

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
UNIVERSIDADE DE STUTTGART
SENAI/PR

LUCIANO RODRIGUES PENIDO

METODOLOGIA DE APOIO À MANUTENÇÃO DE REDE COLETORA DE
ESGOTOS

CURITIBA
2014

LUCIANO RODRIGUES PENIDO

METODOLOGIA DE APOIO À MANUTENÇÃO DE REDE COLETORA DE
ESGOTOS

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial do setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com o SENAI-PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Meio Ambiente Urbano e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Jörg Wolfgang Metzger

Co-orientadoras: Prof^a Dr^a. Karen Juliana do Amaral e Prof^a Dr^a. Regina Maria Matos Jorge

CURITIBA

2014

P411m

Penido, Luciano Rodrigues

Metodologia de apoio à manutenção de rede coletora de esgotos /
Luciano Rodrigues Penido. – Curitiba, 2014.
119f. : il. color. ; 30 cm.

Dissertação - Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia,
Programa de Pós-graduação em Mestrado Profissional em Meio Ambiente
Urbano e Industrial; Universidade de Stuttgart; SENAI/PR, 2014.

Orientador: Jörg Wolfgang Metzger – Co-orientador: Karen Juliana
Amaral; Regina Maria Matos Jorge.
Bibliografia: p. 106-113.

1. Águas residuais - Aspectos ambientais - Curitiba (PR). 2. Sentidos
químicos. 3. Água - Oxigênio dissolvido. 4. Rios - Recuperação. 5. Proteção
ambiental - Participação do cidadão. I. Universidade Federal do Paraná. II.
Universidade de Stuttgart. III. SENAI/PR. IV. Metzger, Jörg Wolfgang. V.
Amaral, Karen Juliana. VI. Jorge, Regina Maria Matos. VII. Título.

CDD: 628.39

TERMO DE APROVAÇÃO


LUCIANO RODRIGUES PENIDO


“METODOLOGIA DE APOIO À MANUTENÇÃO DE REDE COLETORA DE ESGOTOS”


Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre no Programa de Mestrado Profissional em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná em parceria com SENAI/PR e a *Universität Stuttgart*, Alemanha, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a):


Prof^a. Dr^a. Regina Maria Matos Jorge
PPGMAUI/UFPR


Prof^a. Dr^a. Margarete Casagrande Lass Erbe
PPGMAUI/UFPR


Prof. Dr. Harry Alberto Bollmann
PUC-PR


Prof^a. Dr^a. MARGARETE CASAGRANDE LASS ERBE
Coordenadora do PPGMAUI-UFPR

Curitiba, 25 de setembro de 2014.

À minha esposa Dulcinéia,
à Larissa, Danielle e Vitória.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Jörg, pela disponibilidade e pronta atenção em solo brasileiro e alemão. Por suas aulas dedicadas e embasadas em profunda ciência.

À Prof^a Karen, pelas orientações e revisões do texto, enquanto prepara a chegada de seu segundo filho.

À Prof^a Regina, pelas orientações e atenção nas longas horas de atendimento. Obrigado pela acolhida e pelas aulas de Quimiodinâmica.

Aos professores do MAUI, pelas aulas e palestras aqui no Brasil e na Alemanha. Pela oportunidade da Qualificação, agradeço à Prof^a Margarete Casagrande Lass Erbe, à Prof^a Arislete Dantas de Aquino e ao Prof. Juarez Souza de Oliveira, pelas alterações indicadas.

Ao Aguasparaná, na pessoa do Edson Sakae Nagashima, pela cessão dos dados fluviométricos e pluviométricos.

À SANEPAR, pela oportunidade de realizar o presente trabalho e por disponibilizar acesso irrestrito aos dados e informações solicitados.

Aos colegas de trabalho Jefferson Skroch e Rafael Cabral Gonçalves, que dividem a paternidade do PRRU, projeto nascido de sua capacidade de observação, raciocínio lúcido e tenaz persistência na defesa de suas certezas. Obrigado pela autorização para o presente trabalho e pelas muitas horas de apoio e ensino.

À equipe de executores do PRRU: Mauro Luiz Gomes dos Santos, Paulo Antônio do Vale Junior e Heric Ribeiro Passos dos Santos, pela dedicação contagiante com que se lançam às atividades do Programa, pela acolhida e atenção.

Ao gerente Paulo Roberto da Veiga Franco, pela atenta leitura deste documento e às proposições que elucidaram na condução do presente trabalho.

À colega de trabalho Josete Fátima de Sá, pelo apoio, incentivo às atividades de pesquisa e no ensino da ciência hidrologia.

Ao Christiano Marchiorato Dobginies, pelos dados de manutenção da RCE.

À Roselis Augusta de Oliveira Presznhuk, pelas informações prestadas acerca de Educação Socioambiental e do monitoramento participativo do PRRU.

Ao Manoel César Santos, pelas informações sobre a história de Curitiba.

A água é como a liberdade, só é importante quando falta.

(REBOUÇAS, 2002)

RESUMO

A rede coletora de esgotos é concebida para operar como um sistema estanque por longos períodos. Todavia, está sujeita a efeitos deletérios causados por agentes físico-químicos e biológicos, favorecendo o surgimento de pontos frágeis em sua estrutura, com possível perda de efluentes. Programas de manutenção preventiva e corretiva amparados em modernas tecnologias visam garantir a eficiência da rede coletora, mas não antecipam um diagnóstico preciso da localização de pontos frágeis, demandando a inspeção de vários ramais. O presente trabalho objetiva avaliar uma nova metodologia de apoio à manutenção da rede coletora de esgotos, orientada pelas condições ambientais dos rios urbanos nas proximidades. São descritos seus passos metodológicos, premissas e conceitos, propondo-se um balanço de massa das correntes atuantes no sistema rio urbano, conforme o método. Os resultados obtidos em quatro anos de existência do Programa são avaliados para o Rio Belém, um importante rio urbano de Curitiba, o qual já apresenta melhores níveis de oxigênio dissolvido, um dos pontos fortes da metodologia. É investigada a apropriação do oxigênio dissolvido nas águas de rios urbanos como referência para se localizar despejos de carga orgânica, sugerindo-se a integração desta metodologia às tecnologias convencionais de manutenção das redes coletoras de esgoto.

Palavras-chave: Rede coletora de esgotos, organolépticos, oxigênio dissolvido, autodepuração, monitoramento participativo

ABSTRACT

The sewage network is designed to operate as a watertight system for long periods. However, it is subject to deleterious effects caused by physico-chemical and biological agents, enabling the occurrence of fragile points in its structure, with possible effluent loss. Preventive and corrective maintenance programs supported on modern inspection technologies ensure the sewer network efficiency, but cannot lead to a precise diagnosis of fragile spots location, demanding the inspection of several extensions of sewer network. The present work aims to evaluate a new methodology for supporting the maintenance of sewage network, guided by the environmental conditions of urban rivers nearby. There are described the methodological steps, defined its premises and concepts, and proposed a model of how urban rivers are considered by this method. There are evaluated the results from four years of its implementation at Belém River, an important urban river of Curitiba, revealing better levels of dissolved oxygen, one of the strengths of the methodology. Urban rivers' dissolved oxygen is investigated as being a reference to find organic load dumps, suggesting this methodology might be integrated to conventional technologies of maintenance of sewage network.

Keywords: sewage network, organoleptic parameters, dissolved oxygen, self-depuration, participatory monitoring.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema básico de funcionamento do ciclo hidrológico.....	23
Figura 2 - Ciclo hidrológico em bacia urbanizada.....	24
Figura 3 – Esquema conceitual de uma bacia hidrográfica.....	25
Figura 4 – Curva de permanência do Rio Jaracatiá, com vazões medidas na estação fluviométrica 65970320 em S 25° 48' 30", W 53° 10' 37", Enéas Marques-PR	27
Figura 5 – Formas de poluição das águas: pontual (a) e difusa (b)	28
Figura 6 – Variações no OD com temperatura e salinidade, em pressão de 1 atm ..	32
Figura 7– Variações no OD com temperatura e pressão, com salinidade em 0‰.....	32
Figura 8 – Componentes eletrônicos do sensor óptico de oxigênio	33
Figura 9 – Diagrama de como funciona o indicador luminescente	34
Figura 10 - Variação de OD e dbO nas zonas de autodepuração de um rio.....	36
Figura 11 – Médias anuais de OD no Rio Reno.....	37
Figura 12 – Relação entre saneamento ambiental, básico e sanitário	39
Figura 13 - Ciclo da teoria EBN.....	40
Figura 14 – Tubulações e dispositivos de uma RCE.....	43
Figura 15 – Ocorrência de pontos frágeis na estrutura da RCE.....	46
Figura 16 – Gases no coletor de esgotos (a) e efeitos corrosivos em manilhas de concreto e tubos de ferro (b)	47
Figura 17 – Coletor de esgotos exposto a três ambientes corrosivos	48
Figura 18 – Imagens de tubulação obstruída por pedra (a) e com avaria física (b) ..	50
Figura 19 – Fumaça injetada no PV (a) saindo na galeria de água pluvial (b)	51
Figura 20 – Oxigênio dissolvido ao longo do rio.....	53
Figura 21 – Campo de investigação definido pela queda de OD no Perfil do rio	54
Figura 22 - Ciclo de processos do PRRU.....	54
Figura 23 – Área de estudo, definida na porção norte da bacia do Rio Belém	57
Figura 24 – Bacia hidrográfica do Rio Belém (a) com densidade demográfica (b)....	59
Figura 25 – Locais com ligações clandestinas de esgoto	60
Figura 26 – Localização da ETE Belém, junto à foz do Rio belém.....	60
Figura 27 – Média mensal das vazões específicas diárias	61
Figura 28 – Curva de permanência da vazão específica do Rio Belém	61
Figura 29 – Esquema de amostragens para avaliar o uso do OD no PRRU.....	64
Figura 30 – Seção amostrada no Rio Belém (1), no decorrer de um dia	66

Figura 31 – OD médio no Rio Belémem 30.jul.14, a 5.300 metros da nascente.....	67
Figura 32 – Seções amostradas no Rio Belém (1) e no Rio Água Verde (2)	69
Figura 33 – Concentrações médias de OD nos rios Belém e Água Verde.....	70
Figura 34 – Diagrama de fluxo dos processos do PRRU	73
Figura 35 – Despejo visível no curso do rio	76
Figura 36 – Ações para redução do campo de investigação.....	77
Figura 37 – Refinamento do Perfil do rio, no trecho com queda de OD	77
Figura 38 – Levantamento de Perfil do rio afluente.....	78
Figura 39 – Diagrama detalhando o processo “identificar origem da poluição”	79
Figura 40 – Sub-processo “interpretar Perfil do rio”	80
Figura 41 – Fluxo em PVs adjacentes com aporte de água subterrânea ou pluvial (a), em condição normal (b) e com perda de efluentes (c)	80
Figura 42 – Corante amarelo aplicado ao PV ₁ , para se confirmar ponto frágil.....	81
Figura 43 – Elementos-chave na RCE agilizam a busca por pontos frágeis	82
Figura 44 – Sub-processo “analisar fluxo nos PVs da RCE”	83
Figura 45 – Bifurcação recebendo efluentes gerados nos domínios (a) e (b)	84
Figura 46 – Campo de investigação reduzido a cada elemento-chave acessado.....	85
Figura 47 – Indicações de segmentos da RCE demandando obras corretivas	85
Figura 48 – Cartão do monitoramento participativo (diâmetro de 8 cm).....	87
Figura 49 – Comunicados de voluntários do monitoramento participativo	88
Figura 50 – Entradas e saídas do sistema rio urbano	90
Figura 51 – O sistema rio urbano, para o PRRU.....	91
Figura 52 – Rio Pilarzinho e as quatro seções de rio visitadas	92
Figura 53 – Perfil do Rio Pilarzinho	93
Figura 54 – Campo de investigação e elementos-chave no Rio Pilarzinho.....	95
Figura 55 – Localização das seções visitadas na rede hídrica do Alto Belém	96
Figura 56 – Perfil do Rio Belém, levantado em diferentes campanhas	98
Figura 57 – Localização das seções de nº 74, 84 e 91, na área de estudo	99
Figura 58 – Vazões específicas nas datas dos levantamentos de Perfil do rio.....	100
Figura 59 – Fotografias do Rio Belém, antes e após o PRRU	100
Figura 60 – Simulação hipotética do surgimento de pontos frágeis na RCE.....	103
Figura 61 – Comparativo da manutenção com telediagnóstico e com o PRRU	105
Figura 62 – Croqui para notificação de ponto frágil à manutenção	117

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dimensões de Curitiba, bacia do Rio Belém e área de estudo	62
Tabela 2 - População em Curitiba, bacia do Rio Belém e área de estudo	62
Tabela 3 - Variações de OD em diferentes períodos do dia.....	67
Tabela 4 - OD medido no Rio Belém em 30.jul.14, a 5.300 metros da nascente	68
Tabela 5 – Valores de OD obtidos nas amostragens do Rio Belém.....	71
Tabela 6 – Médias diárias de OD na seção do Rio Belém	71
Tabela 7 - Valores de OD obtidos nas amostragens do Rio Água Verde.....	72
Tabela 8 - Médias diárias de OD na seção do Rio Água Verde	72
Tabela 9 - Valores médios de OD no Rio Pilarzinho, em 14/06/2014	93
Tabela 10 - Valores de OD na seção P ₁ do Rio Pilarzinho, em 14/06/2014.....	94
Tabela 11 - Valores de OD na seção P ₂ do Rio Pilarzinho, em 14/06/2014.....	94
Tabela 12 - Valores de OD na seção P ₃ do Rio Pilarzinho, em 14/06/2014.....	94
Tabela 13 - Valores de OD na seção P ₄ do Rio Pilarzinho, em 14/06/2014.....	94
Tabela 14 - Análise do perfil do Rio Pilarzinho.....	95
Tabela 15 – Evolução das campanhas do PRRU, ao longo dos anos	97
Tabela 16 - Concentrações de OD medidas no Rio Belém.....	97
Tabela 17 - Vazões específicas nas datas de levantamento de Perfil do rio	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- Transtornos causados pela urbanização desordenada.....	20
Quadro 2- Efeitos dos esgotos em corpos hídricos.....	29
Quadro 3 - Usos permitidos por classe de rio para águas doces.....	34
Quadro 4 – Parâmetros de classificação das águas doces.....	35
Quadro 5 – Materiais utilizados nas tubulações da RCE	45
Quadro 6 – Substâncias agressivas no contato com as faces dos dutos.....	48
Quadro 7 - Tecnologias dedicadas à inspeção da RCE	49
Quadro 8 – Etapas do PRRU alocadas na empresa SANEPAR	54
Quadro 9 – Convenções utilizadas no mapa de campo	74
Quadro 10 - Sinalização dos aspectos organolépticos observados no rio	75
Quadro 11 - Interpretação do binômio aspecto-OD.....	79
Quadro 12 - Análise da vazão de efluentes entre dois PVs	81

