e vazamentos. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.13, n.2, p.153-162, 2008.

GANORKAR, R. A.; RODE, P. I.; DESHMUKH, S. A.; DHOBLE, R. M. Water Audit - A tool for assessment of water losses. **International Journal of Computational Engineering Research**. v. 3, n. 3. p.252-256, 2013.

GOMES, A. S.; GONÇALVES, E.; ALVIM, P. R. A. **Pesquisa e combate a vazamentos não visíveis**. Guias práticos: técnicas de operação em sistemas de abastecimento de água, Brasília, v.3, 89p, 2007.

GOMES, H. P.; SALVINO, M. M. **Manual do Usuário EPANET 2 2.0 Brasil**. João Pessoa, PA - Brasil: Laboratório de Eficiência Energética e Hidráulica em Saneamento, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, 2009. 201p.

HAIDER, H.; SADIQ, R.; TESHAMARIAM, S. Performance indicators for small- and medium-sized watersupply systems: A review. **Enviromental Reviews**, v.11, n.1, 2013.

INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION - IWA. **Losses from Water Supply Systems: Standard Terminology and Recommended Performance Measures**. The blue pages: the IWA information source on drinking water issues. United Kindgom: IWA, 2000. 13p.

KANAKOUDIS, V.; GONELAS, K.; TOLIKAS, D. Basic principles for urban water value assessment and price setting towards its full cost recovery - pinpointing the role of the water losses. **Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA**, London, v.60, n.1, p.27-39, 2011.

KANAKOUDIS, V.; TSITSIFLI, S. Using the bimonthly water balance of a nonfully monitored water distribution network with seasonal water demand peaks to define its actual NRW level: The case of Kos town, Greece. **Urban Water Journal**, v.11, n.5, p.348-360, 2013.

KRAJNÁK, M. **Possibilities of using the genetic algorithms to solve optimization tasks in construction projects**. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM COMPUTATIONAL CIVIL ENGINEERING – CCE 2012. Iasi, Romania, 2012.

LAMBERT, A. O.; MCKENZIE, R.D. **Practical Experience in using the Infrastructure Leakage Index**. In: INTERNATIONAL WATER ASSOCIATION CONFERENCE LEAKAGE MANAGEMENT: A PRACTICAL APPROACH, Cyprus, 2002.

MACHADO, R. E.; VETTORAZZI, C. A. Simulação da produção de sedimentos para a microbacia hidrográfica do Ribeirão dos Marins. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.27, p.735-741, 2003.

MAY, J. **Pressure Dependent Leakage**. World Water and Environmental Engineering, 1994.

MAYS, L. W. **Hydraulic Design Handbook**. 1. ed. New York: Mc Graw-Hill Education, 1999. 1024p.

MAYS, L. W. **Water Supply Systems Security**. 1. ed. New York: Mc Graw-Hill, 2004. 464p. (Mc Graw-Hill Professional Engineering).

MOTTA, R. G. **Importância da setorização adequada para combate às perdas reais de água de abastecimento público**. 2010. 176p. (Mestrado em Engenharia Hidráulica) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

MUTIKANGA, H.E.; SHARMA, S.K.; VAIRAVAMOORTHY, K. Multi-criteria decision analysis: A strategic planning tool for water loss management. **Water Resources Management**, Delft, v.25, p.3947–3969, 2011.

ORMSBEE, L. E., LINGIREDDY, S. Calibrating hydraulic network models. **Journal American Water Works Association**, Denver, CO, v.89, p.42-50, 1997.

OSTFELD, A.; SALOMONS, E.; ORMSBEE, L. E.; UBER, J.; BROS, C., KALUNGI, P.; BURD, R.; ZAZULA-COETZEE, B.; BELRAIN, T.; KANG, D.; LANSEY, K.; SHEN, H.; MCBEAN, E.; YI WU, Z.; WALSKI, T.; ALVISI, S.; FRANCHINI, M.; JOHNSON, J.; GHIMIRE, S.; BARKDOLL, B.; KOPPEL, T.; VASSILJEV, A.; KIM, J.; CHUNG, G.; YOO, D.; DIAO, K.; ZHOU, Y.; LI, J.; LIU, Z.; CHANG, K.; GAO, J.; QU, S.; YUAN, Y.; PRASAD, T.; LAUCELLI, D.; VAMVAKERIDOU LYROUDIA, L.; KAPELAN, Z.; SAVIC, D.; BERARDI, L.; BARBARO, G.; GIUSTOLISI, O.; ASADZADEH, M.; TOLSON, B.; MCKILLOP, R. Battle of the water calibration networks. **Journal of Water Resources Planning And Management**. v.138. n.5, p.523-532, 2012.

PADILHA, P. A. A. **Algoritmos genéticos aplicados a um comitê de LS-SVM em problemas de classificação**. 2013. 69p. (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.

PIZZO, H. S. **Calibração de modelos de distribuição de água através do acoplamento do TMA com o otimizador de Nelder-Mead**. 2004. 144p. (Doutorado em Engenharia Civil: Recursos Hídricos) - Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ROSSMAN, L. A. **EPANET 2 2 users manual**. U.S. Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, 2000.

SALVINO, M. M. **Modelagem computacional visando a reabilitação de redes hidráulicas**. 2012. 166 p. (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

SALVINO, M. M; CARVALHO, P. S. O.; GOMES, H. P. Calibração multivariada de redes de abastecimento de água via algoritmo genético multiobjetivo. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro , v.20, n.3, p.503-512, 2015.

SANEAGO (Saneamento de Goiás S.A). **Boletim Informativo**. Disponível em: <<http://www.saneago.com.br>>. Acessado em: 20 jan. 2016.

SILVA, C. O. **Modelagem de rede de distribuição de água com ênfase no controle de perdas**. 2014. 112p. (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

SILVA, P. M. O.; MELO, C. R.; SILVA, A. M.; COELHO, G. Modelagem da hidrografia de cheia em um bacia hidrográfica da região Alto Rio Grande. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.3, p.258-265, 2008.

SOARES, A. K.; CHEUNG, P. B.; REIS, L. F. R.; SANDIM, M. P. Avaliação das perdas físicas de um setor de rede de abastecimento de água de Campo Grande – MS via modelo inverso. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental – RESA**, Rio de Janeiro, v.9, n.4, p.312-321, 2004.

SOARES, A. K.; REIS, L. F. R. Calibração de Modelos de Redes de Distribuição de Água Utilizando Modelo de Simulação Hidráulica Dirigido pela Pressão (MSHDP) e Método Híbrido AG-Simplex. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH**, Porto Alegre, v.9, n.2, p.85-96, 2004b.

SOARES, A. K.; REIS, L. F. R. **Estudo dos parâmetros do modelo de vazamentos de um setor da rede de distribuição de água de Piracicaba-SP**. In: Seminário Hispano Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água, 4, 2004, João Pessoa. Anais... São Carlos: USP, 2004a. p.25.

SOARES, A. K.; REIS, L. F. R. Modelo híbrido MOC-EPANET para análise hidráulica de sistemas de distribuição de água – Parte 2: Simulações numéricas. **Revista Minerva – Pesquisa & Tecnologia**, São Carlos, v.5, n.3, p.287-295, 2008.

SOARES, D.M. **Programa de Controle e Redução de Perdas** – Diretoria Metropolitana de Distribuição – M. Cia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo – SABESP. São Paulo, 2004.

TARDELLI FILHO, J. Controle e redução de perdas. In: TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3.ed. São Paulo: Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, 2006. cap.10, p.457-523.

THORNTON, J. Managing leakage by managing pressure: a practical approach. **Water21**, IWA Water Loss Task Force, p.43-44, 2003.

THORNTON, J; STURM, R; KUNKEL, G. **Water loss control**. 2. ed. New York: McGraw-Hill, 2008. 650p.

TODINI, E.; PILATI, S. **A gradient method for the analysis of pipe networks**. In: International Conference on Computer Applications for Water Supply and Distribution, Leicester Polytechnic, UK, September, 8-10, 1987.

TSUTIYA, M. T. **Abastecimento de água**. 3.ed. São Paulo: Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica, 2006. 643p.

VIEIRA, M. E. A. G. **Calibração de modelos de redes de distribuição de água usando algoritmo genético multiobjetivo**. 2008. 49p. (Mestrado em do Meio Ambiente) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia.

WALSKI, T. M. Technique for calibrating network models. **Journal of Water Resources Planning and Management**. Michigan, v.109, n.4, p.360-372, 1983.

WALSKI, T. M.; CHASE, D. V.; SAVIC, D. A.; GRAYMAN, W. M.; BECKWITH, S.; KOELLE, E. **Advanced Water Distribution Modeling and Management**. 1. ed. Waterbury, CT: Haestad Press, 2003. 800p.

WATER RESEARCH CENTRE (WRC). **Network analysis – A code for practice**. Published by WRC. Swindon, UK, 1989.

WEGELIN, W. A.; JACOBS, H. E. The development of a municipal water conservation and demand management strategy and business plan as required by the Water Services Act, South Africa. **Water SA**. v.39, n.3, p. 415-422, 2013.

WORLD BANK. **Software WB - EasyCalc, Version 1.17**, 2006. Disponível em <<http://www.liemberger.cc>> Acessado em: 18 ago. 2015.

ZAQUE, R. A. M.; SOARES, A. K.; LIMA, G. A. R. **Influência do número de cenários na calibração de modelos de redes de distribuição de água**. In: XV SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Belo Horizonte, 2012.

APÊNDICE

APÊNDICE A

CONSUMO-BASE ATRIBUÍDO AOS NÓS DO MODELO HIDRÁULICO										
Nó	Trechos abrangentes								Total	Demanda (l/s)
	n°	Pontos de Consumo	n°	Pontos de Consumo	n°	Pontos de Consumo	n°	Pontos de Consumo		
1	255	4	31	4	1	4			12	0,0441
2	2	4	226	5	231	4			13	0,0478
3	232	4	2	4					8	0,0294
4	3	4							4	0,0147
5	267	4	351	1	3	1			6	0,0221
6	5	4	18	4					8	0,0294
7	6	2	191	4	5	4			10	0,0368
8	282	2	268	4					6	0,0221
9	268	5	328	6	269	4			15	0,0552
10	27	12	272		274				12	0,0441
11	8	4	17	3	7	1			8	0,0294
12	271	12	274						12	0,0441
13	9	2	8	4					6	0,0221
14	9	2							2	0,0074
15	12	5							5	0,0184
16	13	3	16	3					6	0,0221
17	13	3	14	2					5	0,0184
18	14	2	15	5	19	2			9	0,0331
26	16	2	15	4	17	3			9	0,0331
20	18	3	17	3	27	2			8	0,0294
21	123	1	19	4	18	2	2	7	14	0,0515
22	21	7	26	1	2	6			14	0,0515
23	24		21	6	23	3	22	4	13	0,0478
24	273		271	14					14	0,0515
25	25	4	23	1	29	4			9	0,0331
26	24	3							3	0,0110
27	27	3	26	5	25	4			12	0,0441
28	319	3	22	7	32	4	28	5	19	0,0699
29	43	3	28	6	34	5	359	7	21	0,0773
30	328	5	272	4					9	0,0331
31	389	4	29	3	391	4			11	0,0405
32	55	1	356	4	39	4	31	4	13	0,0478
33	269		27	14	273				14	0,0515
34	6	3	39	5	41	3	32	5	16	0,0589
35	62	1	32	5	42	4	66	6	16	0,0589

(continuação).