LISTA DE SIGLAS

DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DTI	Dispositivo Tubular de Inspeção
EBN	Teoria do Equilíbrio de Baixo Nível
ETE	Estação de Tratamento de Esgotos
GPS	Sistema de Posicionamento Global (<i>Global Positioning System</i>)
IDF	Índice de Desenvolvimento da Família
IQA	Índice de Qualidade da Água
IPPUC	Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba
LED	Diodo emissor de luz (<i>Light Emitting Diode</i>)
OD	Oxigênio dissolvido
PDCA	Sistema de gestão, segundo o ciclo: planejar, executar, verificar e agir
pH	Potencial hidrogeniônico
ppm	partes por milhão
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PRRU	Programa de Revitalização de Rios Urbanos
PUC	Pontifícia Universidade Católica
PV	Poço de visita
PVC	Policloreto de Vinila
RCE	Rede Coletora de Esgotos
SANEPAR	Companhia de Saneamento do Estado do Paraná
USHI	Unidade de Serviços de Recursos Hídricos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVO GERAL	19
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
2	REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1	DINÂMICA DAS ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS	20
2.2	HIDROLOGIA	22
2.2.1	Curva de Permanência	26
2.3	POLUIÇÃO DAS ÁGUAS	27
2.3.1	Parâmetros de qualidade da água	30
2.3.2	Enquadramento de corpos d'água	34
2.3.3	Autodepuração	36
2.3.4	Despoluição de rios urbanos	37
2.4	SANEAMENTO AMBIENTAL	39
2.4.1	Teoria do Equilíbrio de Baixo Nível	39
2.4.2	Esgotamento sanitário	41
2.4.3	Manutenção da rede coletora	49
2.5	PROGRAMA DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS (PRRU)	52
2.5.1	O ciclo do PRRU	54
3	MATERIAIS E MÉTODOS	57
3.1	ÁREA DE ESTUDO	57
3.1.1	Caracterização da área de estudo	58
3.2	METODOLOGIA	63
3.2.1	Descrição da metodologia do PRRU	63
3.2.2	Análise de balanço de massa para o sistema rio urbano	63
3.2.3	Análise do OD como indicador de pontos frágeis na RCE	64
3.2.4	Compilação da base de dados do PRRU	64
3.2.5	Análise dos resultados obtidos no presente trabalho	64
4	RESULTADOS	65
4.1	DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE TRABALHO DO PRRU	65
4.1.1	Premissas do PRRU	65
4.1.2	Análise da estabilidade do parâmetro OD	66
4.1.3	A metodologia do PRRU	73
4.2	BALANÇO DE MASSA DO SISTEMA RIO URBANO	90
4.3	O OD COMO INDICADOR DE PONTOS FRÁGEIS NA RCE	92
4.4	COMPILAÇÃO DA BASE DE DADOS DO PRRU	96
4.4.1	Evolução do parâmetro OD no Rio Belém	97
4.5	ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO PRESENTE TRABALHO	101
4.5.1	Fragilização da rede coletora	102
4.5.2	Indicadores do esgotamento sanitário	104
4.5.3	Integração do PRRU com as tecnologias convencionais	104
5	CONCLUSÃO	106
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108
	APÊNDICES	116

1 INTRODUÇÃO

O termo saneamento designa o conjunto de medidas destinadas a promover e preservar a saúde pública e ambiental, garantindo à população o bem-estar físico, mental e social. Abriga em si, os conceitos de saneamento ambiental e saneamento básico.

O saneamento ambiental reúne atividades técnicas e econômicas capazes de consolidar um ambiente saudável, como o abastecimento de água, a qualidade do ar e o esgotamento sanitário (MORAES; BORJA, 2005).

O saneamento básico, por sua vez, abrange o atendimento das populações com água, coleta e tratamento de esgoto, limpeza urbana e coleta de resíduos sólidos. A estes princípios, definidos por Brasil (2007), houve um recente acréscimo para que sejam incentivadas medidas em prol do fomento ao consumo moderado de água.

Parte da água que abastece uma população é transformada em efluente, o qual se configura como esgoto doméstico quando gerado em residências, comércios ou instituições. Efluentes da indústria não devem ser misturados a estes, por necessitarem tratamento específico já no local onde são produzidos. Esgotos precisam ser rapidamente afastados das áreas habitadas e receber tratamento para redução de suas características poluidoras, após o qual pode ser lançado em um corpo hídrico sem prejudicar a qualidade de suas águas.

A importância do saneamento básico é tal, que os seus indicadores costumam integrar análises acerca do desenvolvimento de localidades, regiões ou nações, referenciadas à qualidade de vida de suas populações (PROSAB, 2009). Por exemplo, Barros *et al.* (2006) emprega indicadores do saneamento básico na composição do Índice de Desenvolvimento da Família (IDF), com a dimensão “carências habitacionais” agregando dados sobre o acesso inadequado à água, ao esgotamento sanitário e à coleta de lixo.

Heller e Pádua (2006) alertam que a conquista de um ambiente salubre requer mais que a simples implantação do sistema de saneamento, mas a sua correta instalação, bem como uma gestão pautada em rotinas de manutenção, capazes de combater vazamentos na Rede Coletora de Esgotos (RCE).

Ao fluir na superfície ou no subsolo, os esgotos estabelecem trajetórias de poluição e contaminação, acabando por atingir, invariavelmente, um corpo hídrico. O

aporte de efluentes nas águas de rios e lagos implica no aumento da oferta de nutrientes, em especial a matéria orgânica, consumida por microrganismos, ao custo do consumo gradativo do Oxigênio Dissolvido (OD) na água. Enquanto durar este processo, a disponibilidade do oxigênio vai sendo reduzida a ponto de afetar a sobrevivência de peixes e anfíbios, desequilibrando o ecossistema e convertendo o rio em uma fonte de contaminação por doenças de veiculação hídrica.

Estudos decorrentes do recenseamento nacional realizado pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) apontam o saneamento básico como um fator crítico à promoção da qualidade ambiental e social no Brasil. Os efeitos de sua falta se fazem sentir principalmente nos rios que passam por zonas urbanas e industriais. Suas águas refletem os danos causados pelos esgotos de áreas ocupadas a montante, que superam os benefícios das ações já realizadas para controlar e reduzir as fontes poluidoras. A contaminação promovida por efluentes de origem doméstica e industrial já afeta a disponibilidade da água de qualidade para o abastecimento público, encarecendo o seu tratamento (IBGE, 2010b).

O esgotamento sanitário conquista melhorias ambientais, mediante a instalação da RCE, um sistema especialmente projetado para afastar os esgotos produzidos nas áreas habitadas. Todavia, trata-se de uma estrutura passível a desgaste e fadiga, sujeita a efeitos deletérios que propiciam o surgimento de pontos frágeis, singularidades na estrutura da RCE, por onde pode se dar a perda de efluentes.

A universalização dos serviços de saneamento é uma meta especialmente desafiadora em um país como o Brasil, em que as cidades vivenciam um movimento persistente de expansão urbana. A criação de novos espaços urbanos nem sempre é coerente com um desejável desenvolvimento integrado, como por exemplo, uma direção preferencial de ocupação, em que as infraestruturas de saneamento acompanhem o passo das obras viárias e habitacionais, dentre outras.

A expansão urbana acaba por impor aos gestores do sistema de esgotamento sanitário, a necessidade de ampliar o sistema para que o esgoto seja coletado também nestas novas áreas, em benefício desta população e também dos índices oficiais de atendimento por coleta de esgoto. Tais esforços, todavia, correm o risco de minar o zelo pela qualidade das estruturas coletoras já existentes, legando a rede a um perene esforço, desgaste e fadiga. Há que se considerar ainda que ao se ampliar a rede coletora, amplia-se também a demanda por manutenção.

Não havendo manutenção preventiva adequada, os pontos frágeis podem se assomar e levar o sistema a um momento de crise, acometido por tensões e vibrações causadas por agentes externos, como obras civis e de urbanização, bem como desgastes pela ação corrosiva do esgoto e a acidez do solo. Os resultados de ações corretivas já não seriam suficientes para identificar e sanar problemas crônicos em uma estrutura oculta no subsolo.

Para sanar pontos frágeis, é preciso antes localizá-los, uma tarefa nada simples por estarem ocultos à visualização direta. Não sendo localizados, permanecem e podem descartar efluentes, os quais acabam atingindo aquíferos e corpos hídricos, notadamente os rios urbanos.

Tecnologias convencionais são aplicadas à manutenção preventiva e corretiva a fim de se localizar pontos frágeis na RCE, identificando fissuras, desníveis, desalinhamentos e buracos, antes mesmo que ocorram vazamentos. Seu modo de operação requer o acesso ao interior das tubulações, demandando esforços e tempos significativos.

O presente trabalho introduz o Programa de Revitalização de Rios Urbanos (PRRU), um método alternativo à localização de pontos frágeis a um mínimo contato com a estrutura da RCE, dispensando o acesso ao interior dos dutos. Seu recurso básico é o rio, o qual fornece evidências de eventos poluidores e orienta a sua localização, nas campanhas de manutenção corretiva.

O método do PRRU identifica os principais aportes de carga orgânica no rio, por meio do aspecto visual e olfativo e a concentração de oxigênio dissolvido em suas águas. Diagnosticados os efeitos, procede-se a localização das causas, sejam estas devidas a edificações não conectadas à rede coletora ou a eventuais pontos frágeis na estrutura coletora, além de outras possibilidades.

O PRRU localiza os principais eventos poluidores na bacia hidrográfica do rio urbano, empregando como equipamento somente o oxímetro. Como resultado, tem-se a identificação e correção de eventos poluidores, uma maior efetividade das soluções de esgotamento sanitário na bacia e melhor qualidade operacional da rede coletora e menor poluição hídrica.

A integração do Programa às tecnologias convencionais cria oportunidades para se estabelecer novos arranjos estratégicos para a manutenção de redes coletoras, potencializando-se os diferenciais de cada uma das tecnologias envolvidas.

1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a metodologia de diagnóstico e de apoio à manutenção de rede coletora de esgotos utilizada pelo Programa de Revitalização de Rios Urbanos, por meio de análises das condições ambientais dos rios urbanos.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- I. Descrever a metodologia de apoio à manutenção da rede coletora de esgoto, a partir da definição das premissas e dos conceitos que norteiam o PRRU;
- II. Analisar o balanço de massa do rio urbano, sob a óptica do PRRU;
- III. Investigar a validade do OD no rio como indicador de problemas na rede coletora, a partir de um estudo de caso, na bacia hidrográfica do Rio Belém, Curitiba, Paraná, Brasil;
- IV. Apresentar resultados já obtidos pelo PRRU na bacia do Rio Belém;
- V. Analisar os resultados alcançados no presente trabalho, identificando os pontos fortes e fracos da metodologia do Programa.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 DINÂMICA DAS ÁREAS URBANAS BRASILEIRAS

Rossi (2006) descreve o fato urbano como resultante da intenção primordial do ser humano em criar ambientes favoráveis ao seu viver, formando comunidades que demandam regulação e planejamento.

A infraestrutura urbana é exigida para adequar as cidades ao desenvolvimento econômico e à ascensão social. Mas parcelas expressivas da população mundial não têm acesso à água tratada ou esgotamento sanitário, poluindo o meio ambiente e minando os esforços por uma economia próspera e uma sociedade feliz (ONU HÁBITAT, 2014).

O Brasil apresenta uma dinâmica urbana de crescimento rápido e pouco planejado, formando quadras, ruas e condomínios horizontais e verticais, sob a égide de um desenvolvimento econômico que se mostra mais veloz que o controle do Poder Público (PINTO, 2003; AQUINO, 2011).

A urbanização desordenada dificulta a consolidação da infraestrutura básica, potencializando transtornos de ordem social e ambiental, como mostra o Quadro 1.

Causador	Transtornos
Impermeabilização do solo	Pavimentos impermeáveis sobrecarregam a drenagem urbana, elevando o nível das cheias. Superfícies construídas absorvem maior energia solar, contribuindo ao fenômeno das ilhas de calor nos centros urbanos (SUDERHSA, 2002).
Superfícies desmatadas	Solos desprovidos de cobertura vegetal liberam sedimentos que assoreiam os corpos hídricos, elevando sua calha de escoamento e favorecendo inundações (SUDERHSA, 2002).
Falta de Saneamento	Esgoto a céu aberto e próximo às habitações criam ambientes favoráveis a vetores de doenças (PINTO, 2003).
Ocupação irregular	Avanço urbano em áreas de mananciais e domínios de recarga de aquíferos, contaminando águas de abastecimento e comprometendo a sustentabilidade hídrica das cidades (PINTO, 2003).
Ocupação desordenada	Expansão urbana excessiva, com ônus ao orçamento público. Habitações em áreas de risco ameaçadas por encostas instáveis ou enchentes (PINTO, 2003).
Ausência de áreas de lazer e equipamentos públicos	Jovens expostos às drogas, com riscos de serem arregimentados pelo tráfico, dada a inexistência de atrativos culturais e esportivos (SEMPLA, 2008).
Ligações clandestinas de energia elétrica	Encarecimento da tarifa. Riscos de acidentes e incêndios (PINTO, 2003).
Sistema viário desarticulado	Difícil acesso a ônibus, viaturas oficiais e caminhões de coleta de lixo (PINTO, 2003).

QUADRO 1- TRANSTORNOS CAUSADOS PELA URBANIZAÇÃO DESORDENADA.
 FONTE: Adaptado de Pinto (2003), Suderhsa (2002), Sempla (2008)

Os transtornos citados no Quadro 1 deterioram a qualidade de vida da população e potencializam a deterioração da qualidade dos rios urbanos, efeitos que poderiam ser evitados com um planejamento urbano interdisciplinar (SUDERHSA, 2002).

A falta de controle urbano é tal que chega a haver edificações erguidas à revelia do Poder Público com ligação oficial às redes de distribuição de água e energia. Imóveis assim regularizados consolidam apêndices urbanos dotados de infraestruturas e equipamentos públicos inadequados, precários ou arruinados, quando existem (PINTO, 2003).

Na ausência de condições adequadas, os moradores improvisam arremedos de saneamento que confirmam algum conforto, como o descarte de efluentes em fossa séptica ou em um corpo hídrico adjacente, acarretando problemas de ordem ambiental e sanitária (CAMARGO; AMORIM, 2005).

Por outro lado, áreas urbanas sob um crescimento controlado possibilitam melhor organização do espaço e domínio das questões ambientais e sanitárias. Desta forma, as cidades brasileiras seriam beneficiadas pelo crescimento reduzido da população identificado por Alves e Cavenaghi (2010) no último recenseamento do IBGE, revelador de um novo padrão demográfico para o Brasil, caracterizado por:

- Queda nas taxas de fecundidade;
- Redução na participação percentual de crianças e jovens;
- Prolongamento da vida média das pessoas;
- Crescimento da população economicamente ativa.

Tais fatores sinalizam que o Brasil vivencia o bônus demográfico, quando a população economicamente ativa de um país já não possui tantas crianças para educar, nem muitos idosos para cuidar. Com mais trabalhadores do que dependentes, eleva-se a renda das famílias, impulsionando os níveis de consumo e a produção industrial. O suporte financeiro para o consumo das famílias reflete na aquisição de bens duráveis, como moradias em melhor padrão e localização, aquecendo o mercado imobiliário (PESSÔA, 2012).

Se por um lado os indicadores demográficos citados por Alves e Cavenaghi (2010) apontam para a manutenção da dinâmica urbana atual, parecem faltar parâmetros que apoiem uma ocupação planejada e criteriosa. A forte demanda por um sistema de esgotamento sanitário que acompanhe o crescimento urbano drena os recursos necessários à manutenção das redes da coleta de esgotos já existentes.

A dinâmica de uma área urbana em crescimento é caracterizada por movimentos de expansão – avanço da área urbana sobre a zona rural - e de adensamento – aumento da densidade demográfica nas áreas já pertencentes ao domínio urbano (REANI, 2012).

O adensamento se dá tanto pela ocupação de áreas livres no interior da trama urbana, como terrenos baldios ou bosques, quanto pela verticalização, com edifícios substituindo edificações menores (REANI, 2012). Tanto os fenômenos de expansão como de adensamento implicam no incremento populacional e na ampliação da demanda de água tratada e da coleta e tratamento de esgotos.

Ao avaliar propostas de expansão e aumento da densidade populacional, a administração pública leva em conta a disponibilidade da infraestrutura básica de rede coletora, água, luz, telefone e gás, mas geralmente supondo que tais redes estejam subutilizadas e admitam maior aporte. Não havendo uma verificação em campo ou consulta às cargas de projeto, estas podem vir a ser suplantadas, o que é particularmente nocivo ao bom funcionamento das estruturas da RCE (TONETTI, 2011).

2.2 HIDROLOGIA

Collischonn e Dornelles (2013) definem hidrologia como a ciência que estuda a dinâmica da água no planeta Terra. Conhecimentos da hidráulica, da física e da estatística são empregados na análise do ciclo hidrológico, buscando-se descrever e quantificar suas componentes.

De acordo com IHP (2006), o ciclo hidrológico pode ser entendido, de forma simplificada, como um modelo descritivo dos movimentos naturais de armazenagem e circulação da água nos compartimentos da biosfera, atmosfera, litosfera e hidrosfera.

Conforme ilustrado na Figura 1, Tucci (1998) descreve o ciclo das águas iniciado pela incidência do sol no planeta Terra, aquecendo sua atmosfera e superfície. As águas superficiais aquecem e são transformadas em vapor d'água, que em altitudes elevadas forma as nuvens. Em condições atmosféricas específicas, ocorre a precipitação, com a chuva trazendo a água de volta à superfície. O volume precipitado pode ser interceptado pela vegetação ou atingir a superfície, na qual tem a possibilidade de infiltrar no solo ou deslocar-se na forma de escoamento superficial.

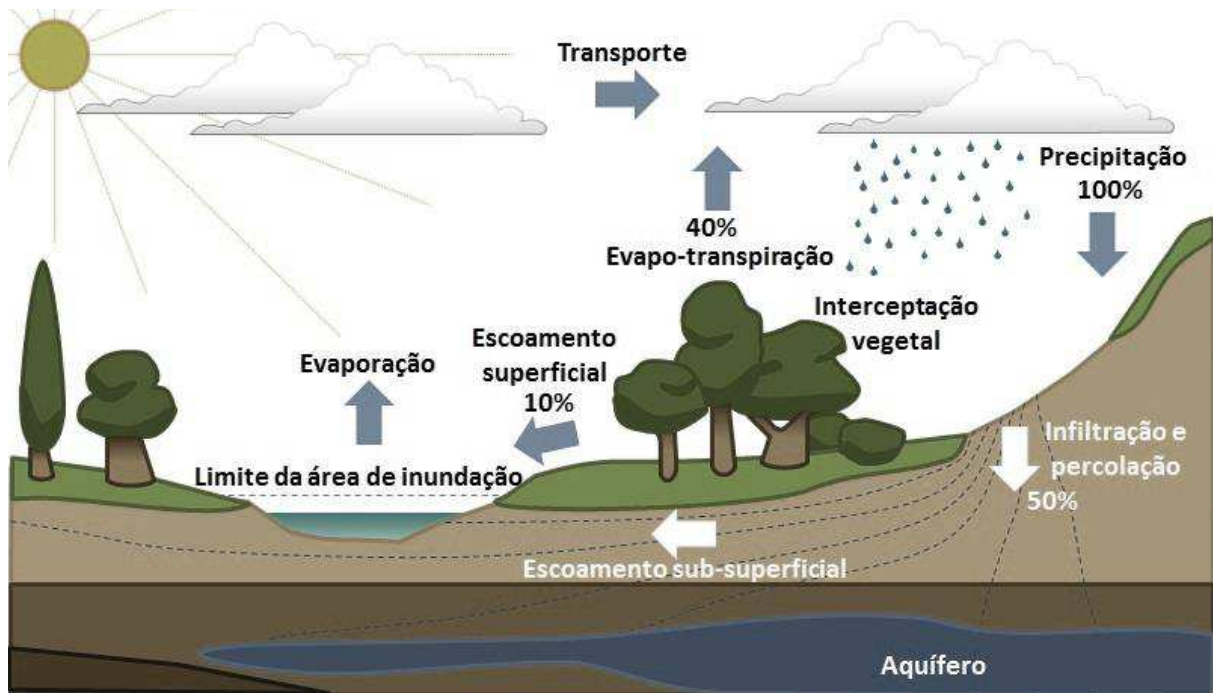


FIGURA 1 - ESQUEMA BÁSICO DE FUNCIONAMENTO DO CICLO HIDROLÓGICO
 FONTE: Adaptado de Tucci (1998) e Collischonn e Dornelles (2013)

Segundo Collischonn e Dornelles (2013), o ciclo hidrológico regula os balanços de entrada e saída da água na bacia hidrográfica, com a chuva respondendo pela principal entrada, afetando diretamente o volume e a vazão dos rios, mediante um dos seguintes comportamentos:

- Infiltração e percolação: a água adentra o solo, percolando nos intermeios dos grãos de argila, areia e silte, podendo recarregar aquíferos profundos ou movimentar-se próximo à superfície, por escoamento sub-superficial. Nesta forma, estimada por Tucci (1998), 50% do volume da chuva alimenta o freático, os rios, os lagos e a vegetação, pela absorção das raízes;
- Escoamento superficial: maiores volumes de chuva levam as camadas superiores do solo à saturação. Impedida de infiltrar, a água escoar pela superfície, em um movimento estimado por Tucci (1997) como abrangendo 10% das chuvas;
- Evaporação: água evaporada de rios e lagos, sob o efeito do aquecimento promovido pela incidência dos raios solares, ascendendo na atmosfera na forma de vapor d'água;
- Evapotranspiração: a água absorvida pelas raízes das plantas é liberada no processo de fotossíntese das folhas. Este movimento é responsável por devolver à atmosfera aproximadamente 40% da água precipitada, juntamente com a evaporação e a interceptação pela vegetação.

A vazão dos rios, denominada *runoff*, corresponde ao volume de água que flui por uma dada seção do rio, na unidade de tempo. Este volume é regulado pelo balanço hídrico na bacia, atingindo valor máximo por ocasião de chuvas intensas, quando o nível d'água alcança o limite da área de inundação na linha pontilhada da Figura 1.

Em períodos de estiagem, a vazão dos rios é mantida pelo escoamento de base, regulado pelo nível freático (escoamento sub-superficial na Figura 1). Sem o aporte das águas das chuvas, a vazão dos rios passa a drenar a água que foi acumulada no subsolo, durante as estações chuvosas.

Salati *et al.* (2002) e Collischonn e Dornelles (2013) afirmam que o desmatamento e a urbanização afetam o balanço hídrico, alterando as componentes do ciclo hidrológico e, por conseguinte, influenciando na disponibilidade da água na bacia hidrográfica.

Conforme Tucci e Mendes (2006) e IHP (2006), áreas urbanizadas interferem no balanço hídrico da bacia hidrográfica, redimensionando as componentes do ciclo hidrológico, que passam a formar o ciclo urbano das águas, conforme mostra a Figura 2. Os percentuais, informados por Tucci (1998), podem variar em função de relevo, clima local, estação do ano e proporção entre áreas construídas e naturais, além de outros fatores.

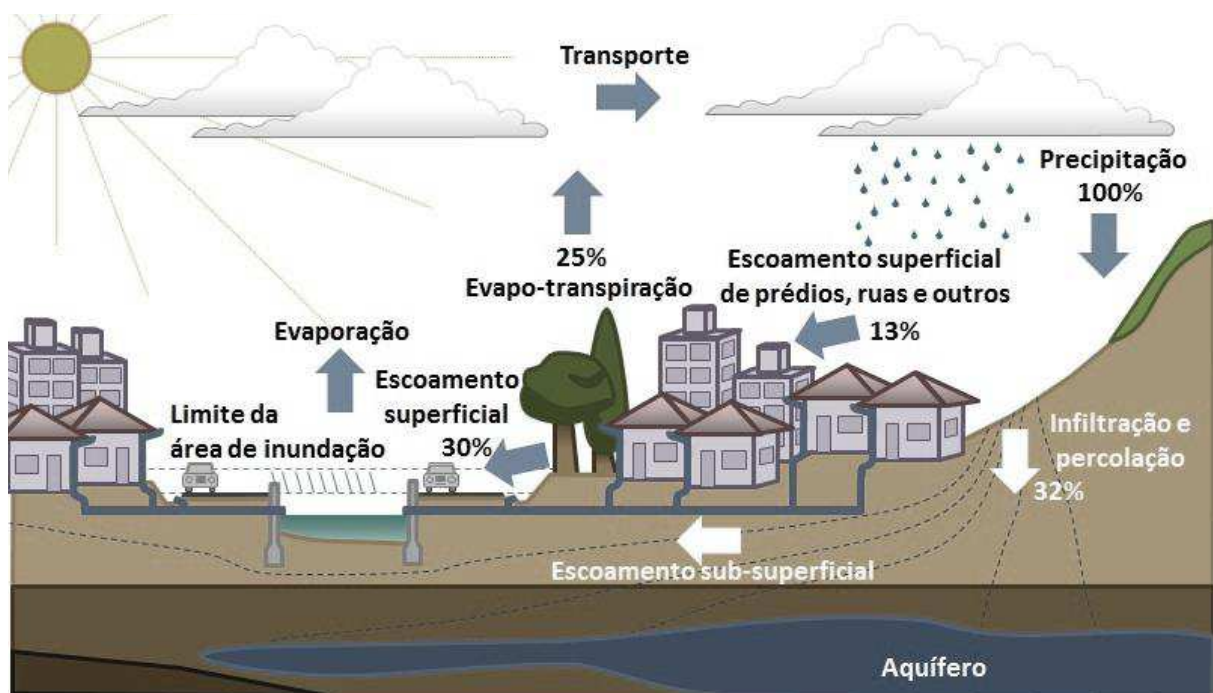


FIGURA 2 - CICLO HIDROLÓGICO EM BACIA URBANIZADA
 FONTE: Adaptado de Tucci (1998) e Suderhsa (2002)

IHP (2006) afirma que a conversão de áreas naturais em urbanas deflagra alterações nos fluxos de energia, na circulação do ar e no balanço hídrico. Collischonn e Dornelles (2013) apontam que os solos se tornam impermeáveis, diminuindo a infiltração, rebaixando o nível freático e sobrecarregando o escoamento superficial. As águas passam a se deslocar mais rapidamente até o rio, elevando o nível das cheias (faixa hachurada na Figura 2) e provocando enchentes.

A formulação de soluções aos desafios do ciclo hidrológico passa pelo conhecimento de que suas componentes terrenas se desenvolvem no espaço delimitado pela bacia hidrográfica. Tucci (1997) define a bacia hidrográfica como o domínio geográfico em que as águas da chuva escoam por gravidade para o rio, convergindo para um ponto único, denominado exutório, que é a seção do rio por onde as águas deixam a bacia hidrográfica.

De acordo com Collischonn e Dornelles (2013), os limites de uma bacia hidrográfica correspondem a todo divisor de águas a montante do exutório. O espaço geográfico da bacia hidrográfica requer a definição do exutório no curso d'água principal, a partir do qual são delineados os divisores de água (Figura 3).