Nó	Trechos abrangentes								Total	Demanda (l/s)
	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo		
37	34	5	33	4	35	2			11	0,0405
38	36	10	35	3	37				13	0,0478
39	54	2	359	4	36	3	29	1	10	0,0368
40	38	4	37	3					7	0,0258
41	39	2	4	4					6	0,0221
42	4	2	41	1					3	0,0110
43	275	1							1	0,0037
44	371	1							1	0,0037
45	368	2	33	2	26	3			7	0,0258
46	46	2	44	6	43	5	47	5	18	0,0662
47	28	4							4	0,0147
48	276	2	319	2	44	5			9	0,0331
49	371		276	2	45	10			12	0,0441
50	315	3	45	7	46	6	49	6	22	0,0809
51	48	4	47	8	54	1	51	3	16	0,0589
52	135	3	49	7	48	4	5	9	23	0,0846
53	14	4	5	6	52	3	141		13	0,0478
54	52	3	51	2	53	4	56	4	13	0,0478
55	57	2	56	2	55	1	8	8	13	0,0478
56	142	9	57	5	155	6			20	0,0736
57	59	3	58	8	6	5	61	4	20	0,0736
58	282	4	344	4					8	0,0294
59	186	3	155	6	59	4	156	6	19	0,0699
60	63	3	61	7	62	4	65	3	17	0,0625
61	184	5	156	8	63	5	157	4	22	0,0809
62	182	4	157	5	64	4	158	1	14	0,0515
63	64	1	65	7	82	3	84	4	15	0,0552
64	82	6	66	7	327	3	67	7	23	0,0846
65	289	1							1	0,0037
66	69	9							9	0,0331
67	277	2	69	4	113	4	8	4	14	0,0515
68	238	4	68	4	7	4			12	0,0441
69	339	1	79	3	296	3	355	7	14	0,0515
70	296	5	349	3					8	0,0294
71	297	4							4	0,0147
72	73	4	74	2	361	4			10	0,0368
73	312	2	75	2	12	2	74	2	8	0,0294
74	346	2	76	4	252	2	384	4	12	0,0441

(continuação).

Nó	Trechos abrangentes								Total	Demanda (l/s)
	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo		
75	332	3	77	4	13	4	76	2	13	0,0478
76	245		78	7	14	4	77	3	14	0,0515
77	299	2							2	0,0074
78	298	5	16	3	254	1	81	6	15	0,0552
79	14	5	81	8	17	6	32	6	25	0,0920
80	326		324	3	3	22			25	0,0920
81	42	3	83	3					6	0,0221
82	327	8	83	8					16	0,0589
83	178	4	84	6	112	3			13	0,0478
84	324	2	337	1	301	13			16	0,0589
85	34	11							11	0,0405
86	12	7	287	9	26	2	314	5	23	0,0846
87	13	4	32	9	19	2	347	12	27	0,0993
88	36	3	161	6	332	5	15	8	22	0,0809
89	311	3	15	5	346	2	249		10	0,0368
90	113	6	116	6	114	1	16	7	20	0,0736
91	17	4	11	4	18	2			10	0,0368
92	37	4	31	4					8	0,0294
93	18	3							3	0,0110
94	19	5	239	3					8	0,0294
95	254	2	255	4	11	4			10	0,0368
96	112	5	67	9	313	6	111		20	0,0736
97	331	4	39	4					8	0,0294
98	114	4	115	3					7	0,0258
99	115	3							3	0,0110
100	116	8							8	0,0294
101	141	4	19	1					5	0,0184
102	118	4	117	4					8	0,0294
103	119	4	118	4	233	4			12	0,0441
104	231	4	257	4	119	1			9	0,0331
105	316	3	121	4	122	6			13	0,0478
106	212	1	124	4					5	0,0184
107	125	2	122	7	123	3	129		12	0,0441
108	124	3	125	1	127	4	126	1	9	0,0331
109	317	4	126	4	367	4			12	0,0441
110	127	4	36	4	35	1			9	0,0331
111	131	1	36	1	128	1			3	0,0110

(continuação).

Nó	Trechos abrangentes								Total	Demanda (l/s)
	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo		
112	128	1	129	3	13	4			8	0,0294
113	13	1							1	0,0037
114	131	1	367	5					6	0,0221
115	132	2	315	6	134	8			16	0,0589
116	133	1	132	1					2	0,0074
117	133	2							2	0,0074
118	321	3	134	4	135	7	139	2	16	0,0589
119	37	4	331	4	38	4			12	0,0441
120	136	13							13	0,0478
121	72	2	136	9	138	3	318	4	18	0,0662
122	137	4							4	0,0147
123	138	1	291	3	142	3	15	10	17	0,0625
124	139	6	14	6	291	5			17	0,0625
125	141	3							3	0,0110
126	185		318	8	292	1	143	8	17	0,0625
127	143	5	293	3	144	5			13	0,0478
128	181	1	144	8	294	6	145	7	22	0,0809
129	177	3	145	4	295	4	329	3	14	0,0515
130	146	5							5	0,0184
131	146	2	185	3	147	4			9	0,0331
132	147		148	12					12	0,0441
133	18	3	148	7	181	3	149	8	21	0,0773
134	175	3	149	7	177	5	176	1	16	0,0589
135	292		15	8	186	6	151	6	20	0,0736
136	293		151	3	184	4	152	5	12	0,0441
137	38	4							4	0,0147
138	39	4							4	0,0147
139	295	1	153	1	243	3			5	0,0184
140	154	5							5	0,0184
141	154	2	278	9	196	3			14	0,0515
142	243	6	158	1	178	3			10	0,0368
143	159	4							4	0,0147
144	278	4	159	7	277	3	333	3	17	0,0625
145	248	3	333	6	247	4	16	2	15	0,0552
146	16	10							10	0,0368
147	246	4	161	3					7	0,0258
148	33	5	162	10					15	0,0552
149	179	5	162	3	18	4	163	5	17	0,0625

(continuação).

Nó	Trechos abrangentes								Total	Demanda (l/s)
	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo		
150	174	3	163	8	175	4			15	0,0552
151	164	20							20	0,0736
152	313	5							5	0,0184
153	191	4	165	4	174	1			9	0,0331
154	166	4							4	0,0147
155	166	4							4	0,0147
156	195	1	285		167	14			15	0,0552
157	169	7	37	4	242	4			15	0,0552
158	168	1	167	4	37	4			9	0,0331
159	168	2							2	0,0074
160	169	10							10	0,0368
161	242	4	172	2	17	4			10	0,0368
162	316	1							1	0,0037
163	7	4	171	8	6	4			16	0,0589
164	172		193	7	173	2	171	9	18	0,0662
165	173	1	164	13	179	2	165	5	21	0,0773
166	317	5							5	0,0184
167	188	4	176	2	189	2			8	0,0294
168	294	3	152	7	283	3	153	3	16	0,0589
169	321	6							6	0,0221
170	183	2							2	0,0074
171	322	4							4	0,0147
172	189	1	329	1	19	3			5	0,0184
173	183	4	33	3					7	0,0258
174	19	2	211	4					6	0,0221
175	192	3	193	7					10	0,0368
176	194	4							4	0,0147
177	194	4	195	2					6	0,0221
178	235	3	196	4	248	5	197	6	18	0,0662
179	197	6							6	0,0221
180	335	6							6	0,0221
181	198	9	311	6	199	2			17	0,0625
182	199	6	251	4	365	7			17	0,0625
183	2	4	238	4					8	0,0294
184	21	6							6	0,0221
185	21	6	28		288	4	216	7	17	0,0625
186	33	5	22	3					8	0,0294
187	22	6	235	4	23	4			14	0,0515

(continuação).

Nó	Trechos abrangentes								Total	Demanda (l/s)
	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo	nº	Pontos de Consumo		
226	247	4	8	5	298	4	78	5	18	0,0662
227	251	3	345	1	312	2	25	3	9	0,0331
228	366	1	25	7	73	2	79	4	14	0,0515
229	252	5							5	0,0184
230	347	6	253	4	287	7			17	0,0625
231	265	5	266	6	267	4	275		15	0,0552
232	352	5	354	3					8	0,0294
233	256	9							9	0,0331
234	361		7	5	257	4	256	3	12	0,0441
235	257	3							3	0,0110
236	258	8							8	0,0294
237	314	7	258		259	8			15	0,0552
238	349	3	259	5	35	1	266	4	13	0,0478
239	26	5	357	1	369	2			8	0,0294
240	338	4	262	6	341	2			12	0,0441
241	262	5	355	7	263	2	354	7	21	0,0773
242	365	9	366	4	358	3			16	0,0589
243	34	3	364	3	289	4			10	0,0368
244	263	8	348	2	265	8	264	5	23	0,0846
245	358	4							4	0,0147
246	283	2	182	3					5	0,0184
247	249	1	345	2					3	0,0110
248	24	3	357	2					5	0,0184

APÊNDICE B

DMC1 - VALOR MÉDIO HORÁRIO DE VAZÃO (L.s⁻¹) AO LONGO DO DIA							
Hora	Medido	Simulado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Calibrado Final
00:00	3,20	1,72	4,65	4,16	3,90	3,98	3,75
01:00	2,87	1,54	4,52	4,01	3,76	3,85	3,59
02:00	2,77	1,50	4,49	3,98	3,72	3,81	3,55
03:00	2,71	1,45	4,46	3,94	3,68	3,78	3,52
04:00	2,71	1,45	4,46	3,94	3,68	3,78	3,52
05:00	2,80	1,49	4,49	3,98	3,72	3,81	3,55
06:00	3,08	1,65	4,60	4,11	3,85	3,93	3,69
07:00	3,81	2,05	4,89	4,44	4,19	4,25	4,04
08:00	4,46	2,38	5,12	4,71	4,46	4,50	4,33
09:00	4,99	2,67	5,32	4,95	4,69	4,71	4,58
10:00	5,31	2,84	5,44	5,09	4,84	4,84	4,73
11:00	5,34	2,86	5,45	5,11	4,85	4,86	4,75
12:00	5,30	2,84	5,44	5,09	4,84	4,84	4,73
13:00	5,18	2,78	5,39	5,04	4,78	4,79	4,67
14:00	4,99	2,67	5,32	4,94	4,69	4,71	4,57
15:00	4,73	2,53	5,23	4,84	4,58	4,61	4,46
16:00	4,59	2,47	5,18	4,78	4,53	4,56	4,40
17:00	4,94	2,64	5,30	4,93	4,67	4,69	4,56
18:00	4,90	2,62	5,29	4,91	4,66	4,68	4,54
19:00	4,80	2,58	5,25	4,87	4,62	4,64	4,50
20:00	4,49	2,40	5,13	4,73	4,47	4,51	4,34
21:00	4,21	2,25	5,02	4,60	4,35	4,39	4,21
22:00	3,90	2,09	4,92	4,47	4,22	4,27	4,08
23:00	3,52	1,90	4,77	4,31	4,05	4,12	3,90