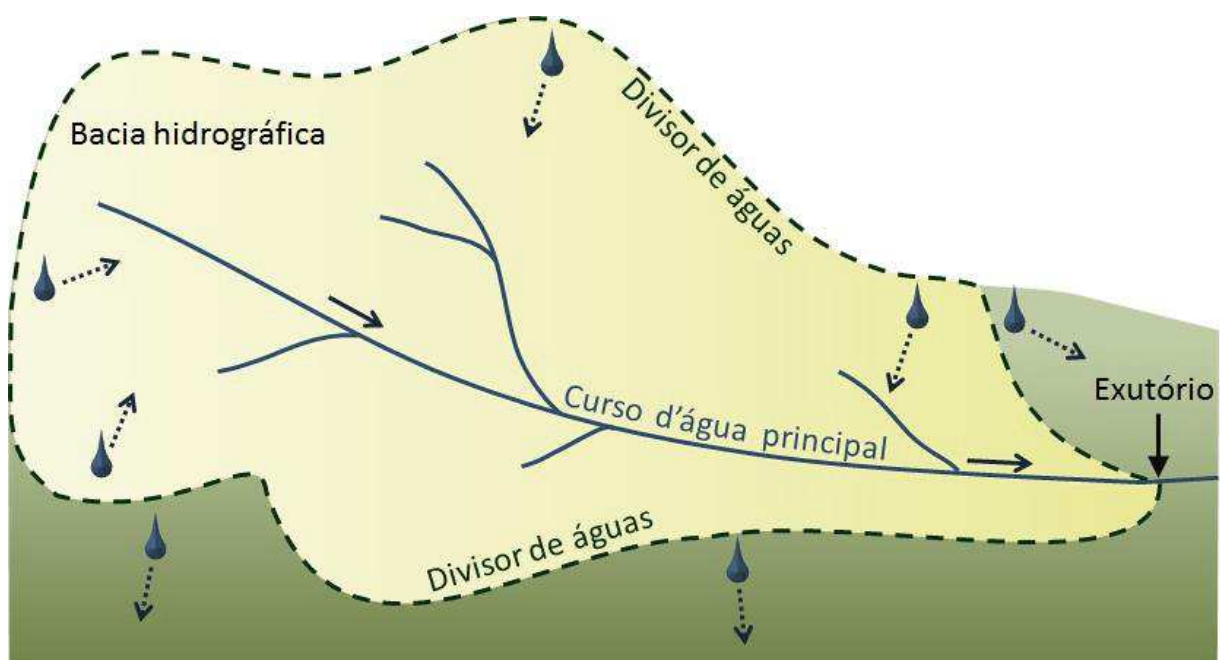


FIGURA 3 – ESQUEMA CONCEITUAL DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA
 FONTE: Adaptado de Collischonn e Dornelles (2013)

Collischonn e Dornelles (2013) citam que *‘o tamanho ideal de bacia hidrográfica é aquela que incorpora toda a problemática de interesse’*, significando ser possível definir uma bacia hidrográfica de dimensões adequadas ao problema que se pretende analisar. Para tanto, basta reposicionar o exutório.

A bacia hidrográfica é definida por Brasil (1997) como a unidade adequada à análise, planejamento e gestão das atividades humanas. Porto e Porto (2008) afirmam que a análise das águas no exutório é capaz de revelar um perfil de poluição coerente com as atividades humanas que se desenvolvem no interior da bacia hidrográfica.

O movimento das águas até o exutório é explicado por Collischonn e Dornelles (2013) como função dos fatores morfométricos da bacia hidrográfica, os quais regem o comportamento das águas e são a chave de como os rios respondem às chuvas. Destacam-se:

- área de drenagem: região definida pela bacia hidrográfica, na qual é captada a água da chuva;
- amplitude altimétrica: diferença de cotas entre o ponto mais alto e o mais baixo da bacia. Determina a energia potencial máxima com que a água escoar pela superfície, afetando sua velocidade e efeitos erosivos;
- declividade da drenagem principal: a declividade média da bacia e do rio principal afetam o tempo de deslocamento da água ao longo da bacia;
- tempo de concentração: tempo em que uma gota de água percorre a maior extensão da bacia hidrográfica, de o seu ponto mais remoto até o exutório.

2.2.1 Curva de Permanência

Conforme Collischonn e Dornelles (2013), a curva de permanência é uma das análises estatísticas mais importantes em hidrologia. Construída com base nas vazões medidas em um rio, resulta no histograma de frequência de vazões, revelando, para uma dada vazão:

- a probabilidade de sua recorrência;
- a probabilidade do risco de eventos extremos;
- a percentagem de tempo em que há vazões superiores ou inferiores.

Os mesmos autores explicam que a curva de permanência de um rio é obtida relacionando-se os registros históricos de vazão à frequência com estes podem ser igualados ou excedidos, em percentis de 1 a 99%.

Segundo Paiva e Paiva (2001), a curva de permanência costuma apresentar inflexões, as quais distinguem segmentos denominados:

- “extremo superior”, associado ao comportamento das vazões máximas;

- “trecho médio”, referente às vazões dominantes;
- “extremo inferior”, relacionado ao comportamento do rio na estiagem.

A Figura 4 exibe a curva de permanência do Rio Jaracatiá, no município Enéas Marques, Paraná, com série histórica iniciada em 25 de setembro de 1997. Esta curva revela que a vazão de 16 m³/s é igualada ou excedida em 9,7% do tempo (a), enquanto vazões iguais ou inferiores a 4 m³/s ocorrem em 68,4% do tempo (b).

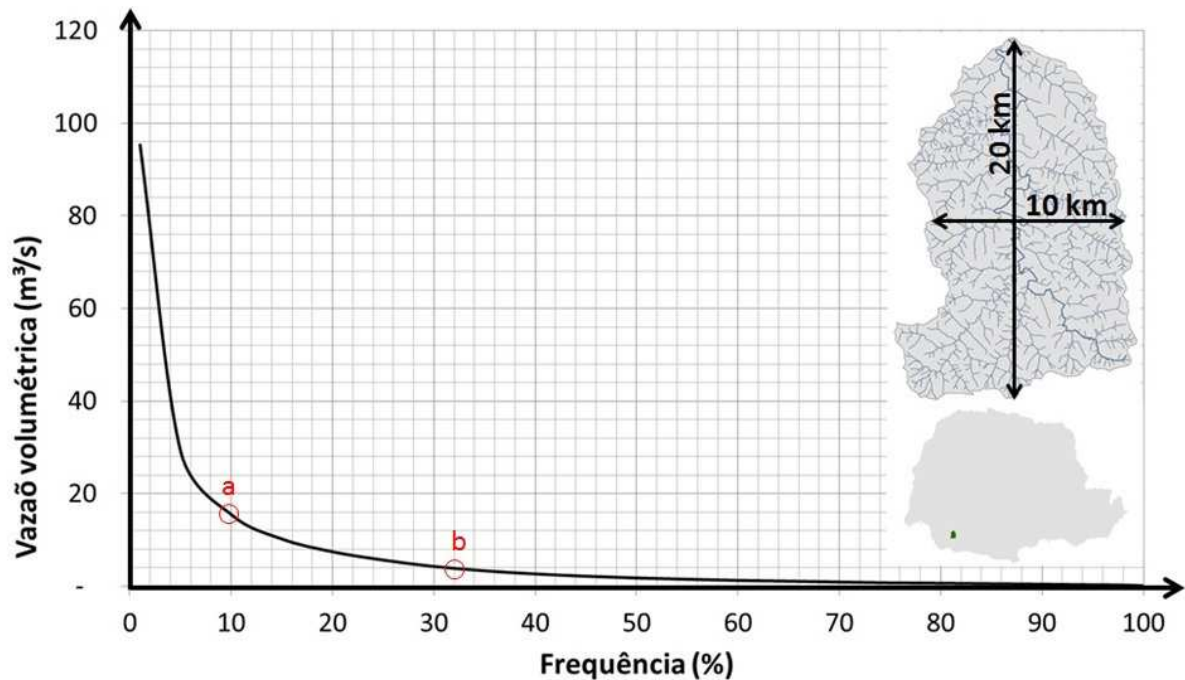


FIGURA 4 – CURVA DE PERMANÊNCIA DO RIO JARACATIÁ, COM VAZÕES MEDIDAS NA ESTAÇÃO FLUVIOMÉTRICA 65970320 EM S 25° 48' 30", W 53° 10' 37", ENÉAS MARQUES-PR
 FONTE: Adaptado de Aguasparaná (2014a), Collischonn e Dornelles (2013)

Curso d'água desprovidos de estação fluviométrica podem ter suas vazões estimadas por meio da vazão específica, conceito hidrológico explicado por Paiva e Paiva (2001) como a razão matemática entre a vazão do rio e a área da bacia.

2.3 POLUIÇÃO DAS ÁGUAS

Abastecido pelas chuvas, o rio segue seu curso, seguindo por ambientes naturais, agrícolas e urbanos, recebendo a contribuição de diversas cargas poluidoras. A fonte de poluição pontual (Figura 5-a) concentra o despejo poluidor em um único ponto, como a descarga dos esgotos gerados por toda uma comunidade. A difusa (Figura 5-b), por sua vez, dispersa a poluição, como agroquímicos aspergidos às plantações e carreados no solo pelas chuvas até atingirem os corpos hídricos (SALATI *et al.*, 2002; VON SPERLING, 2009).

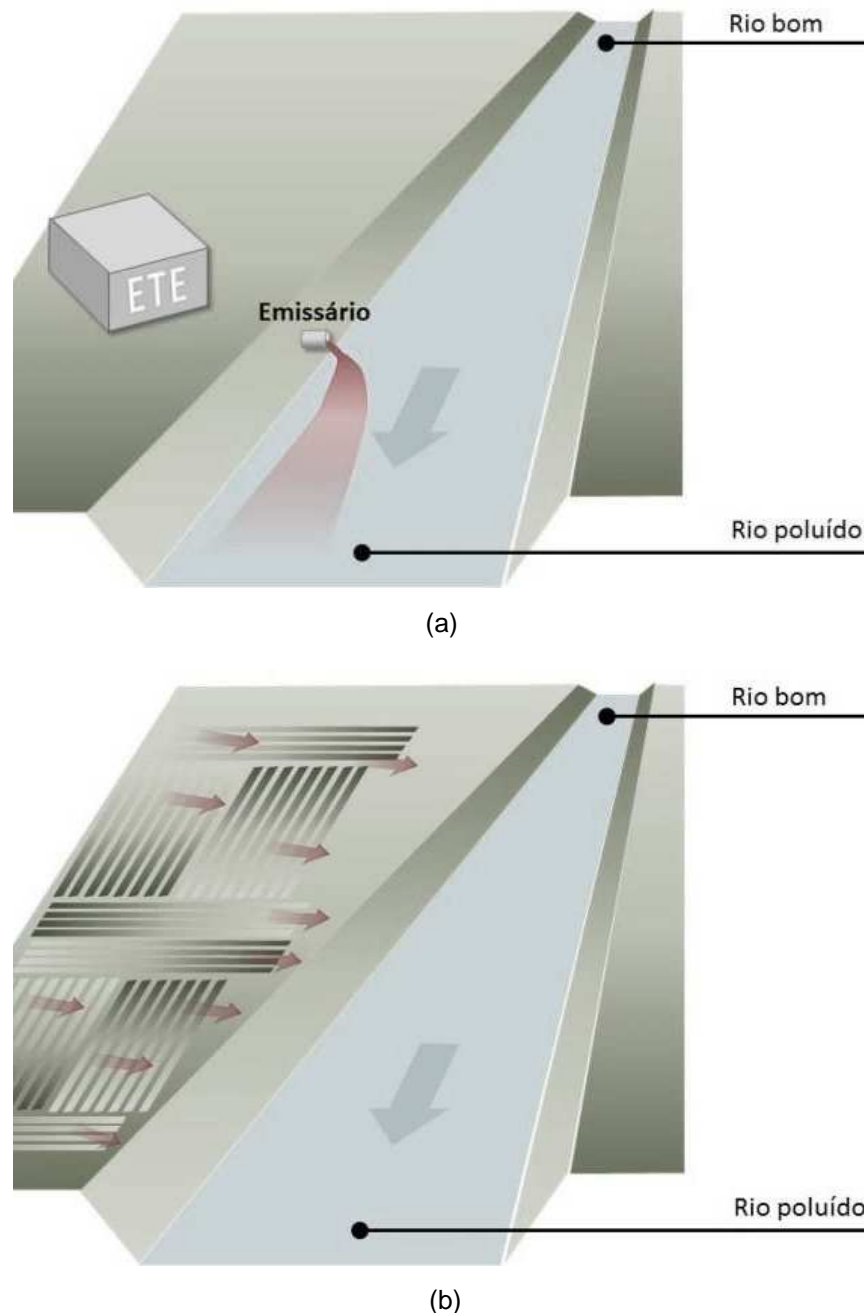


FIGURA 5 – FORMAS DE POLUIÇÃO DAS ÁGUAS: PONTUAL (a) E DIFUSA (b)
 FONTE: Adaptado de Von Sperling (2009)

A poluição pontual é passível de algum controle, desde que sua existência seja conhecida. O mesmo não se pode dizer da poluição difusa, pois suas várias fontes de origem dificultam o controle. O arraste de poluentes pelas chuvas em superfícies urbanas e rurais exemplifica essa dificuldade (SALATI *et al.*, 2002; ZAHED FILHO *et al.*, 2011).

Rebouças (2002) destaca a importância de se controlar as fontes de poluição, a fim de evitar prejuízos à qualidade e quantidade da água disponível, potencializados por oscilações no regime das chuvas.

Uma das principais fontes de poluição das águas é o esgoto sanitário, definido por ABNT (1986, p.1) como o “*despejo líquido constituído de esgotos doméstico e industrial, água de infiltração e a contribuição pluvial parasitária*”.

O esgoto doméstico é gerado em banheiros, cozinhas e áreas de serviço de residências, comércios e instituições, podendo conter excreções, papel, restos de comida, detergentes ou sabão, coletados e conduzidos pelas tubulações da RCE (JORDÃO; PESSÔA, 2011).

De acordo com Nuvolari (2011), o esgoto doméstico contém 99,87% de água, motivo pelo qual se considera que o esgoto possua as mesmas propriedades físicas da água, apresentando um regime de escoamento similar ao da água.

Os 0,13% restantes são atribuídos por Nuvolari (2011) a sólidos sedimentáveis (0,04%), não sedimentáveis (0,02%) e substâncias dissolvidas (0,07%). Em sua composição, Von Sperling (2009) destaca a presença de matéria orgânica, nutrientes, metais e microrganismos (patogênicos, inclusive). A matéria orgânica, biodegradável ou não, é apontada por ele como o principal agente poluidor dos corpos hídricos, reduzindo a disponibilidade de OD nas águas.

Os efeitos de esgotos lançados em corpos hídricos são descritos por Von Sperling (2009) em termos dos componentes exibidos no Quadro 2.

Poluente	Efeito
Sólidos suspensos	causam turbidez e formam lodo no fundo dos rios, criando um ambiente favorável a patógenos. Prejudicam o aspecto visual da água.
Matéria orgânica biodegradável	alimentam microrganismos, promovendo reduções no OD, dificultando a sobrevivência dos peixes.
Nutrientes (nitrogênio e fósforo)	alimentam algas, que produzem substâncias tóxicas a peixes (como a amônia) e a bebês recém-nascidos (como o nitrato). Poluem águas subterrâneas.
Patógenos (coliformes)	promovem doenças de veiculação hídrica.
Matéria orgânica não biodegradável	pesticidas, detergentes e fármacos, tóxicos à saúde humana. Alguns tipos de detergentes dificultam a troca de oxigênio entre a água e a atmosfera, com prejuízo à aeração do ambiente aquático.
Metais pesados	tóxicos à saúde humana, poluem as águas.
Sólidos inorgânicos dissolvidos	alguns tipos são tóxicos a plantas.

QUADRO 2- EFEITOS DOS ESGOTOS EM CORPOS HÍDRICOS

FONTE: Adaptado de Von Sperling (2009)

Conforme Von Sperling (2009), a produção de esgoto doméstico corresponde a 80% do volume de água fornecido à unidade consumidora, coletados

pela RCE (Equação 1). O restante escoar na rede pluvial, infiltra no solo ou evapora. Esta proporção de 0,8 é conhecida como Coeficiente de Retorno (R), aplicável a todo domínio urbano, para se estimar o volume de esgoto produzido pela sua população.

$$R = \frac{\text{vazão de esgotos}}{\text{vazão de água tratada}} \cong 0,8 \quad (1)$$

Piveli (2006) ressalta que a produção de esgotos varia de região para região e conforme o poder aquisitivo local. Todavia, adota-se 160 L/habitante.dia como valor de referência na produção de esgotos, referente a 80% de um consumo típico de água na ordem de 200 L/habitante.dia.

2.3.1 Parâmetros de qualidade da água

A água, como encontrada na natureza, possui diversas substâncias dissolvidas. Sua qualidade é avaliada por fatores físicos, químicos e biológicos, mediante a coleta de amostras, analisadas em laboratório por métodos padronizados. Dentre as características físicas, Braga *et al.* (2002) cita cor, turbidez, odor e sabor:

- Cor: causada por substâncias em solução, como as orgânicas;
- Turbidez: devida a partículas em suspensão e microrganismos;
- Odor e sabor: ocasionados por matéria orgânica em decomposição, poluentes industriais ou algas, dentre outras possibilidades.

As análises qualitativas integram aspectos perceptivos, relacionados à capacidade sensorial humana, sendo denominados organolépticos quando avaliados sem o auxílio de equipamentos, como o sabor e o odor. Bollmann e Edwiges (2006) destacam esse tipo de análise como importantes e complementares às análises quantitativas. Todavia, poucos programas de monitoramento da qualidade das águas no Brasil incluem análises perceptivas.

Os mesmos autores afirmam que a integração de parâmetros perceptivos e organolépticos às análises físico-químicas e biológicas, possibilita reduzir incertezas inerentes aos processos de aferição da qualidade das águas. Análises perceptivas e quantitativas realizadas em conjunto reforçam o conhecimento de que, de forma geral, a qualidade das águas dos rios é prejudicada nos trechos com atividade antrópica mais intensa.

A qualidade dos principais corpos hídricos no interior do país é avaliada pelo IBGE mediante um Índice de Qualidade da Água (IQA) formado pelos parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), temperatura, pH, OD, quantidade de coliformes fecais, nitrogênio/nitrato total, fósforo/fosfato total, resíduo total e turbidez. Destacam-se os parâmetros DBO e OD, associados ao processo de autodepuração dos rios (IBGE, 2010b).

A DBO é definida por Ferreira *et al.* (2008), como a quantidade de oxigênio consumido no processo de decomposição da matéria orgânica.

A análise de DBO consiste em manter uma amostra de água incubada a 20°C, aguardando a decomposição da matéria orgânica ali presente, durante 5 dias. Ao término deste período, mede-se a quantidade de oxigênio que se demandou na decomposição da referida matéria orgânica.

Conforme o IBGE (2010b), a “DBO evidencia lançamentos de esgotos domésticos na água”. Quanto maior a DBO, mais oxigênio será necessário para se degradar a carga orgânica destes esgotos.

O OD, por sua vez, tem papel determinante na vida aquática, por ser o principal elemento no metabolismo dos microrganismos aeróbios, os principais decompositores de poluentes orgânicos no meio líquido. O OD é, portanto, essencial para a autodepuração dos corpos hídricos (FERREIRA *et al.*, 2008).

As taxas de OD sofrem reduções quando se introduz uma quantidade considerável de matéria orgânica na água, em decorrência de atividades biológicas que se apropriam do oxigênio. Desta forma, as concentrações de OD são indicativas de maior ou menor ocorrência de poluição na água (FIORUCCI; BENEDETTI-FILHO, 2005).

Celligoi (1999) cita a análise do OD nas águas, como um teste-chave na detecção de cargas orgânicas, devidas às relações de efeito-causa estabelecidas entre ambos.

Piveli (2006) afirma que para um corpo hídrico no Brasil, a taxa média de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica, por habitante, situa-se entre 54 e 100 gO₂/habitante.dia.

De acordo com Fiorucci e Benedetti-Filho (2005) o OD é influenciado por mais fatores além da poluição, como a aeração natural, ocorrida no contato entre a superfície da água e a atmosfera. Esta aeração é favorecida pela turbulência devida a desníveis na calha do rio, correntezas e corredeiras.

USGS (2011) explica na Equação 2 as variações na solubilidade do OD, determinadas em relação à água fresca (DO_o) e corrigidas pela salinidade (F_s) e pressão (F_p). Quando em água fresca, F_s e F_p têm valor unitário, significando 0‰ de salinidade e 1 atm de pressão. A Equação 2 é aplicável a temperaturas de 0 a 40°C, salinidade de 0 a 40‰ e pressão de 0,5 a 1,1 atm.

$$[DO] = DO_o \cdot F_s \cdot F_p \quad (2)$$

Sendo:

DO - solubilidade do oxigênio dissolvido, em mgO_2/L ;

DO_o - solubilidade do oxigênio dissolvido em água fresca, em $mg O_2/L$;

F_s - fator de correção da salinidade, adimensional;

F_p - fator de correção de pressão, adimensional.

O mesmo autor afirma que a solubilidade do OD é função da temperatura e da salinidade (Figura 6), bem como da pressão e da altitude (Figura 7).

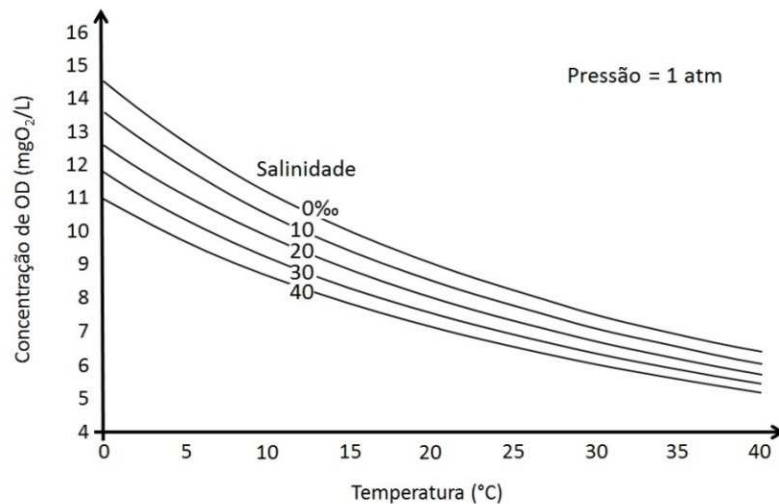


FIGURA 6 – VARIAÇÕES NO OD COM TEMPERATURA E SALINIDADE, EM PRESSÃO DE 1 ATM
 FONTE: Adaptado de USGS (2011)

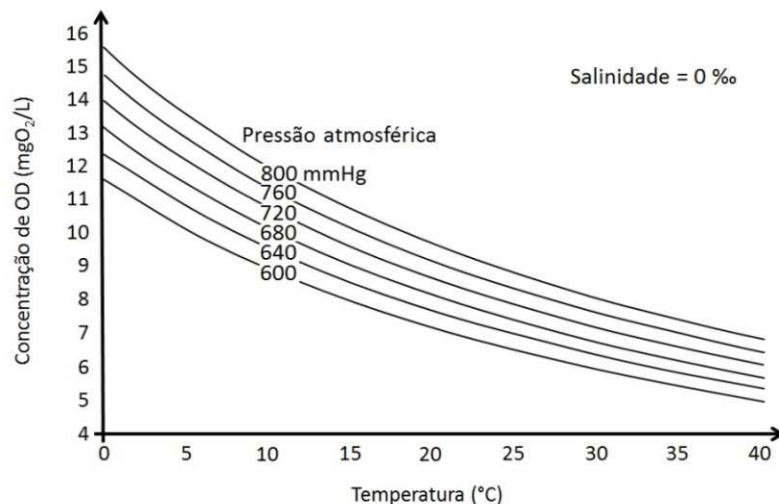


FIGURA 7– VARIAÇÕES NO OD COM TEMPERATURA E PRESSÃO, COM SALINIDADE EM 0‰
 FONTE: Adaptado de USGS (2011)

Conforme as Figuras 6 e 7, a solubilidade do OD aumenta com a pressão e reduz com a salinidade e a temperatura, motivo pelo qual a saturação do oxigênio é menor nas altitudes mais elevadas, em relação ao nível do mar.

A concentração de OD é expressa em mgO₂/L, podendo ser medida por métodos como os citados por Ferreira et al. (2008): manométrico (variações em volume ou pressão), químico (método de Winkler), eletroquímico (baseado em sinais elétricos) e óptico (intensidade luminosa associada à presença de oxigênio).

Segundo o mesmo autor, as sondas eletroquímicas são as mais utilizadas e atuam por métodos de polarografia, voltametria e amperometria. O método de Winkler, por sua vez, constituído de diversas fases, requer a adição de substâncias como azida sódica, permanganato, alumínio ou ácido sulfâmico e sulfato de cobre. O resultado é obtido da colorimetria, em solução de amido graduada do azul ao incolor.

Para Ferreira *et al.* (2008), o sensor óptico possui precisão equiparável ao método de titulação de Winkler. Apresenta as vantagens de não consumir oxigênio no processo de medição, não requerer eletrodo de referência, ser imune a campo elétrico exterior e não ser afetado por taxas de fluxo ou pela velocidade da amostra, apresentando baixa sensibilidade à presença de H₂S (gás sulfídrico).

O mesmo autor afirma que o sensor óptico opera por luminescência, sendo dotado de um diodo (LED) emissor de luz vermelha e um de luz azul, bem como um fotodetector e um indicador luminescente contendo substâncias do complexo de rutênio immobilizadas em sílica-gel (Figura 8).

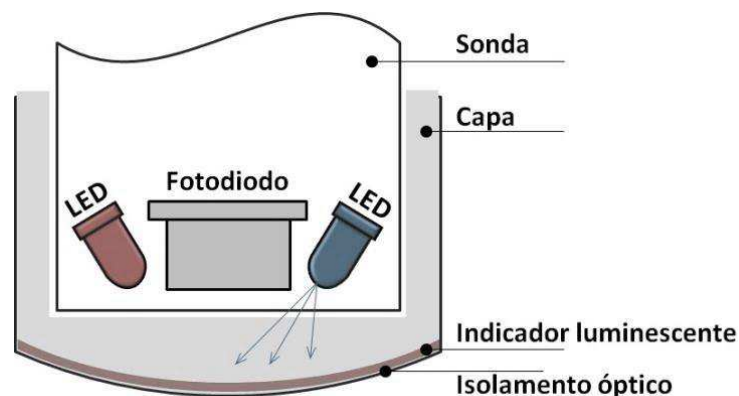


FIGURA 8 – COMPONENTES ELETRÔNICOS DO SENSOR ÓPTICO DE OXIGÊNIO
 FONTE: Adaptado de Mitchell (2007 apud Ferreira *et al.*, 2008)

O autor em questão descreve o método de funcionamento do sensor óptico conforme o fluxograma da Figura 9, no qual o diodo azul emite luminosidade diretamente sobre o indicador luminescente.

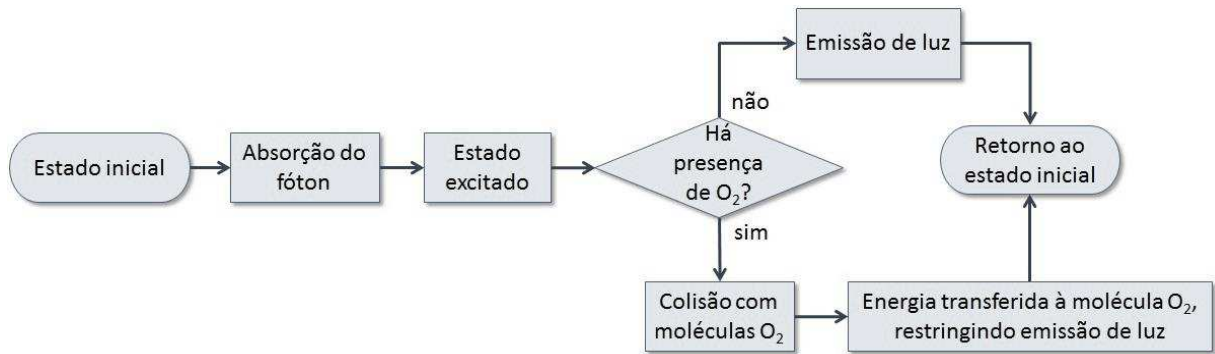


FIGURA 9 – DIAGRAMA DE COMO FUNCIONA O INDICADOR LUMINESCENTE

FONTE: Adaptado de Tengberg (2004 apud Ferreira *et al.*, 2008)

Ainda o autor em questão mostra na Figura 9 que uma vez excitado pela emissão de luz azul, o complexo de rutênio responde emitindo luz vermelha, em intensidade ou duração relacionável à concentração do oxigênio na água. O sinal de resposta é calibrado pelo acionamento regular do diodo emissor de luz vermelha.