DMC1 - VALOR MÉDIO HORÁRIO DE PRESSÃO (mH₂O) AO LONGO DO DIA

Hora	Medido	Simulado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Calibrado Final
00:00	29,79	36,50	28,88	30,32	29,83	30,19	30,27
01:00	30,77	36,67	29,37	30,82	30,32	30,60	30,73
02:00	31,37	36,76	29,58	31,05	30,53	30,78	30,93
03:00	31,74	36,80	29,67	31,13	30,62	30,86	31,02
04:00	31,80	36,81	29,70	31,17	30,65	30,89	31,05
05:00	31,70	36,79	29,60	31,07	30,55	30,80	30,96
06:00	31,10	36,66	29,18	30,64	30,13	30,45	30,56
07:00	29,72	36,37	28,18	29,60	29,13	29,59	29,60
08:00	28,33	36,06	27,29	28,65	28,23	28,82	28,74
09:00	27,25	35,79	26,57	27,86	27,48	28,17	28,01
10:00	26,67	35,64	26,21	27,47	27,11	27,85	27,65
11:00	26,31	35,57	26,06	27,30	26,95	27,71	27,49
12:00	26,31	35,57	26,10	27,35	27,00	27,75	27,54
13:00	26,79	35,59	26,22	27,47	27,12	27,85	27,65
14:00	27,02	35,66	26,41	27,69	27,33	28,03	27,85
15:00	27,57	35,83	26,87	28,21	27,80	28,44	28,33
16:00	27,59	35,84	26,93	28,26	27,86	28,49	28,38
17:00	26,95	35,73	26,63	27,94	27,54	28,22	28,08
18:00	26,52	35,68	26,52	27,81	27,44	28,12	27,95
19:00	26,65	35,70	26,60	27,90	27,52	28,19	28,04
20:00	27,29	35,86	27,03	28,37	27,97	28,58	28,47
21:00	27,76	35,98	27,37	28,73	28,32	28,88	28,81
22:00	28,54	36,14	27,84	29,24	28,79	29,29	29,27
23:00	29,22	36,29	28,29	29,71	29,25	29,68	29,70

DMC2 - VALOR MÉDIO HORÁRIO DE VAZÃO (L.s⁻¹) AO LONGO DO DIA

Hora	Medido	Simulado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Calibrado Final
00:00	5,86	2,68	5,28	5,34	5,63	6,37	6,87
01:00	5,37	2,46	5,14	5,16	5,48	6,26	6,71
02:00	5,09	2,32	5,06	5,06	5,40	6,20	6,61
03:00	5,04	2,33	5,06	5,06	5,41	6,20	6,61
04:00	4,99	2,29	5,04	5,04	5,39	6,18	6,58
05:00	5,03	2,33	5,06	5,06	5,41	6,20	6,61
06:00	5,58	2,55	5,21	5,24	5,55	6,32	6,78
07:00	6,65	3,04	5,50	5,61	5,83	6,55	7,13
08:00	7,60	3,47	5,74	5,92	6,07	6,75	7,43
09:00	8,27	3,79	5,91	6,14	6,24	6,91	7,66
10:00	8,53	3,89	5,96	6,21	6,27	6,94	7,71
11:00	8,69	4,00	6,01	6,27	6,33	6,98	7,78
12:00	8,64	3,96	5,99	6,25	6,31	6,97	7,76
13:00	8,58	3,92	5,98	6,23	6,30	6,96	7,74
14:00	8,44	3,86	5,94	6,19	6,27	6,93	7,70
15:00	7,77	3,57	5,78	5,97	6,11	6,78	7,49
16:00	7,86	3,60	5,80	6,01	6,13	6,80	7,52
17:00	8,03	3,67	5,83	6,04	6,16	6,82	7,55
18:00	8,32	3,80	5,90	6,14	6,23	6,89	7,65
19:00	8,18	3,77	5,89	6,12	6,22	6,88	7,63
20:00	7,81	3,57	5,79	5,98	6,12	6,79	7,50
21:00	7,49	3,44	5,72	5,89	6,05	6,73	7,41
22:00	6,93	3,18	5,56	5,70	5,90	6,61	7,22
23:00	6,58	3,01	5,48	5,58	5,82	6,53	7,11

DMC2 - VALOR MÉDIO HORÁRIO DE PRESSÃO (mH₂O) AO LONGO DO DIA

Hora	Medido	Simulado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Calibrado Final
00:00	14,77	19,18	13,27	13,86	13,77	13,85	14,15
01:00	15,68	19,32	13,65	14,29	14,16	14,17	14,52
02:00	16,24	19,39	13,83	14,49	14,34	14,31	14,69
03:00	16,56	19,43	13,90	14,56	14,41	14,38	14,76
04:00	16,63	19,44	13,93	14,59	14,44	14,40	14,79
05:00	16,49	19,42	13,85	14,51	14,36	14,33	14,71
06:00	15,95	19,32	13,52	14,14	14,03	14,07	14,40
07:00	14,83	19,10	12,76	13,27	13,25	13,45	13,65
08:00	13,57	18,85	12,09	12,47	12,55	12,89	12,97
09:00	12,49	18,64	11,54	11,80	11,97	12,42	12,40
10:00	11,88	18,53	11,27	11,48	11,69	12,19	12,13
11:00	11,47	18,46	11,15	11,33	11,56	12,08	11,99
12:00	11,32	18,45	11,18	11,37	11,59	12,10	12,02
13:00	11,30	18,47	11,26	11,46	11,67	12,17	12,11
14:00	11,47	18,52	11,39	11,63	11,82	12,29	12,25
15:00	12,02	18,65	11,75	12,08	12,19	12,59	12,63
16:00	12,06	18,66	11,78	12,12	12,23	12,62	12,66
17:00	11,63	18,57	11,56	11,86	12,00	12,43	12,44
18:00	11,34	18,52	11,47	11,73	11,90	12,35	12,33
19:00	11,39	18,54	11,53	11,80	11,96	12,40	12,39
20:00	11,97	18,66	11,85	12,20	12,31	12,68	12,73
21:00	12,37	18,75	12,10	12,50	12,58	12,89	12,98
22:00	13,04	18,88	12,46	12,94	12,95	13,19	13,35
23:00	13,71	19,00	12,80	13,33	13,30	13,47	13,69

DMC3 - VALOR MÉDIO HORÁRIO DE VAZÃO (L.s⁻¹) AO LONGO DO DIA

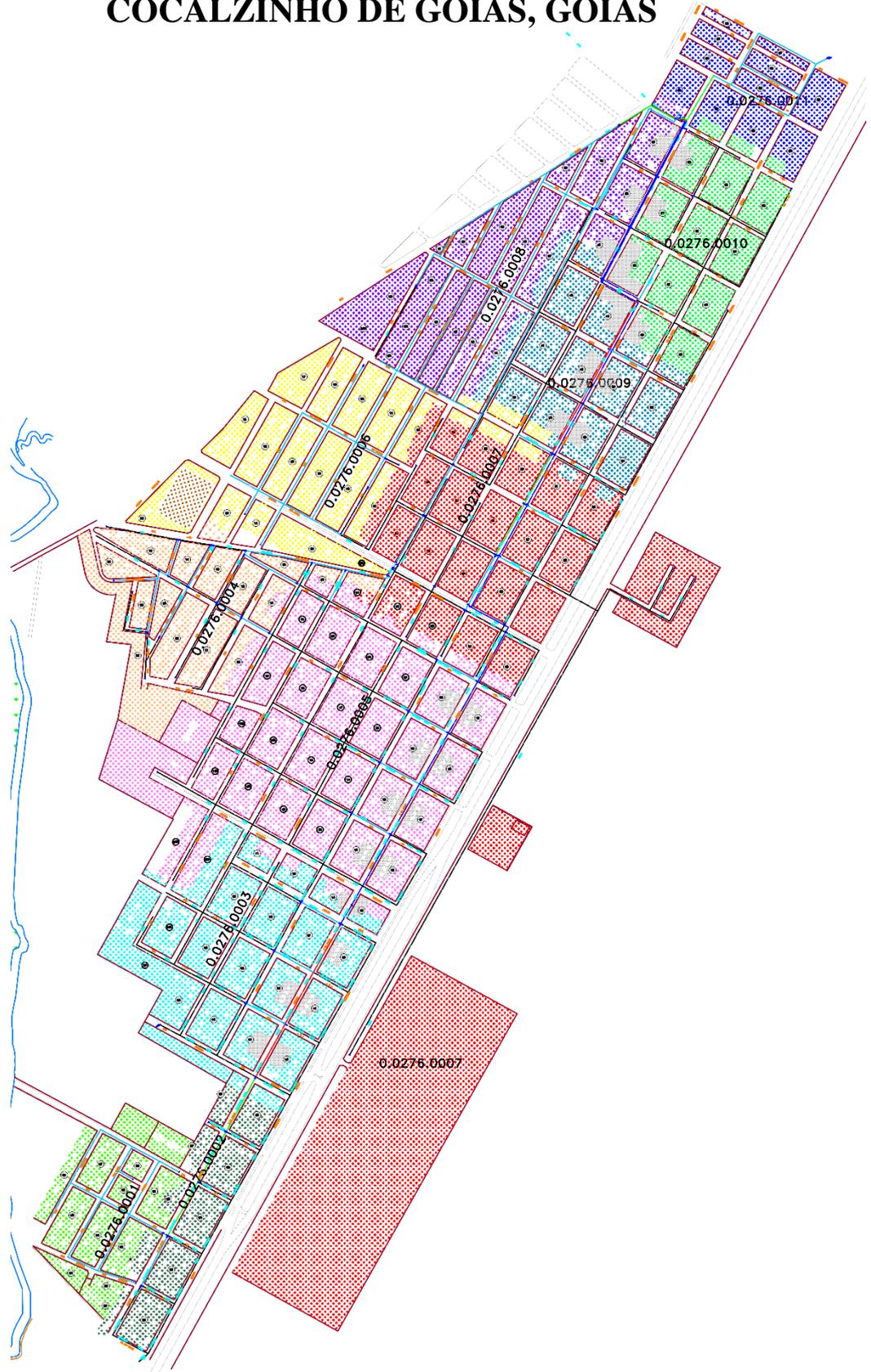
Hora	Medido	Simulado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Calibrado Final
00:00	7,90	4,20	7,41	7,92	8,14	7,93	7,83
01:00	7,63	3,91	7,21	7,73	7,97	7,76	7,59
02:00	7,30	3,69	7,05	7,59	7,84	7,65	7,40
03:00	7,63	4,02	7,30	7,83	8,06	7,90	7,69
04:00	8,67	4,85	7,90	8,36	8,56	8,47	8,41
05:00	8,45	4,69	7,78	8,26	8,47	8,35	8,27
06:00	9,21	4,98	7,98	8,45	8,64	8,54	8,51
07:00	9,67	5,55	8,38	8,80	8,97	8,92	9,01
08:00	11,09	5,90	11,36	12,16	12,56	13,45	11,60
09:00	11,54	6,03	11,44	12,24	12,63	13,52	11,70
10:00	11,87	5,99	11,41	12,21	12,60	13,48	11,67
11:00	12,44	6,49	11,75	12,51	12,88	13,77	12,05
12:00	12,42	6,71	11,89	12,64	13,00	13,89	12,22
13:00	12,05	6,59	11,81	12,57	12,94	13,82	12,13
14:00	11,80	6,25	11,58	12,36	12,74	13,64	11,87
15:00	11,75	6,19	11,54	12,32	12,70	13,59	11,82
16:00	12,84	6,63	11,83	12,59	12,95	13,84	12,15
17:00	12,62	6,58	11,80	12,56	12,93	13,81	12,12
18:00	12,58	6,58	11,80	12,56	12,92	13,81	12,12
19:00	12,29	6,64	11,83	12,59	12,95	13,84	12,16
20:00	12,04	6,40	11,68	12,45	12,82	13,71	11,98
21:00	12,38	6,34	11,63	12,41	12,78	13,68	11,93
22:00	11,56	6,00	11,40	12,20	12,59	13,49	11,66
23:00	9,28	5,04	8,00	8,45	8,64	8,47	8,55

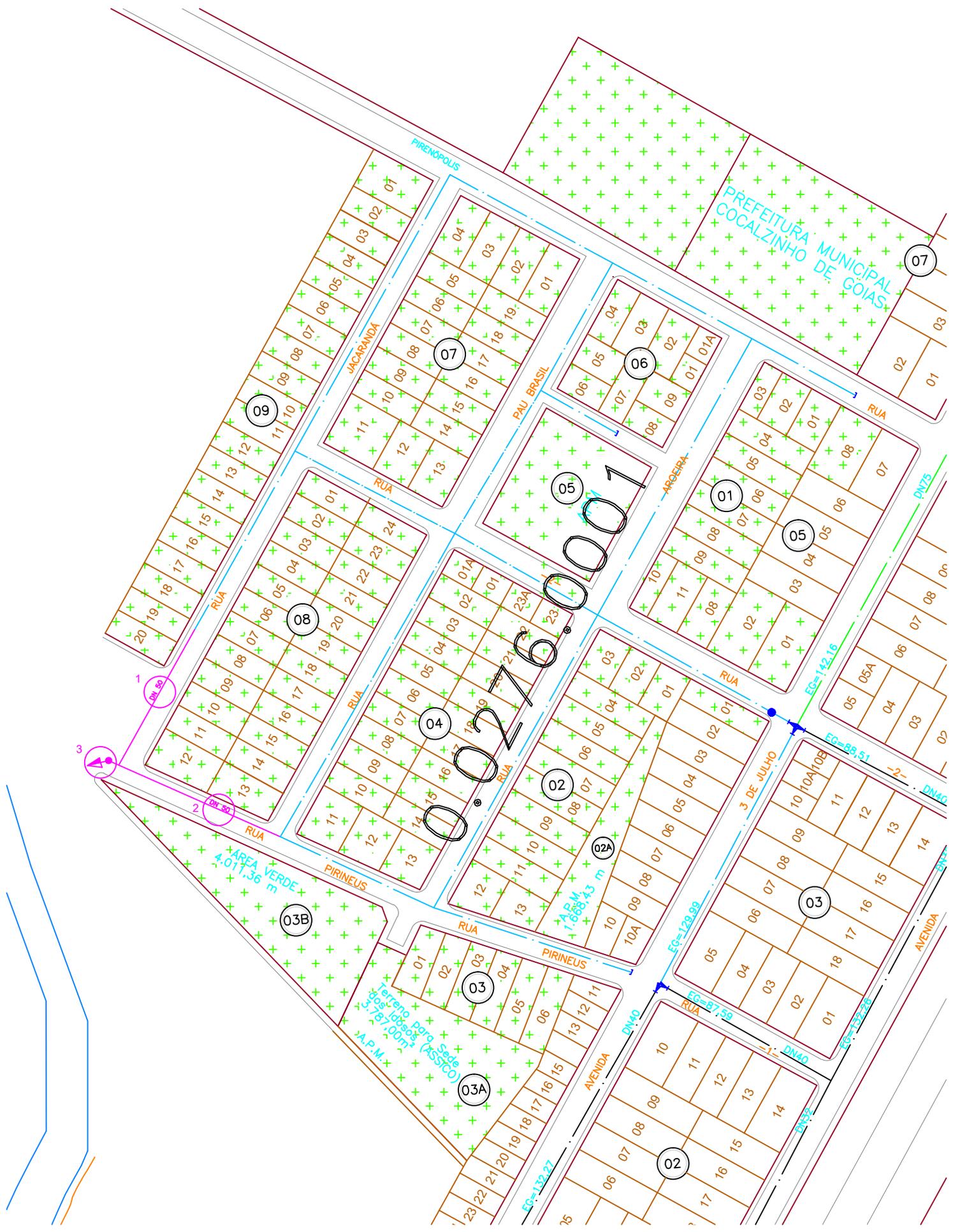
DMC3 - VALOR MÉDIO HORÁRIO DE PRESSÃO (mH₂O) AO LONGO DO DIA

Hora	Medido	Simulado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3	Cenário 4	Calibrado Final
00:00	5,73	8,35	6,16	5,82	5,63	6,02	6,41
01:00	6,19	8,43	6,32	5,98	5,78	6,18	6,56
02:00	6,66	8,50	6,46	6,11	5,91	6,31	6,69
03:00	6,73	8,48	6,34	5,99	5,79	6,19	6,58
04:00	6,54	8,35	5,93	5,60	5,42	5,80	6,23
05:00	5,36	8,37	6,00	5,67	5,48	5,87	6,29
06:00	5,55	8,31	5,87	5,54	5,36	5,73	6,17
07:00	5,65	8,22	5,61	5,29	5,12	5,46	5,93
08:00	20,68	31,69	21,88	20,14	19,18	19,38	22,22
09:00	20,75	31,58	21,69	19,96	19,01	19,21	22,03
10:00	20,77	31,60	21,74	20,01	19,06	19,27	22,08
11:00	19,55	31,16	20,98	19,28	18,36	18,53	21,32
12:00	18,05	30,93	20,63	18,95	18,05	18,21	20,97
13:00	19,19	31,01	20,79	19,10	18,19	18,35	21,13
14:00	18,69	31,29	21,27	19,56	18,63	18,80	21,61
15:00	20,01	31,33	21,35	19,64	18,71	18,88	21,69
16:00	19,46	30,95	20,70	19,01	18,11	18,26	21,03
17:00	19,57	30,98	20,77	19,08	18,18	18,33	21,11
18:00	18,67	30,98	20,76	19,08	18,17	18,32	21,10
19:00	19,17	30,92	20,67	18,99	18,09	18,24	21,01
20:00	20,09	31,12	21,01	19,31	18,40	18,56	21,35
21:00	19,89	31,17	21,10	19,40	18,48	18,64	21,44
22:00	19,82	31,46	21,60	19,88	18,94	19,11	21,94
23:00	4,44	8,17	5,72	5,40	5,23	5,59	6,02

APÊNDICE C

**PROJETO DE SETORIZAÇÃO
SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA
COCALZINHO DE GOIÁS, GOIÁS**





PIRENOPOLIS

PREFEITURA MUNICIPAL
COCALZINHO DE GOIAS

JACARANDA

PALM BRASIL

ANOBERA

RUA

RUA

PN75

EG-142-16

EG=88,51

DN40

3 DE JULHO

EG-129,99

EG=87,59

EG=157,28

PIRINEUS

PIRINEUS

AVENIDA

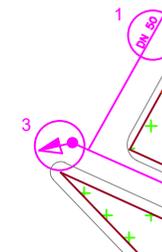
AVENIDA

02760001

AREA VERDE
4.071,36 m

Terreno para Sede
das Lojas (XSPICO)
5,171,00m²
A.P.M.A.

A.P.M.
7.638,43 m





SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO	0.0276.0001
ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 01, 02, 02A (APM), 03,03A, 03B, 04, 05 (APM), 06, 07, 08, 09 Quadras: 05, 07 (Prefeitura Municipal)
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Gravidade
AÇÕES	1. Executar extensão de rede PVC DN 50mm na Rua Jacarandá até esquina com a Rua Pireneus 2. Executar extensão de rede PVC DN 50mm na Rua Pireneus até esquina com a Rua Jacarandá 3. Instalar registro de descarga DN 50mm em rede de PVC na Rua Jacarandá, esquina com a Rua Pireneus 4. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 02, esquina com a Avenida 03 de Julho, entre as Quadras 02 e 05
REGISTRO DE DESCARGA	Rua Jacarandá, esquina com a Rua Pireneus



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO	0.0276.0001																					
ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 01, 02, 02A (APM), 03,03A, 03B, 04, 05 (APM), 06, 07, 08, 09 Quadras: 05, 07 (Prefeitura Municipal)																					
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Gravidade																					
LISTA DE MATERIAIS	<table border="1"><thead><tr><th>Quantidade</th><th>Descrição</th></tr></thead><tbody><tr><td>02 un</td><td>Bucha de redução PVC soldável DN60x50mm</td></tr><tr><td>01 un</td><td>Kit anel com tampa de concreto para PV</td></tr><tr><td>02 un</td><td>Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm</td></tr><tr><td>01 un</td><td>Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm</td></tr><tr><td>01 un</td><td>Tê PVC PBA JE DN 50mm</td></tr><tr><td>01 un</td><td>Tê PVC soldável DN 50mm</td></tr><tr><td>01 un</td><td>Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm</td></tr><tr><td>150 m</td><td>Tubo PVC PBA JE DN 50mm</td></tr><tr><td>03 m</td><td>Tubo PVC soldável DN 50mm</td></tr></tbody></table>	Quantidade	Descrição	02 un	Bucha de redução PVC soldável DN60x50mm	01 un	Kit anel com tampa de concreto para PV	02 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm	01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm	01 un	Tê PVC PBA JE DN 50mm	01 un	Tê PVC soldável DN 50mm	01 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm	150 m	Tubo PVC PBA JE DN 50mm	03 m	Tubo PVC soldável DN 50mm	
	Quantidade	Descrição																				
	02 un	Bucha de redução PVC soldável DN60x50mm																				
	01 un	Kit anel com tampa de concreto para PV																				
	02 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm																				
	01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm																				
	01 un	Tê PVC PBA JE DN 50mm																				
	01 un	Tê PVC soldável DN 50mm																				
	01 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm																				
150 m	Tubo PVC PBA JE DN 50mm																					
03 m	Tubo PVC soldável DN 50mm																					
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 02, esquina com a Avenida 03 de Julho, entre as Quadras 02 e 05																					
REGISTRO DE DESCARGA	Rua Jacarandá, esquina com a Rua Pireneus																					