2.3.2 Enquadramento de corpos d'água

Brasil (2005) regulamenta a classificação e as diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos d'água superficiais, estabelecendo condições e padrões de qualidade compatíveis aos usos mais exigentes a que se destinam. Os corpos hídricos são distinguidos nas classes Especial, 1, 2, 3 e 4, associadas aos usos indicados no Quadro 3. Destacam-se os cuidados na obtenção de água potável ao consumo humano em cada classe, bem como ao contato primário e secundário.

Destinação	Classe do rio				
	Especial	1	2	3	4
consumo humano	desinfecção	tratamento simplificado	tratamento convencional	tratamento convencional ou avançado	--
comunidades aquáticas	preservação	proteção	Proteção	--	--
recreação	--	contato primário	contato primário	contato secundário	--
irrigação	--	hortaliças, frutas	hortaliças, frutas, parques, jardins, lazer	pomares, cereais, forrageiras	--
outros usos	--	--	aquicultura, pesca	pesca amadora, dessedentação de animais	navegação, harmonia paisagística

QUADRO 3 - USOS PERMITIDOS POR CLASSE DE RIO PARA ÁGUAS DOCES

FONTE: Adaptado de Brasil (2005)

COALIAR (2013) propõe o enquadramento de quase todos os maiores rios de Curitiba nas classes 3 e 4, conformando-os às funções paisagísticas e de navegação. A exceção é o Rio Passaúna, proposto à classe 2, incluindo a represa homônima, utilizada no abastecimento público de Curitiba. A classe 3 é proposta ao lago do parque Barigui, que assim pode admitir recreação de contato secundário, como pesca e navegação.

Para Cerqueira e Moraes (2008), na prática, os rios urbanos acabam tendo a função de meros canais de drenagem, a despeito de sua vocação natural de reguladores ambientais em favor de melhor qualidade de vida dos habitantes.

A importância do enquadramento de rios urbanos pode ser percebida no recente reenquadramento de 32 quilômetros do Rio Jundiá, destinatário dos esgotos na região Macro Metropolitana Paulista, da classe 4 para a 3. Mais que a qualidade ambiental, objetiva-se abastecer a cidade de Indaiatuba, em escassez hídrica devida à longa estiagem em curso (JURISDIÇÃO, 2014; TOMAZELA, 2014).

O Quadro 4 elenca alguns dos padrões de qualidade estabelecidos por Brasil (2005) para as águas doces, assim entendidas as que apresentam salinidade inferior a 0,5‰. Elementos que não devam ser percebidos nas águas por meio dos órgãos sensoriais humanos, são descritos como “virtualmente ausentes”.

Classe	DBO (mgO ₂ /L)	OD (mgO ₂ /L)	Espumas	Flutuantes	Óleos	Graxas	Substâncias que comuniquem		Aspecto
							Gosto	Odor	
4	--	> 2	virtualmente ausentes				--	Não objetáveis	
3	≤ 10	> 4	virtualmente ausentes						--
2	≤ 5	> 5	virtualmente ausentes						--
1	≤ 3	> 6	virtualmente ausentes						--
Especial	O corpo d'água deve ser mantido em suas condições naturais								

QUADRO 4 – PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DAS ÁGUAS DOCES
 FONTE: Adaptado de Brasil (2005)

Da comparação entre os Quadros 3 e 4, observa-se a associação existente entre a qualidade das águas e os usos admissíveis. Um rio de classe 2, por exemplo, deve apresentar uma disponibilidade de oxigênio superior a 5,0 mgO₂/L, sendo adequado para abastecimento humano e atividades de irrigação, aquicultura e pesca. Usos destinados às classes inferiores são aplicáveis conforme o interesse, como recreação, consumo por animais, navegação e harmonia paisagística.

2.3.3 Autodepuração

A autodepuração é explicada por Collischonn e Dornelles (2013), como a capacidade que os rios têm de se recuperarem de eventos poluidores, retomando suas condições naturais após certa extensão e decorrido algum tempo.

O rio consegue depurar mesmo as cargas orgânicas com alta DBO dos esgotos domésticos, cujo volume e intensidade determinam o percurso necessário à completa autodepuração (COLLISCHONN; DORNELLES, 2013).

Salati *et al.* (2002) afirmam que diversos mecanismos concorrem para a recuperação do rio. Fiorucci e Benedetti-Filho (2005) e Wetzel (2001) afirmam que os níveis de OD são retomados pela fotossíntese e a aeração promovida pela troca de gases no contato da água com o ar, favorecida pelo fluxo e a correnteza da água.

O fenômeno da autodepuração é explicado por Von Sperling (2009) pelo comportamento das bactérias na água. Conforme a Figura 10, o aporte de carga orgânica fornece nutrientes às bactérias, que se apropriam do OD em seu processo alimentar, causando reduções significativas nas concentrações desta substância.

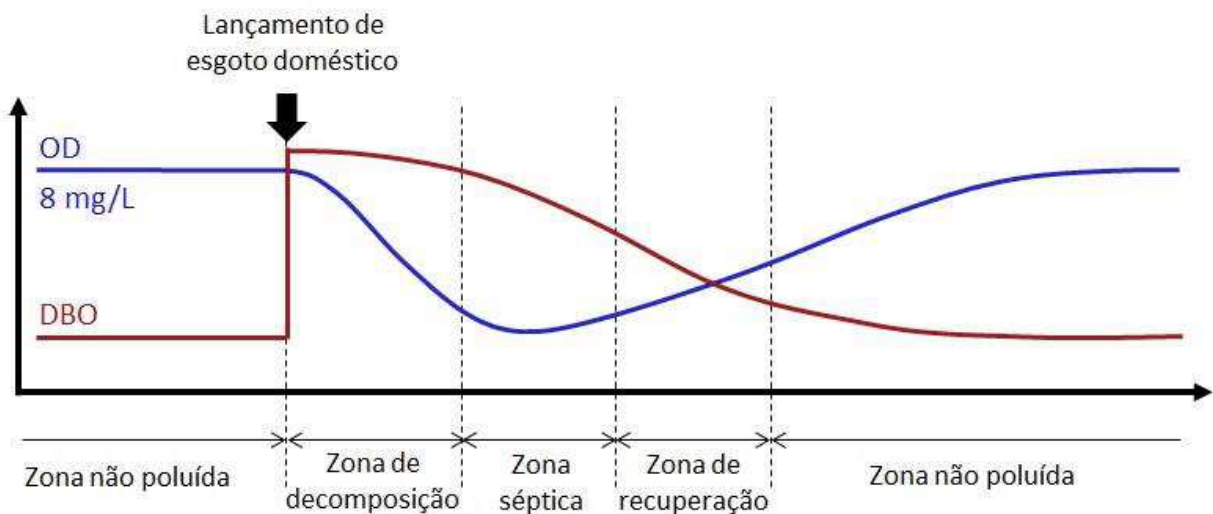


FIGURA 10 - VARIAÇÃO DE OD E DBO NAS ZONAS DE AUTODEPURAÇÃO DE UM RIO
 FONTE: Adaptado de Braga *et al.*(2002)

Dezotti (2008) define zonas do processo de autodepuração em função dos níveis de OD e DBO, conforme segue:

- Zona não poluída: o rio apresenta-se em condições naturais, até a seção anterior ao despejo de poluentes contendo carga orgânica;
- Zona de decomposição (ou degradação): cargas orgânicas levam a DBO ao ápice, enquanto o OD é gradativamente consumido. Bactérias e fungos proliferam, reduzindo ainda mais as taxas de OD;

- Zona séptica (ou de decomposição ativa): com águas escuras e mínimo OD, o rio vive seu momento mais dramático. A matéria biodegradável fornece nutrientes a microrganismos anaeróbios enquanto é decomposta por estes;
- Zona de recuperação: com DBO baixa e a maior parte da matéria biodegradável já consumida, as águas recuperam gradualmente a oxigenação.
- Zona não poluída: o processo de autodepuração consegue restabelecer as condições verificadas antes do evento poluidor.

2.3.4 Despoluição de rios urbanos

IHP (2006) enxerga os ambientes aquáticos como sistemas em perene evolução, sempre a redefinir o equilíbrio entre suas condições físicas, biológicas e sociobiológicas, especialmente nas áreas urbanas, de ação antrópica mais intensa.

Segundo o mesmo autor, os estágios evolutivos do rio são disparados por gatilhos, os quais precisam ser ainda melhor estudados em prol de soluções capazes de atenuar impactos. Em rios como o Reno, na Alemanha, e o Tâmbisa, na Inglaterra, foi possível reverter os efeitos da poluição, como exemplificado a seguir.

2.3.4.1 Rio Reno

Segundo Soliz (2003), por muito tempo o rio Reno recebeu toda sorte de esgotos *in natura*, causando uma redução gradual no OD, com mínimo registrado no ano de 1971. Mas apesar da recuperação indicada na Figura 11, sua vida aquática foi exterminada em 1986, por conta de um despejo acidental de substâncias altamente tóxicas de uma fábrica da Sandoz, na cidade de Basiléia, Suíça.

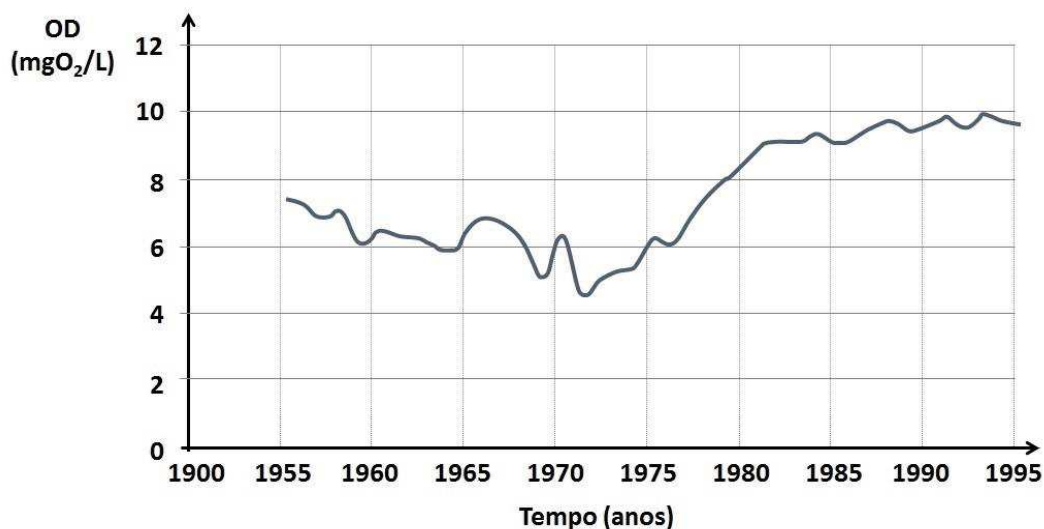


FIGURA 11 – MÉDIAS ANUAIS DE OD NO RIO RENO
 FONTE: Adaptado de Brenner *et al.* (2003)

Brenner *et al.* (2003) relatam que já em 1987, deu-se início ao Programa de Ação para o Reno, objetivando o retorno da vida ao rio. As ações empreendidas propiciaram a melhoria da qualidade da água e das condições ambientais nos afluentes principais. Em 1990, salmões voltaram a subir o rio, para a reprodução.

Soliz (2003) afirma tratar-se de uma das grandes conquistas ambientais na Europa, respaldada por significativa redução de substâncias tóxicas e o tratamento dos esgotos de 95% das empresas e dos municípios presentes na bacia. Apesar de alguns fatores que ainda aguardam solução, como o aporte de nitrogênio pela agropecuária, o Rio Reno exibe hoje uma fauna variada, incluindo espécies que eram consideradas extintas.

2.3.4.2 Rio Tâmisa

Segundo Ackroyd (2007), no Século XVIII o Rio Tâmisa apresentava-se tão poluído, que é suspeito de ter sido o real motivo por trás de diversas mortes na população em seu entorno. A população aceitava sua degradação de tal modo, que apelidou uma descarga de esgotos, ativa por vários séculos, como 'Vala Negra'.

A situação começou a se agravar a partir do Século XIX, com os efluentes de uma população crescente disseminando epidemias de cólera. A epidemia de 1854 notabilizou o médico Dr. John Snow, pela elaboração de uma brilhante e original análise geográfica, resultando nas primeiras evidências da relação entre o cólera e a água contaminada (ACKROYD, 2007).

Ackroyd (2007) descreve o Tâmisa do Século XVIII como negro e de águas viscosas, acumulando espessas camadas de lodo no fundo. O consumo de suas águas foi proibido a partir de 1855, com melhoras na saúde em geral, mas ainda não sem resolver o forte mau cheiro causado pelo sulfeto de hidrogênio, pelo que o rio era conhecido como "O grande mau-cheiro".

A partir de 1902, foram criados reservatórios a montante de Londres para servir à população. A coleta e o tratamento de esgotos passaram a acontecer em fins da década de 50. Atualmente, dois barcos retiram 30 toneladas diárias de lixo sobrenadante e depositado no fundo, orientados por filmagens, radares e sonares. Como resposta, em 2012 o Tâmisa já abrigava 121 espécies de peixes e 400 de invertebrados (DESPOLUIÇÃO, 2012).

O Rio Tâmisa foi palco de importantes avanços no conhecimento das doenças de veiculação hídrica e do saneamento ambiental.

2.4 SANEAMENTO AMBIENTAL

Conforme Moraes e Borja (2005), o saneamento ambiental objetiva a manutenção da saúde pública e ambiental, promovendo e consolidando um ambiente saudável, por meio do abastecimento de água e do esgotamento sanitário. O saneamento ambiental abrange os conceitos de saneamento básico e esgotamento sanitário, como ilustrado na Figura 12.



FIGURA 12 – RELAÇÃO ENTRE SANEAMENTO AMBIENTAL, BÁSICO E SANITÁRIO

O acesso da população a recursos de saneamento básico é uma das premissas básicas da civilização, sendo indicativo do desenvolvimento local e da qualidade de vida das populações (PROSAB, 2009).

Brasil (2007) estabelece as diretrizes nacionais do saneamento básico com base na gestão eficiente dos recursos hídricos. Seu princípio fundamental é prover água potável, esgotamento sanitário e manejo de resíduos sólidos, bem como drenagem urbana pluvial, importante fator de segurança à vida e ao patrimônio.