PREFEITURA MUNICIPAL
COCALZINHO DE GOIAS

05
APM

02
1.068,43 m

07

06

04

03

02

03

03A

09

08



DE GOIAS



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO	0.0276.0002
ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09 Quadras: 02, 03
AÇÕES	1. Localizar registro de descarga DN 32mm em rede de PVC no final da Avenida Comercial próximo à esquina com a Avenida Rio Verde 2. Capear as duas pontas de rede PVC DN 32mm na Avenida Comercial esquina com Rua Araguaia, em frente a quadra 08 3. Instalar registro de manobra DN 75 em rede PVC, na Rua 03 de Julho esquina com Rua Araguaia entre as quadras 08 e 09 4. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra
REGISTRO DE MANOBRA	Avenida 03 de Julho esquina com Rua Araguaia, entre as quadras 08 e 09
REGISTRO DE DESCARGA	Avenida Comercial esquina com a Rua Rio Verde (no pasto)



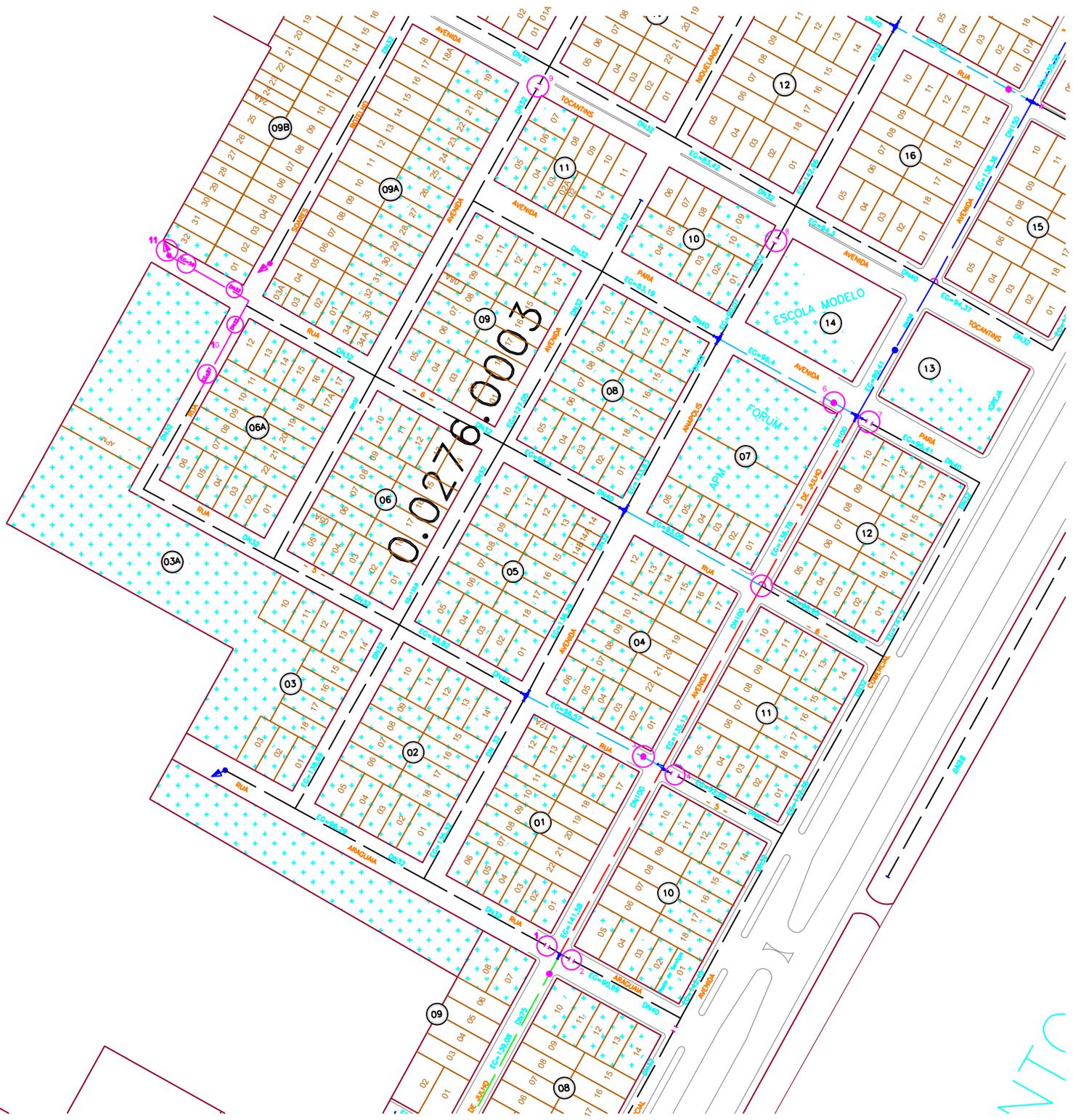
SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO	0.0276.0002	
ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09	
	Quadras: 02, 03	
LISTA DE MATERIAIS	Quantidade	Descrição
	02 un	Cap PVC soldável DN 32mm
	01 un	Kit anel com tampa de concreto para PV
	01 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 75mm
	01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 75mm
	01 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm
	01 m	Tubo PVC PBA JE DN 75mm
REGISTRO DE MANOBRA	Avenida 03 de Julho esquina com Rua Araguaia, entre as quadras 08 e 09	
REGISTRO DE DESCARGA	Avenida Comercial esquina com a Rua Rio Verde (no pasto)	



0.0276.0003

NTC



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO	0.0276.0003
ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 01, 02, 03, 03A, 04, 05, 06, 06A, 07 (APM e Fórum), 08, 09, 09A, 10, 11 Quadras: 08, 09, 10, 11, 12, 13 (Igreja), 14 (Escola)
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Gravidade
AÇÕES	1. Capear rede PVC DN 32mm na Rua Araguaia, esquina com Avenida 03 de Julho entre as quadras 01 e 09 2. Capear rede PVC DN 40mm na Rua Araguaia, esquina com Avenida 03 de Julho, entre as quadras 08 e 10 3. Instalar registro de manobra DN 50mm em rede PVC na Rua 05 esquina com a Av. 03 de Julho, entre as quadras 01 e 04 4. Capear as duas pontas de rede PVC DN 40mm na Rua 05 esquina com a Av. 03 de Julho, entre as quadras 10 e 11 5. Sobrepor (saltar) redes PVC DN 50mm e 40mm na Rua 06, sobre rede PVC DN 100mm na Avenida 03 de Julho 6. Instalar registro de manobra DN 50mm em rede PVC na Avenida Pará esquina com a Av. 03 de Julho, entre a Escola Modelo e o Fórum 7. Capear as duas pontas de rede PVC DN 40mm na Avenida Pará esquina com a Av. 03 de Julho, entre as quadras 12 e 13 8. Capear as duas pontas de rede PVC DN 32mm na Avenida Anápolis esquina com a Avenida Tocantins, entre a quadra 10 e a Escola Modelo 9. Capear as duas pontas de rede PVC DN 32mm na Avenida Brasília esquina com a Avenida Tocantins, entre a quadra 11 e 09 A 10. Interligar rede PVC DN 32mm da Avenida Soares Botelho com rede PVC DN 32mm na Rua 06 11. Executar extensão de rede na Rua 06, entre as quadras 06B e 09 B , e instalar registro de descarga DN 50mm no final da Rua 06 12. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 05, entre as quadras 01 e 04 Avenida Pará, entre a Escola Modelo e o Fórum
REGISTRO DE DESCARGA	Final da Rua Araguaia, em frente a quadra 03 Final da Rua 06, entre as quadras 06B e 09B



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO	0.0276.0003																																				
ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 01, 02, 03, 03A, 04, 05, 06, 06A, 07 (APM e Fórum), 08, 09, 09A, 10, 11																																				
	Quadras: 08, 09, 10, 11, 12, 13 (Igreja), 14 (Escola)																																				
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Gravidade																																				
LISTA DE MATERIAIS	<table border="1"><thead><tr><th>Quantidade</th><th>Descrição</th></tr></thead><tbody><tr><td>01 un</td><td>Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm</td></tr><tr><td>02 un</td><td>Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm</td></tr><tr><td>05 un</td><td>Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm</td></tr><tr><td>06 un</td><td>Cap PVC soldável DN 32mm</td></tr><tr><td>06 un</td><td>Cap PVC soldável DN 40mm</td></tr><tr><td>01 un</td><td>Curva PVC soldável 90° DN 32mm</td></tr><tr><td>04 un</td><td>Curva PVC soldável 90° DN 50mm</td></tr><tr><td>03 un</td><td>Kit anel com tampa de concreto para PV</td></tr><tr><td>02 un</td><td>Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm</td></tr><tr><td>04 un</td><td>Luva PVC soldável DN 32mm</td></tr><tr><td>02 un</td><td>Luva PVC soldável DN 50mm</td></tr><tr><td>03 un</td><td>Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm</td></tr><tr><td>01 un</td><td>Tê PVC soldável DN 32mm</td></tr><tr><td>03 un</td><td>Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm</td></tr><tr><td>03 m</td><td>Tubo PVC JE PBA DN 50mm</td></tr><tr><td>150 m</td><td>Tubo PVC soldável DN 32mm</td></tr><tr><td>05 m</td><td>Tubo PVC soldável DN 50mm</td></tr></tbody></table>	Quantidade	Descrição	01 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm	02 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm	05 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm	06 un	Cap PVC soldável DN 32mm	06 un	Cap PVC soldável DN 40mm	01 un	Curva PVC soldável 90° DN 32mm	04 un	Curva PVC soldável 90° DN 50mm	03 un	Kit anel com tampa de concreto para PV	02 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm	04 un	Luva PVC soldável DN 32mm	02 un	Luva PVC soldável DN 50mm	03 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm	01 un	Tê PVC soldável DN 32mm	03 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm	03 m	Tubo PVC JE PBA DN 50mm	150 m	Tubo PVC soldável DN 32mm	05 m	Tubo PVC soldável DN 50mm
	Quantidade	Descrição																																			
	01 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm																																			
	02 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm																																			
	05 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm																																			
	06 un	Cap PVC soldável DN 32mm																																			
	06 un	Cap PVC soldável DN 40mm																																			
	01 un	Curva PVC soldável 90° DN 32mm																																			
	04 un	Curva PVC soldável 90° DN 50mm																																			
	03 un	Kit anel com tampa de concreto para PV																																			
	02 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm																																			
	04 un	Luva PVC soldável DN 32mm																																			
	02 un	Luva PVC soldável DN 50mm																																			
	03 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm																																			
	01 un	Tê PVC soldável DN 32mm																																			
	03 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm																																			
03 m	Tubo PVC JE PBA DN 50mm																																				
150 m	Tubo PVC soldável DN 32mm																																				
05 m	Tubo PVC soldável DN 50mm																																				
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 05, entre as quadras 01 e 04																																				
	Avenida Pará, entre a Escola Modelo e o Fórum																																				
REGISTRO DE DESCARGA	Final da Rua Araguaia, em frente a quadra 03																																				
	Final da Rua 06, entre as quadras 06B e 09B																																				

 <p>SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.</p>	<p align="center">PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA</p> <p align="center">COCALZINHO DE GOIÁS – GO</p> <p align="center">LISTA DE AÇÕES</p>
<p align="center">MÓDULO</p>	<p align="center">0.0276.0004</p>
<p align="center">ÁREA DE INFLUÊNCIA</p>	<p>Quadras: 04, 05, 06, 11, 12, 13, 14, 15, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26</p>
<p align="center">ÁREA DE RESERVAÇÃO</p>	<p>Reservatório Apoiado – Gravidade</p>
<p align="center">AÇÕES</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Substituir diâmetro de rede PVC de 50mm para 75mm, na Av. São Paulo entre a Avenida Anápolis e Avenida Brasília 2. Instalar registro de manobra DN 75mm em rede PVC na Av. São Paulo, entre as quadras 01 e 02 3. Capear as duas pontas de rede PVC DN 50mm na Rua Soares Botelho esquina com a Rua Uruaçu, entre as quadras 04 e 05 4. Capear as duas pontas de rede PVC DN 32mm na Rua Itapaci esquina com a Rua Uruaçu, entre as quadras 05 e 06 5. Executar extensão de rede PVC DN 32mm na Rua Gurupi e interligar na rede PVC DN 32mm na Rua Goianésia 6. Instalar registro de descarga DN 50mm em rede PVC, na Rua 09 entre as quadras 15 e 24, no final da rede 7. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra
<p align="center">REGISTRO DE MANOBRA</p>	<p>Avenida São Paulo, entre as quadras 01 e 02</p>
<p align="center">REGISTRO DE DESCARGA</p>	<p>Final da Rua 09 entre as quadras 15 e 24</p>



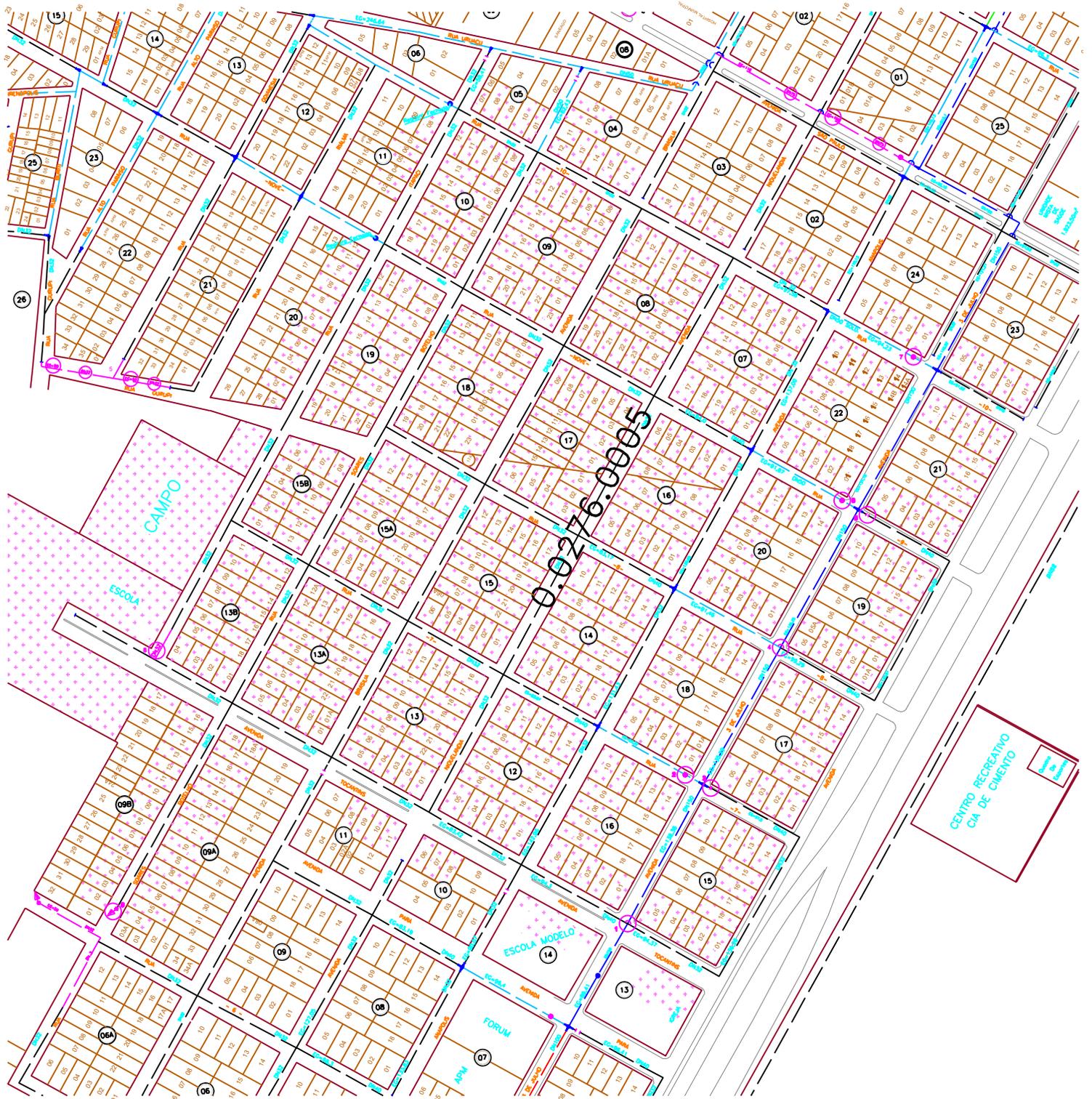
SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO	0.0276.0004	
ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 04, 05, 06, 11, 12, 13, 14, 15, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26	
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Gravidade	
LISTA DE MATERIAIS	Quantidade	Descrição
	01 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm
	01 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm
	02 un	Cap PVC soldável DN 32mm
	02 un	Cap PVC PBA JE DN 50mm
	01 un	Curva PVC PBA JE 90° DN 75mm
	01 un	Curva PVC soldável 90° DN 32mm
	02 un	Kit anel com tampa de concreto para PV
	01 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm
	02 un	Luva PVC PBA JE DN 150mm
	05 un	Luva PVC soldável DN 32mm
	01 un	Redução PVC PBA JE DN 100x75mm
	01 un	Redução PVC PBA JE DN 150x100mm
	01 un	Redução PVC PBA JE DN 75x50mm
	01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm
	01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 75mm
	01 un	Tê PVC PBA JE DN 150mm
	01 un	Tê PVC soldável DN 32mm
	02 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm
	01 m	Tubo PVC JE PBA DN 150mm
01 m	Tubo PVC JE PBA DN 50mm	
216 m	Tubo PVC JE PBA DN 75mm	
132 m	Tubo PVC Soldável DN 32mm	
REGISTRO DE MANOBRA	Avenida São Paulo, entre as quadras 01 e 02	
REGISTRO DE DESCARGA	Final da Rua 09 entre as quadras 15 e 24	





SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO

0.0276.0005

ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 12, 13, 13A, 13B, 14, 15, 15A, 15B, 16, 17, 18, 19, 20
	Quadras: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24
	Quadras: 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Gravidade
AÇÕES	1. Sobrepor rede PVC DN 32mm e 40mm na Avenida Tocantins, sobre rede PVC DN 150mm na Avenida 03 de Julho
	2. Instalar registro de manobra DN 50mm em rede PVC, na Rua 07 esquina com Avenida 03 de Julho entre as quadras 16 e 18
	3. Capear as duas pontas de rede PVC DN 40mm na Rua 07 esquina com a Avenida 03 de Julho, entre as quadras 15 e 17
	4. Sobrepor rede PVC DN 50mm e 40mm na Rua 08, sobre rede PVC DN 150mm na Avenida 03 de Julho
	5. Capear as duas pontas de rede PVC DN 40mm na Rua 09 esquina com a Avenida 03 de Julho, entre as quadras 19 e 21
	6. Instalar registro de manobra DN 50mm em rede PVC, na Rua 09 esquina com Avenida 03 de Julho entre as quadras 20 e 22
	7. Instalar registro de manobra DN 50mm em rede PVC, na Rua 10 esquina com Avenida 03 de Julho entre as quadras 22 e 24
	8. Interligar rede PVC DN 32mm na Rua Itapaci com rede PVC DN 32mm na Avenida Tocantins, entre a quadra 13B e a Escola
	9. Instalar registro de descarga DN 50mm na ponta de rede da Rua Soares Botelho entre as quadras 09 A e 09 B
	10. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 07, esquina com Av. 03 de julho, entre as quadras 16 e 18
	Rua 09, esquina com Av. 03 de julho, entre as quadras 20 e 22
	Rua 10, esquina com Av. 03 de julho, entre as quadras 22 e 24
REGISTRO DE DESCARGA	Rua Soares Botelho, entre as quadras 09A e 09B



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO

0.0276.0005

ÁREA DE INFLUÊNCIA

Quadras: 12, 13, 13A, 13B, 14, 15, 15A, 15B, 16, 17, 18, 19, 20

Quadras: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 24

Quadras: 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11

ÁREA DE RESERVAÇÃO

Reservatório Apoiado – Gravidade

LISTA DE MATERIAIS

Quantidade	Descrição
01 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm
01 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm
06 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm
02 un	Cap PVC soldável DN 32mm
04 un	Cap PVC soldável DN 40mm
01 un	Cap PVC soldável DN 50mm
04 un	Curva PVC soldável 90° DN 40mm
04 un	Curva PVC soldável 90° DN 50mm
04 un	Kit anel com tampa de concreto para PV
03 un	Luva de Correr JE PVC PBA DN 50mm
04 un	Luva PVC soldável DN 32mm
01 un	Luva PVC soldável DN 40mm
04 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm
01 un	Tê PVC soldável DN 32mm
04 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm
03 m	Tubo PVC JE PBA DN 50mm
54 m	Tubo PVC soldável DN 32mm
03 m	Tubo PVC soldável DN 40mm
06 m	Tubo PVC soldável DN 50mm