2.4.1 Teoria do Equilíbrio de Baixo Nível

Spiller e Savedoff (1999) analisaram o saneamento básico em países em desenvolvimento e com instabilidade política, identificando um peculiar baixo desempenho dos serviços de saneamento básico. Na tentativa de explicar tal fenômeno, foi elaborada a teoria do Equilíbrio de Baixo Nível (EBN), pela qual o saneamento básico, nestas regiões, é afetado por:

- falta de suporte político: a tarifa é regulada em função da opinião pública, em detrimento de projetos de engenharia e de recursos para os trabalhos;
- serviços providos por empresa pública: facilita a intervenção do governo, tanto na operação do sistema, como nas políticas de reajustes tarifários;

- instabilidade política: ocorre quando o governo está desacreditado e já não consegue que o setor privado invista no saneamento;
- interferência política: os arranjos institucionais podem ser suplantados pelo oportunismo político. As diretrizes do saneamento tornam-se permeáveis a políticas populistas e eleitoreiras.

De acordo com Spiller e Savedoff (1999), serviços de saneamento mantidos em baixo desempenho atendem a interesses alheios, estabelecendo um equilíbrio entre: interferência nos valores tarifários, preços abaixo dos custos de prestação dos serviços e empreendimentos de utilidade pública com baixa qualidade, podendo incluir falsa propaganda e mérito.

O ciclo do EBN é ilustrado por Spiller e Savedoff (1999) como um ciclo de três estágios relacionando governo, preços e serviços, conforme ilustra a Figura 13.

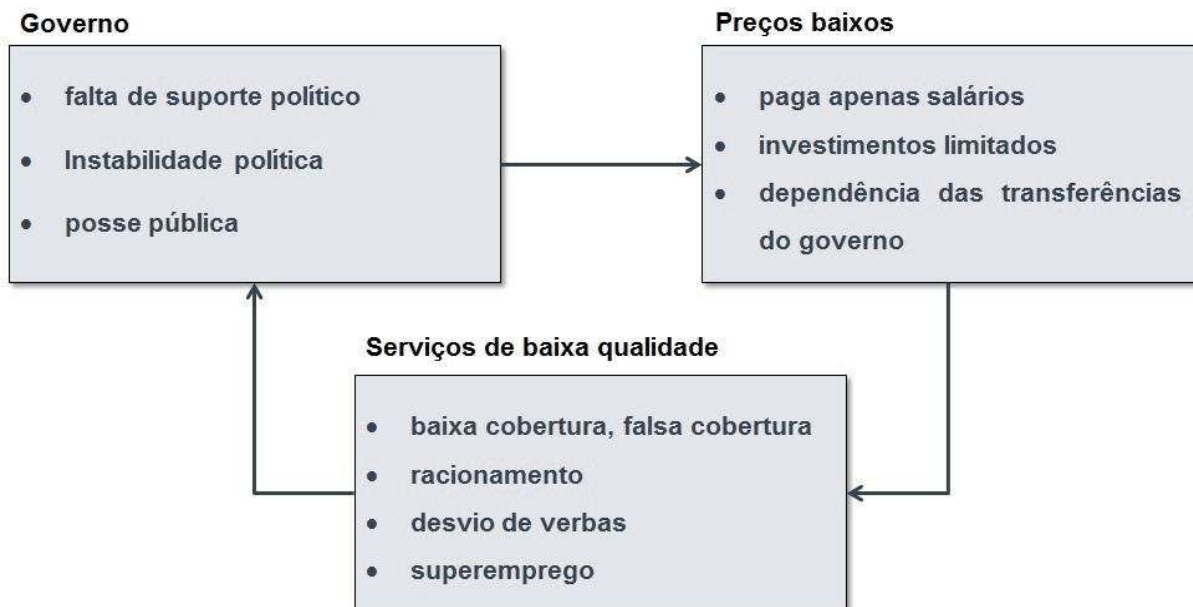


FIGURA 13 - CICLO DA TEORIA EBN
 FONTE: Adaptado de Spiller e Savedoff (1999)

Os mesmos autores afirmam que o baixo desempenho no saneamento resulta na qualidade comprometida das estruturas e dos serviços, limites à expansão das redes, ineficiência operacional e conveniência política. Estes fatores costumam ser percebidos pela opinião pública, motivando o governo a readequar as políticas de saneamento, a fim de promover o resgate da percepção favorável do eleitorado.

A depender dos interesses na credibilidade do eleitorado ou no controle dos serviços de saneamento, os governos costumam adotar soluções como as levantadas por Spiller e Savedoff (1999), podendo inclusive formular arranjos institucionais alternativos como a fragmentação, competição e privatização.

Faria *et al.* (2005) avaliam ser possível um EBN no Brasil, especialmente quanto a abastecimento de água e esgotamento sanitário, justificado pela inexistência de referências institucionais em nível Federal, que estabeleçam diretrizes gerais, regulando e fiscalizando o setor. Desta forma, o Brasil apresenta oportunidades para um saneamento de maior qualidade, advindo de uma alocação mais eficiente de recursos.

A Lei 11.445/2007, todavia, instituiu no Brasil a Política Nacional de Saneamento Básico, possibilitando a criação de agências em nível Federal e Estadual, a cargo da regulação das atividades e fornecendo as diretrizes gerais necessárias ao setor (PROBST, 2010). Esta Lei minimiza o risco do EBN no Brasil, mas ações adicionais aparentam ser necessárias, pois segundo TRATABRASIL (2014), dos 100 maiores municípios brasileiros, 56 dispõem de agência reguladoras, significando ainda haver municípios sob o risco do EBN.

2.4.2 Esgotamento sanitário

Brasil (2007, Art. 3º, § I, alínea b) define o esgotamento sanitário como:

“constituído pelas atividades, infraestruturas e instalações operacionais de coleta, transporte, tratamento e disposição final adequados dos esgotos sanitários, desde as ligações prediais até o seu lançamento final no meio ambiente”.

Segundo a FUNASA (2006), o esgotamento sanitário tem como objetivo coletar e afastar rapidamente os esgotos produzidos nas áreas habitadas, evitando seu contato com o homem, alimentos, água e vetores de doenças. É um modo eficiente de se minimizar o risco de doenças de veiculação hídrica, evitar a poluição do solo e dos mananciais e promover hábitos higiênicos e conforto à população.

Nuvolari (2011) afirma que os benefícios providos pelo esgotamento sanitário podem ser classificados sob os aspectos higiênico (controle de doenças de veiculação hídrica), social (melhor qualidade de vida) e econômico (aumento na produtividade). A ecologia também é favorecida, pela melhor preservação dos recursos hídricos a jusante.

Segundo TRATABRASIL (2012), apesar de 82,7% da população brasileira possui acesso a água tratada, ao passo que somente 48,3% dos brasileiros são beneficiados pela coleta de esgoto, enquanto apenas 38,7% dos esgotos são tratados.

2.4.2.1 Sistemas de coleta de esgotos

Por muito tempo, acreditou-se que bastava afastar os esgotos das áreas urbanas onde foram gerados, lançando-os diretamente nos rios, prática ainda adotada em muitos municípios brasileiros (DIAS *et al.*, 2012).

Para Dias *et al.* (2012) o esgotamento sanitário prevê a coleta e o tratamento dos esgotos, com o qual se reduz sua carga poluidora e contaminante, podendo ser lançados em um rio, para este fim denominado corpo receptor.

Tsutiya e Alem Sobrinho (2011) afirmam que a coleta e o transporte dos efluentes até a Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) é realizada por redes coletoras, nas seguintes formas:

- sistema unitário: coleta esgotos domésticos e industriais, bem como as águas pluviais. Por conter todo tipo de substâncias e contaminantes, requer um tratamento mais complexo;
- sistema separador: também chamado 'separador absoluto'. Dispõe uma rede coletora exclusiva para esgotos domésticos e uma galeria para as águas pluviais e de usos externos (rega de jardins, lavagem de pavimentos, dentre outros);
- sistema misto: direciona parte da água pluvial à rede de esgotos, o que contribui para a diluição dos efluentes.

Segundo Jordão e Pessôa (2011), o sistema separador recebe não apenas os esgotos domésticos, mas o indesejável aporte de águas pluviais e subterrâneas, acrescidos dos despejos de algumas indústrias. Esgotos industriais, via de regra, não são admitidos na RCE, pois precisam ser coletados e tratados em estruturas isoladas, específicas ao processo industrial em questão.

Conforme SANEPAR/SNS (2014c), Alguns processos industriais, todavia, geram efluentes que podem ser admitidos na rede coletora para tratamento junto aos esgotos domésticos. Por exemplo, sistemas de esgotamento sanitário geridos pela Companhia de Saneamento do Paraná (SANEPAR) admitem efluentes de 77 atividades industriais, desde que atendam a 26 parâmetros inorgânicos e 11 orgânicos, além de DBO, DQO, pH, sólidos sedimentáveis, sólidos suspensos e temperatura (SANEPAR/SNS, 2014b; SANEPAR/SNS, 2014c).

Nuvolari (2011), afirma que o sistema separador é projetado para suportar tanto as vazões máximas dos esgotos coletados, como o aporte indevido das águas de infiltração e pluvial. Dias *et al.* (2012) explicam que a rede de coleta deve percorrer o máximo possível do sistema viário, coletando todo o esgoto produzido.

Crespo (2000) descreve o caminho percorrido pelos esgotos na RCE, conforme a Figura 14. O esgoto gerado nas unidades consumidoras (1) é levado por coletores prediais (2) até um coletor secundário (3) e então um coletor tronco (4), passando por diversas câmaras de inspeção (5), denominadas poços de visita (PVs). O interceptor (6) entrega o efluente na ETE (7) para receber tratamento adequado, sendo finalmente conduzido por um emissário (8) ao lançamento final em um rio, o corpo receptor.

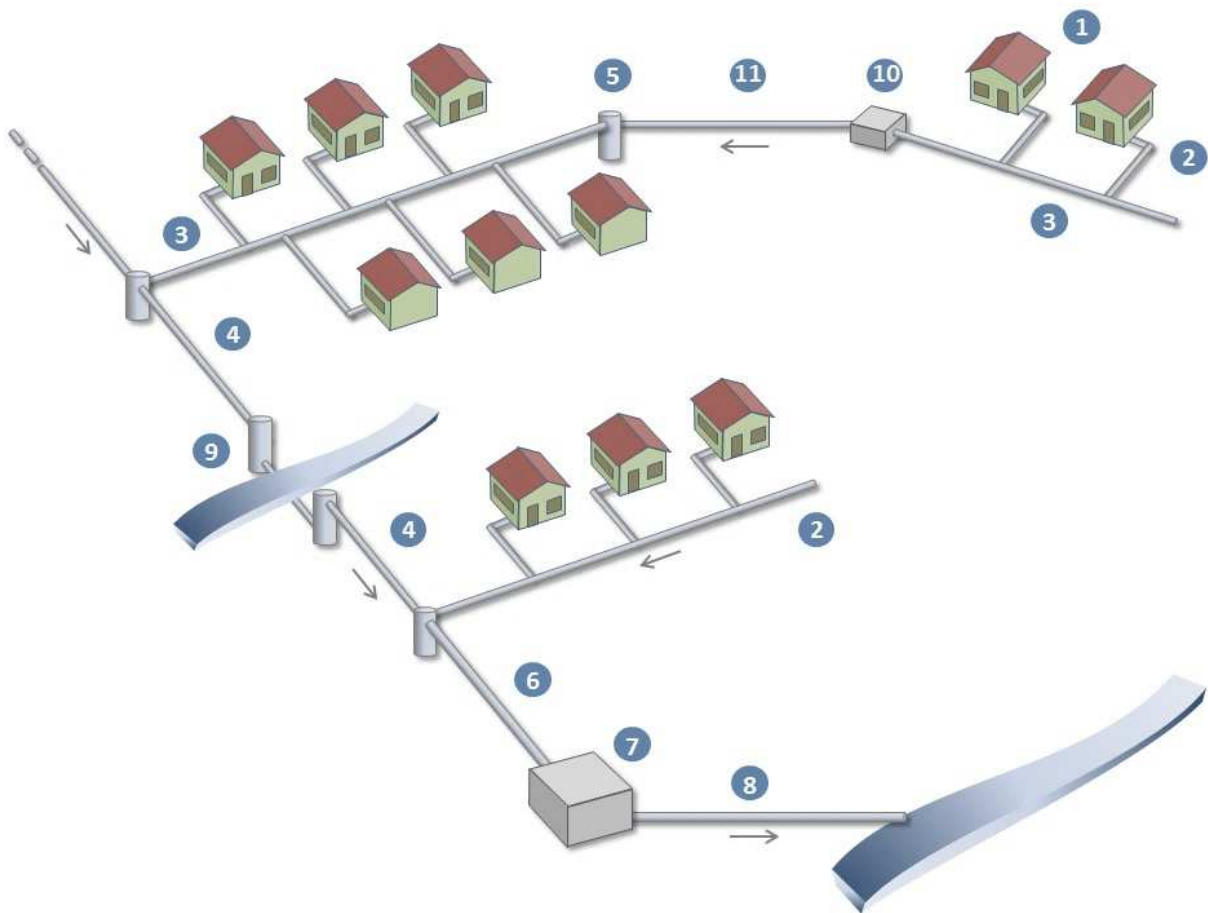


FIGURA 14 – TUBULAÇÕES E DISPOSITIVOS DE UMA RCE
 FONTE: Adaptado de Ramme (2013) e Nuvolari (2011)

O transporte dos esgotos conta ainda com dispositivos especiais para transpor obstáculos impostos pela topografia, como o sifão invertido (9) e a Estação Elevatória de Esgoto (10), assim descritos por Tsutiya e Alem Sobrinho (2011):

- Sifão invertido (9): canalizações rebaixadas para transposição de um corpo hídrico;
- Estação Elevatória de Esgoto (10): unidade de bombeamento dos efluentes coletados de unidades consumidoras em cota inferior à dos ramais coletores. O esgoto é enviado por linhas de recalque pressurizadas (11).

Bertrand-Krajewski et al. (2005) veem na qualidade e eficiência funcional do sistema de esgotamento sanitário, a chave para o transporte bem sucedido dos esgotos até a unidade de tratamento.

A operação da RCE visa garantir um sistema de dutos estanque, operando de forma eficiente sob as mais diversas condições ambientais, como: vibrações de obras e de tráfego de veículos, acomodações do terreno, fadiga de componentes, acidez do solo, agressividade das substâncias conduzidas (RECESA, 2008).