REGISTRO DE MANOBRA

Rua 07, esquina com Av. 03 de julho, entre as quadras 16 e 18

Rua 09, esquina com Av. 03 de julho, entre as quadras 20 e 22

Rua 10, esquina com Av. 03 de julho, entre as quadras 22 e 24

REGISTRO DE DESCARGA

Rua Soares Botelho, entre as quadras 09A e 09B



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO

0.0276.0006

ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21 Quadras: 01, 32, 33, 36, 37
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Booster
AÇÕES	<ol style="list-style-type: none">1. Instalar registro de manobra em rede PVC DN 50mm, na Rua 13 esquina com Avenida Anápolis entre as quadras 32 e 362. Capear duas pontas de rede PVC DN 32mm na Avenida Niquelândia esquina com a Rua 13, entre as quadras 32 e 33 e quadras 36 e 373. Substituir 100m de rede PVC DN 32mm por rede PVC DN 50mm na Rua 13 entre as quadras 33 e 374. Capear duas pontas de rede PVC DN 32mm na Avenida Brasília esquina com a Rua 13, entre as quadras 05 e 33 e quadras 01 e 375. Interligar rede PVC DN 50mm da Rua Contorno, entre as quadras 01 e 05, na rede PVC DN50mm da Avenida Brasília, esquina com Rua 136. Capear uma ponta de rede PVC DN 50mm na Rua Contorno, esquina com a Rua Mota, entre as quadras 01 e 057. Capear rede PVC DN 50mm na Rua Contorno, esquina com a Rua Rutilo8. Capear rede PVC DN 50mm na Rua Contorno, esquina com a Rua Breilo9. Executar 250 m de extensão de rede PVC DN 50mm na Rua Contorno, interligando nas redes PVC DN 50 das Ruas Rutilo, Breilo e Ametista10. Capear uma das pontas da rede PVC DN 32mm na Avenida São Paulo entre as quadras 07 e 08 e Instalar registro de descarga DN 50mm na outra ponta11. Instalar registro de descarga em rede PVC DN 50mm no final da Av. São Paulo entre as quadras 18 e 1912. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra.
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 13 esquina com Avenida Anápolis
REGISTRO DE DESCARGA	Final da Avenida São Paulo (entre quadras 18 e 19)



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO

0.0276.0006

ÁREA DE INFLUÊNCIA

Quadras: 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21

Quadras: 01, 32, 33, 36, 37

ÁREA DE RESERVAÇÃO

Reservatório Apoiado – Booster

LISTA DE MATERIAIS

Quantidade	Descrição
03 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm
03 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm
05 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm
03 un	Cap PVC PBA JE DN 50mm
05 un	Cap PVC soldável DN 32mm
04 un	Curva PVC PBA JE 90° DN 50mm
03 un	Kit anel com tampa de concreto para PV
04 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm
03 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm
01 un	Tê PVC PBA JE DN 50mm
03 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm
354 m	Tubo PVC JE PBA DN 50mm
30 m	Tubo PVC soldável DN 32mm
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 13 esquina com Avenida Anápolis
REGISTRO DE DESCARGA	Final da Avenida São Paulo (entre quadras 18 e 19)



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO

0.0276.0007

ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 02; 03; 04
	Quadra: 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07
	Quadras: 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, APM, Escola, Cia de Cimento e Centro Recreativo
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Booster
AÇÕES	1. Instalar registro de manobra DN 75mm em rede PVC, na Avenida Anápolis esquina com Rua 13, entre as quadras 31 e 32;
	2. Capear as duas pontas de rede PVC DN 32mm na Avenida 03 de Julho esquina com Rua 13, entre as quadras 30 e 31;
	3. Substituir rede PVC DN 32mm na Rua 12, entre as quadras 28 e 32, por rede PVC DN 75mm
	4. Interligar ponta de rede PVC DN 32 mm da Avenida Brasília, entre as quadras 04 e 29, na rede PVC DN 32mm da Rua 12
	5. Interligar ponta de rede PVC DN 32 mm da Avenida Brasília, entre as quadras 05 e 33, na rede PVC DN 32mm da Rua 12
	6. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra.
REGISTRO DE MANOBRA	Avenida Anápolis esquina com Rua 13, entre as quadras 31 e 32
REGISTRO DE DESCARGA	Avenida São Paulo esquina com a Rua Ana Joaquina, entre as quadras 07 e 08



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO

0.0276.0007

ÁREA DE INFLUÊNCIA

Quadras: 02; 03; 04

Quadra: 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07

Quadras: 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, APM, Escola, Cia de Cimento e Centro Recreativo

ÁREA DE RESERVAÇÃO

Reservatório Apoiado – Booster

LISTA DE MATERIAIS

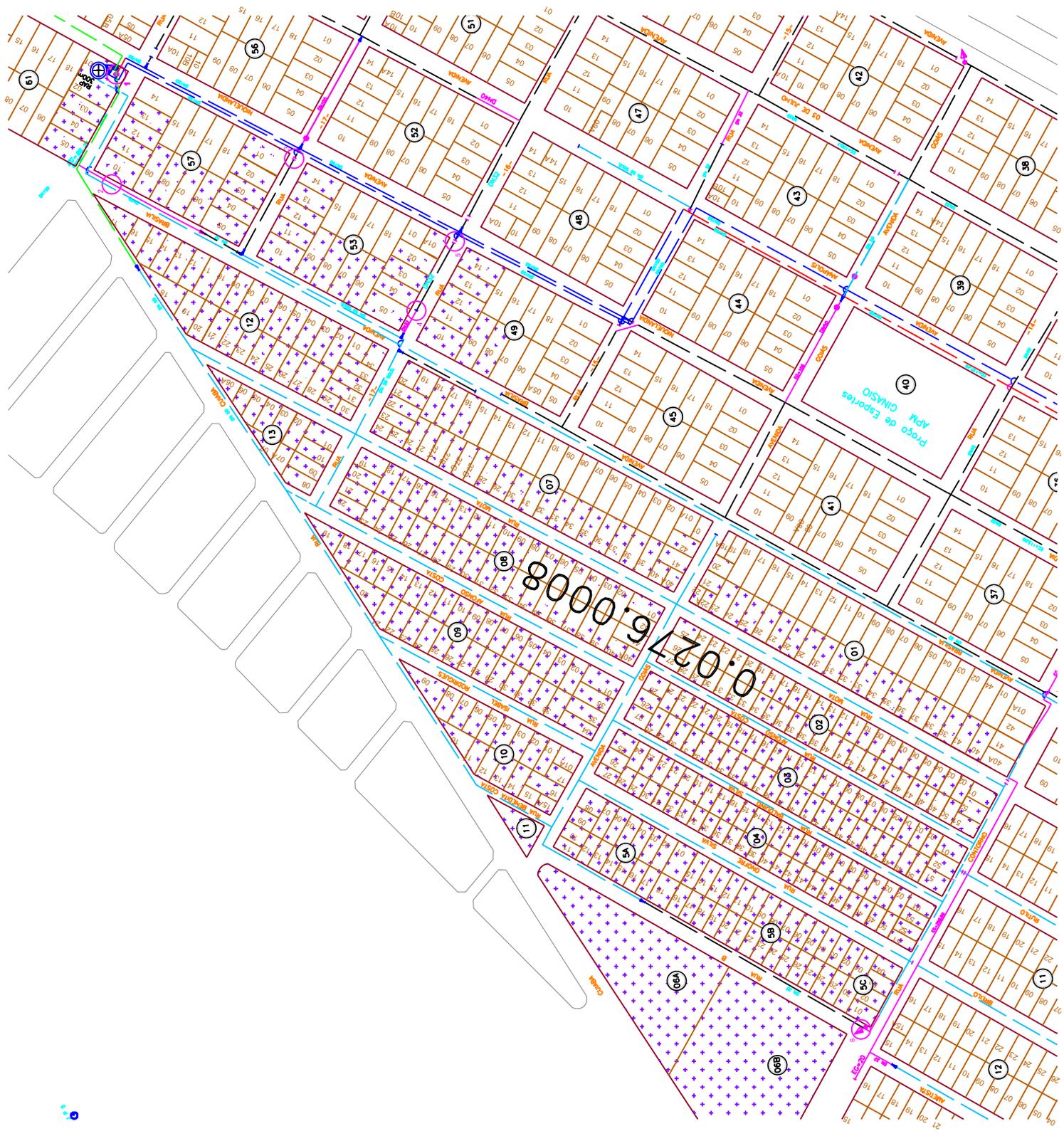
Quantidade	Descrição
02 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm
02 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm
02 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm
02 un	Cap PVC soldável DN 32mm
01 un	Cruzeta PVC soldável DN 32mm
01 un	Kit anel com tampa de concreto para PV
03 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 75mm
06 un	Luva PVC soldável DN 32mm
01 un	Redução PVC DN 75x50mm
01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 75mm
01 un	Tê PVC PBA JE DN 50mm
01 un	Tê PVC PBA JE DN 75mm
01 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm
116 m	Tubo PVC PBA JE DN 75mm
120 m	Tubo PVC soldável DN 32mm

REGISTRO DE MANOBRA

Avenida Anápolis esquina com Rua 13, entre as quadras 31 e 32

REGISTRO DE DESCARGA

Avenida São Paulo esquina com a Rua Ana Joaquina, entre as quadras 07 e 08





SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO

0.0276.0008

ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 49, 53, 57, 61
	Quadras: 01, 02, 03, 04, 05A, 05B, 05C, 06A, 06B, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Booster
AÇÕES	1. Instalar registro de manobra DN 75mm em rede PVC, próximo à saída do booster (área do reservatório, quadra 57)
	2. Interligar rede PVC DN 32mm da Avenida Brasília em rede PVC DN 75mm da Rua 18, entre as quadras 12 e 57
	3. Capear as duas pontas de rede PVC DN 32mm na Rua 17 esquina com a Avenida Niquelândia, entre as quadras 53 e 57
	4. Interligar rede PVC DN 32mm da Rua 16, entre as quadras 49 e 53, na rede PVC DN 50mm da Avenida Brasília
	5. Capear as duas pontas de rede PVC DN 32mm na Rua 16 esquina com a Avenida Niquelândia, entre as quadras 49 e 53;
	6. Instalar registro de descarga DN 50mm na Rua B esquina com Rua Contorno, entre as quadras 05C e 06B
	7. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra.
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 18, quadra 57 (área do reservatório)
REGISTRO DE DESCARGA	Rua B esquina com Rua Contorno, entre as quadras 05C e 06B



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO

0.0276.0008

ÁREA DE INFLUÊNCIA

Quadras: 49, 53, 57, 61

Quadras: 01, 02, 03, 04, 05A, 05B, 05C, 06A, 06B, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13

ÁREA DE RESERVAÇÃO

Reservatório Apoiado – Booster

LISTA DE MATERIAIS

Quantidade	Descrição
03 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm
03 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm
02 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm
04 un	Cap PVC soldável DN 32mm
02 un	Kit anel com tampa de concreto para PV
01 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm
02 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 75mm
01 un	Luva PVC soldável DN 32mm
01 un	Luva PVC soldável DN 50mm
01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm
01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 75mm
01 un	Tê de redução PVC PBA JE DN 75x50mm
01 un	Tê de redução PVC soldável DN 50x32mm
01 un	Tê PVC PBA JE DN 50mm
02 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm
108 m	Tubo PVC PBA JE DN 50mm
01 m	Tubo PVC PBA JE DN 75mm
24 m	Tubo PVC soldável DN 32mm

REGISTRO DE MANOBRA

Rua 18, quadra 57 (área do reservatório)

REGISTRO DE DESCARGA

Rua B esquina com Rua Contorno, entre as quadras 05C e 06B



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO

0.0276.0009

ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 01, 07 Quadras: 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 49 APM (Ginásio)
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Booster
AÇÕES	<ol style="list-style-type: none">1. Capear as duas pontas de rede PVC DN 50mm na Rua 13 esquina com a Avenida Anápolis, entre as quadras 31 e 352. Sobrepor rede PVC DN 32mm na Rua 14, sobre rede PVC DN100mm e rede PVC DN 150mm na Avenida Anápolis3. Interligar rede PVC DN 32 mm da Rua 14 com rede PVC DN 32mm na Avenida 03 de Julho4. Capear uma das pontas de rede PVC DN 32mm na Avenida Comercial esquina com a Avenida Goiás, quadra 42, e instalar registro de descarga em rede PVC DN 32mm na outra ponta de rede5. Capear as duas pontas de rede PVC DN 32mm na Avenida 3 de Julho esquina com a Avenida Goiás, entre as quadras 42 e 436. Instalar registro de manobra DN 50mm em rede PVC, na Avenida Goiás esquina com Avenida Anápolis entre as quadras 39 e 437. Substituir diâmetro de rede PVC DN 32mm para rede PVC DN 50mm, na Av. Goiás, entre a Av. Anápolis até a Av. Niquelândia8. Instalar registro de manobra DN 50mm em rede PVC, na Avenida Goiás esquina com Avenida Anápolis entre as quadras 40 e 449. Desinterligar redes PVC DN 32mm da adutora DN 150mm, na Avenida Niquelândia entre as quadras 42 e 43 e interligar as duas pontas de DN 32mm10. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra
REGISTRO DE MANOBRA	Avenida Goiás, entre as quadras 40 e 44 Avenida Goiás, entre as quadras 39 e 43
REGISTRO DE DESCARGA	Avenida Comercial esquina com Avenida Goiás, quadra 42



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

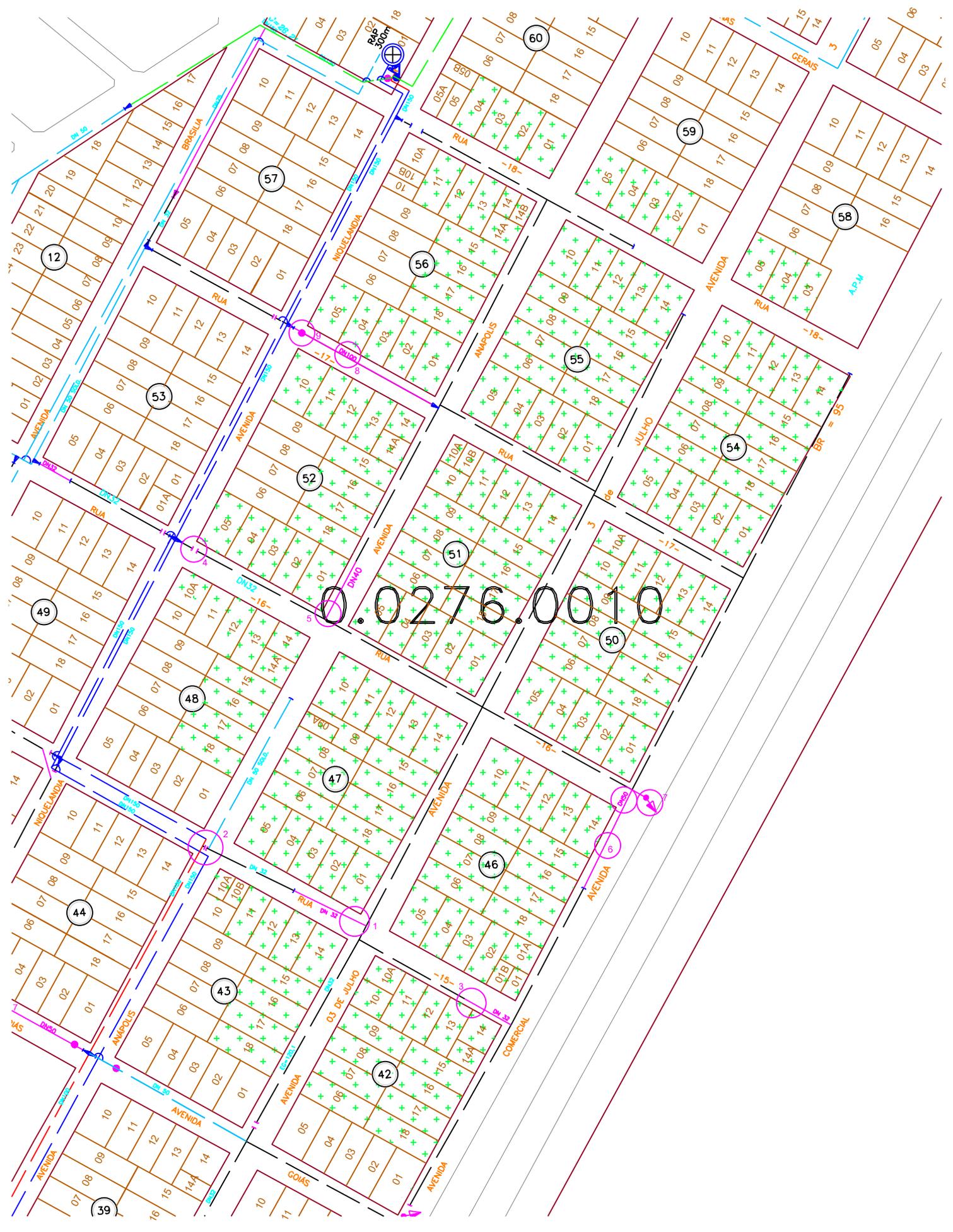
LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO

0.0276.0009

ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 01, 07	
	Quadras: 34, 35, 36, 37, 38, 39, 41, 42, 43, 44, 45, 49 APM (Ginásio)	
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Booster	
LISTA DE MATERIAIS	Quantidade	Descrição
	04 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm
	04 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm
	06 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm
	07 un	Cap PVC soldável DN 32mm
	01 un	Cruzeta com redução PVC PBA JE DN 100x50mm
	01 un	Cruzeta PVC soldável DN 32mm
	01 un	Cruzeta PVC PBA JE DN 50mm
	02 un	Curva 45° PVC soldável DN 32mm
	04 un	Curva 90° PVC soldável DN 40mm
	03 un	Kit anel com tampa de concreto para PV
	03 un	Luva de correr PVC PBA JE DN 50mm
	01 un	Luva PVC PBA JE DN 50mm
	04 un	Luva PVC soldável DN 32mm
	02 un	Luva PVC soldável DN 40mm
	03 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm
	03 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm
	106 m	Tubo PVC JE PBA DN 50mm
30 m	Tubo PVC soldável DN 32mm	
02 m	Tubo PVC soldável DN 40mm	
01 m	Tubo PVC soldável DN 50mm	
REGISTRO DE MANOBRA	Avenida Goiás, entre as quadras 40 e 44	
	Avenida Goiás, entre as quadras 39 e 43	
REGISTRO DE DESCARGA	Avenida Comercial esquina com Avenida Goiás, quadra 42	

0.0276.0010





SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO

0.0276.0010

ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 42, 43, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 58, 59, 60
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Booster
AÇÕES	1. Interligar rede PVC DN 32mm na Rua 15, entre as quadras 43 e 47, com rede PVC DN 32mm na Avenida 03 de julho
	2. Capear duas pontas de rede PVC DN 50mm após derivação da adutora PVC DN 100mm
	3. Interligar rede PVC DN 32mm na Rua 15, entre as quadras 42 e 46, com rede PVC DN 32mm na Avenida Comercial
	4. Capear duas pontas de rede PVC DN 32mm na Rua 16 esquina com Avenida Niquelândia, entre as quadras 48 e 52
	5. Interligar ponta de rede PVC DN 40mm da Avenida Anápolis com rede PVC DN 32 mm na Rua 16
	6. Interligar rede PVC DN 32 mm na Avenida Comercial, em frente a quadra 46, com rede PVC DN 32 na Avenida Comercial esquina com Rua 16
	7. Instalar registro de descarga em rede PVC DN 32mm na Avenida Comercial esquina com Rua 16
	8. Substituir 100m de rede PVC DN 32mm por rede PVC DN 100m na Rua 17, entre a Avenida Niquelândia e a Avenida Anápolis
	9. Instalar registro de manobra DN 100mm em rede PVC na Rua 17 esquina com Avenida Niquelândia, entre as quadras 52 e 56
	10. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 17 esquina com Avenida Niquelândia, entre as quadras 52 e 56
REGISTRO DE DESCARGA	Avenida Comercial esquina com Rua 16



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE MATERIAIS

MÓDULO

0.0276.0010

ÁREA DE INFLUÊNCIA

Quadras: 42, 43, 46, 47, 48, 50, 51, 52, 54, 55, 56, 58, 59, 60

ÁREA DE RESERVAÇÃO

Reservatório Apoiado – Booster

LISTA DE MATERIAIS

Quantidade	Descrição
04 un	Bucha de redução PVC soldável DN 40x32mm
04 un	Bucha de redução PVC soldável DN 50x40mm
03 un	Bucha de redução PVC soldável DN 60x50mm
02 un	Cap PVC soldável DN 32mm
02 un	Cap PVC soldável DN 50mm
02 un	Kit anel com tampa de concreto para PV
02 un	Luva PVC PBA JE DN 100mm
10 un	Luva PVC soldável DN 32mm
01 m	Luva PVC soldável DN 40mm
01 un	Redução PVC DN 100x75mm
01 un	Redução PVC DN 150x100mm
01 un	Redução PVC DN 75x50mm
01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 100mm
01 un	Registro GAV FF BB PN 10 cunha de borracha CAB PVC DN 50mm
01 un	Tê PVC PBA JE DN 150mm
01 un	Tê PVC PBA JE DN 50mm
02 un	Tê PVC soldável DN 32mm
01 un	Tê PVC soldável DN 40mm
02 un	Tubo de concreto águas pluviais (PV) PB DN 60x60cm
96 m	Tubo PVC JE PBA DN 100mm
84 m	Tubo PVC JE PBA DN 50mm
78 m	Tubo PVC soldável DN 32mm

REGISTRO DE MANOBRA

Avenida Goiás, entre as quadras 40 e 44

Avenida Goiás, entre as quadras 39 e 43

REGISTRO DE DESCARGA

Avenida Comercial esquina com Avenida Goiás, quadra 42



SANEAMENTO DE GOIÁS S.A.

PROJETO DE SETORIZAÇÃO – RDA

COCALZINHO DE GOIÁS – GO

LISTA DE AÇÕES

MÓDULO

0.0276.0011

ÁREA DE INFLUÊNCIA	Quadras: 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68
ÁREA DE RESERVAÇÃO	Reservatório Apoiado – Booster
AÇÕES	1. Realizar teste hidrostático para verificação da estanqueidade do setor de manobra
REGISTRO DE MANOBRA	Rua 18, quadra 57 (área do reservatório)
REGISTRO DE DESCARGA	Rua 19 esquina com Avenida 03 de julho