A norma NBR 9.649/86 (ABNT, 1986) regulamenta critérios para o dimensionamento da RCE de modo a que esta atinja a máxima vida útil. Tais critérios são pautados em uma '*população de saturação*' em '*pico de consumo*'. Estes parâmetros estão relacionados à máxima densidade demográfica estimável para os padrões locais, no horário de maior consumo de água.

O perfeito funcionamento do sistema coletor requer um protocolo de manutenção atento às condições operacionais da rede, com reposição de peças obsoletas ou avariadas, minimizando não somente as perdas de efluentes, mas a infiltração de águas subterrâneas e o acesso de águas pluviais à RCE.

2.4.2.2 Materiais das tubulações

Tsutiya e Alem Sobrinho (2011) e Bevilacqua (2006) afirmam que a escolha dos materiais das tubulações é função de avaliações técnicas e econômicas decorrentes de cada projeto, tais como:

- avaliações técnicas: hidráulica das tubulações e respectivos diâmetros disponíveis, tipo de solo, profundidade do assentamento, resistência a esforços externos e internos, meios de transporte à disposição, além de cuidados no manuseio e estocagem;
- econômicas: custos dos materiais, transporte e assentamento, bem como custos decorrentes da periodicidade de manutenção.

Os mesmos autores descrevem os materiais que formam a rede coletora, como cerâmica, concreto, plástico, ferro fundido e aço, os quais têm preferência em ramais específicos da rede coletora (Quadro 5). Skroch (2014) afirma que alguns destes materiais não são mais utilizados na empresa SANEPAR, como a cerâmica, que foi substituída pelas tubulações de PVC, de mais fácil manejo. Da mesma forma, o PEAD substituiu o ferro fundido, por apresentar maior resistência à corrosão.

Tipo de ramal	Material preferencial
Coletor secundário	PVC (Policloreto de Vinila) Cerâmica
Coletor-tronco	Fibra de vidro
Interceptor	PEAD (Polietileno de Alta Densidade), Concreto de alta resistência
Linha de recalque	Ferro fundido dúctil

QUADRO 5 – MATERIAIS UTILIZADOS NAS TUBULAÇÕES DA RCE
 FONTE: Adaptado de Bevilacqua (2006)

2.4.2.3 Pontos frágeis na RCE

Ellis (2011) descreve os pontos frágeis na rede coletora como defeitos físicos oriundos de: instalação de má qualidade, ligações clandestinas, desencaixe entre dutos, penetração de raízes, corrosão bioquímica e vibrações oriundas do tráfego, bem como de efeitos corrosivos do solo e de águas subterrâneas agressivas, dotadas de pH ácido.

Segundo DSD (1995), pontos frágeis designam falhas na estrutura da RCE, com prejuízos à sua estanqueidade, potencializando infiltrações e vazamentos, singularidades descritas por Bertrand-Krajewski *et al.* (2005), na seguinte forma:

- Infiltrações: águas da chuva e do freático acessam o interior das tubulações, diluindo as cargas poluentes e conferindo-lhes características diversas àquelas para a qual o tratamento foi dimensionado, afetando a eficiência de seu processo. A infiltração decorrente de uma chuva forte chega a duplicar o volume de esgotos na rede coletora;
- Vazamentos: perda de efluentes através de brechas nas paredes das tubulações ou por transbordamento nos PVs. Podem promover acomodações no solo, o que desestabiliza estruturas nas proximidades e causa afundamentos na superfície e deslocamentos nos próprios ramais coletores, encarecendo os serviços de manutenção. Tais efeitos terminam por contaminar o subsolo e as águas subterrâneas, fato especialmente danoso em redes coletoras instaladas em áreas de manancial.

Para Amick e Burgess (2000), pontos frágeis surgem devido a fatores como: tempo de uso, dimensões dos dutos, vazão interna dos efluentes e presença de falhas geológicas. Na Região Sul do Brasil, há também o congelamento dos dutos.

Os mesmos autores citam a precipitação média como mais um fator a se considerar, pois as chuvas alteram o nível do freático, afetando a pressão diferencial entre os níveis da água e dos efluentes. As condições do solo nas imediações do ponto frágil podem tanto aumentar como reduzir a perda de efluentes.

A Figura 15 apresenta os elementos da RCE mais propensos à ocorrência de pontos frágeis, citados por Amick e Burgess (2000): junções entre peças (1), conexão dos ramais com o PV (2) e paredes internas do PV (3). Os autores citam ainda ser comum a ocorrência de trincas no sentido longitudinal da tubulação (4) e fissuras devidas a esforços laterais (5).

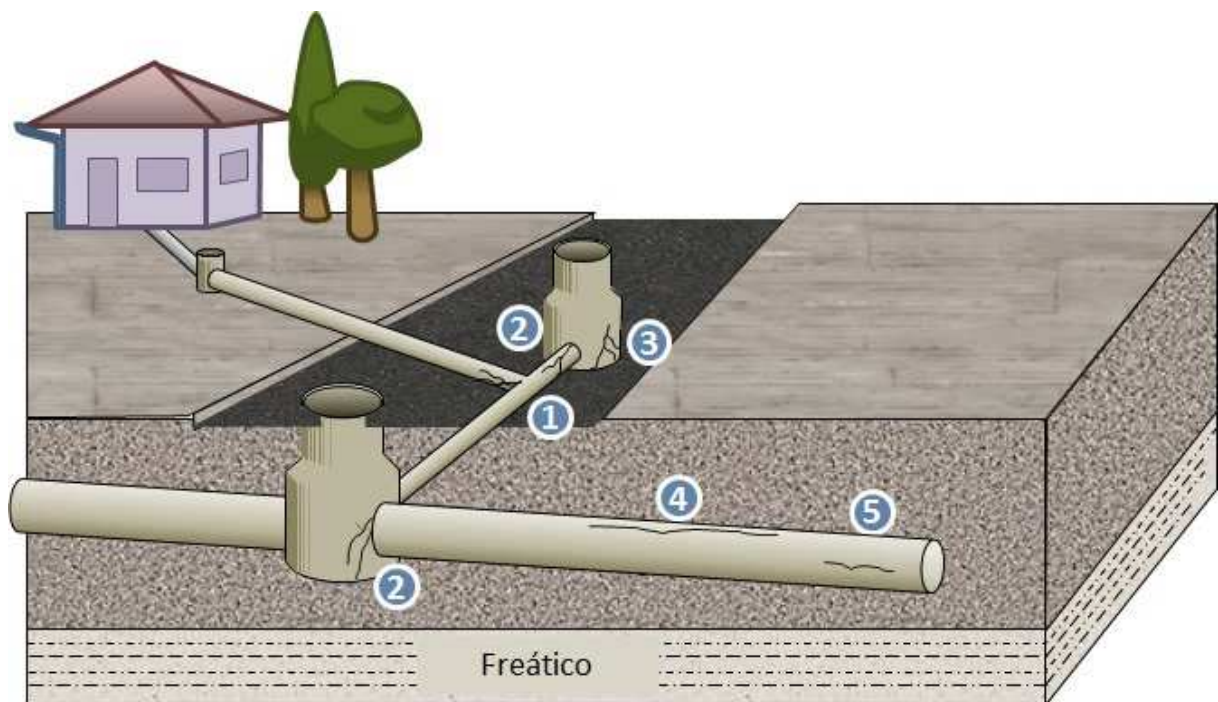
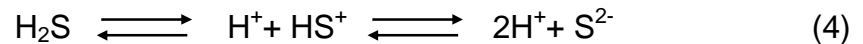


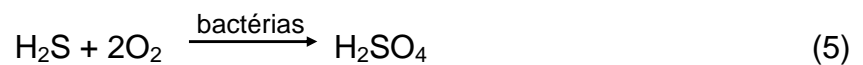
FIGURA 15 – OCORRÊNCIA DE PONTOS FRÁGEIS NA ESTRUTURA DA RCE
FONTE: Adaptado de Amick e Burgess (2000)

Segundo Bevilacqua (2006), em condições normais de operação, os esgotos devem ser conduzidos sem retenção alguma no interior dos dutos. A deposição e acúmulo de areia e detritos acabam por favorecer a retenção de matéria orgânica, criando um ambiente favorável a bactérias anaeróbias.

Magalhães (1986) afirma que as bactérias anaeróbias decompõem a matéria orgânica, convertendo-a em uma mistura de gases, com predomínio do metano (CH_4) e gás carbônico (CO_2), mas também Oxigênio (O_2) e Sulfeto de Hidrogênio (H_2S), em proporções de até 1%. Também denominado gás sulfídrico, esta última substância é responsável pelo odor desagradável e pela corrosão das tubulações. A formação deste gás se dá conforme as Equações 3 e 4.



Tsutiya e Alem Sobrinho (2011) atribuem o processo de degradação dos coletores de esgoto ao sulfeto de hidrogênio, principal gás observado na RCE, que se desprende da fase líquida para a atmosfera local, aderindo-se às paredes úmidas do conduto e, sob a ação de bactérias do tipo *Thiobacillus*, interage com o oxigênio para formar ácido sulfúrico (H_2SO_4), conforme a reação expressa na Equação 5.



Segundo os mesmos autores, o ácido sulfúrico corrói manilhas de concreto e tubos de ferro, com preferência pelas partes superiores e laterais dos dutos, junto à superfície líquida. A Figura 16 ilustra os gases presentes em um coletor de esgotos e os respectivos danos causados à sua integridade física.

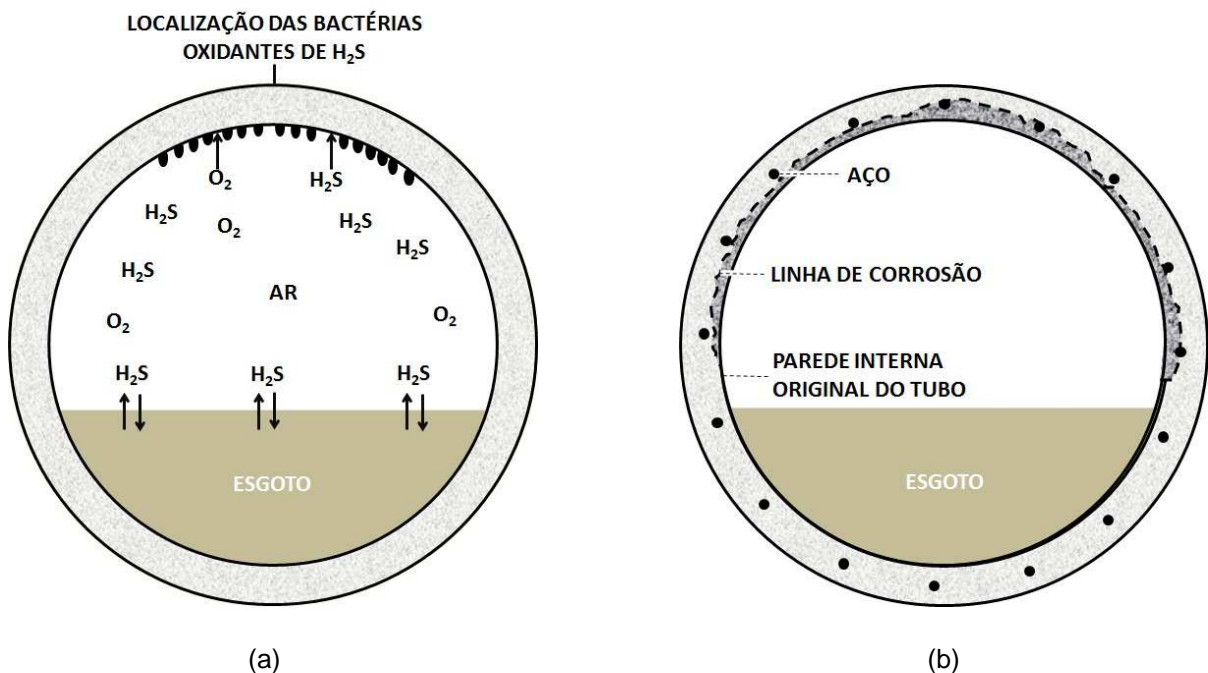


FIGURA 16 – GASES NO COLETOR DE ESGOTOS (a) E EFEITOS CORROSIVOS EM MANILHAS DE CONCRETO E TUBOS DE FERRO (b)
FONTE: Adaptado de Tsutiya e Alem Sobrinho (2011)

As descrições dos autores em referência levam ao entendimento de que os condutos da RCE ficam submetidos às ações corrosivas de três diferentes ambientes, conforme ilustra a Figura 17: (1) área interna superior, com uma atmosfera formada por gases tóxicos e corrosivos, como o ácido sulfúrico, (2) fundo

em contato com os efluentes, sujeito a corrosão bioquímica; e (3) parede externa, em contato com o solo e águas subterrâneas agressivas.

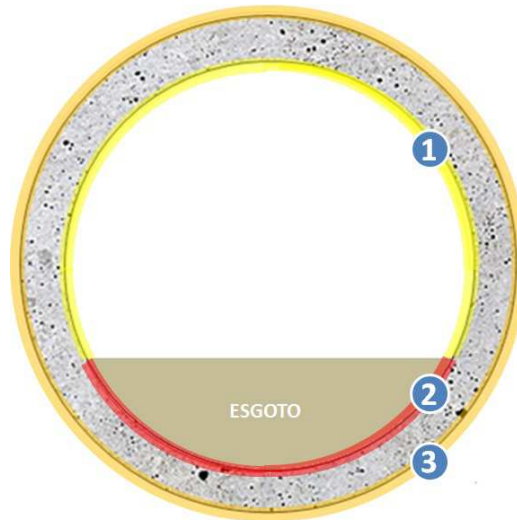


FIGURA 17 – COLETOR DE ESGOTOS EXPOSTO A TRÊS AMBIENTES CORROSIVOS

As faces do coletor estão sujeitas aos efeitos deletérios citados no Quadro 6:

Ambiente	Característica	Causa de pontos frágeis
Face interna superior	Contato com gases	Corrosão por ácido sulfídrico (H_2SO_4)
Face interna inferior	Contato com o efluente	Corrosão bioquímica
Parede externa	Contato com o solo	Corrosividade do solo e da água subterrânea

QUADRO 6 – SUBSTÂNCIAS AGRESSIVAS NO CONTATO COM AS FACES DOS DUTOS
 FONTE: Adaptado de Tsutiya e Alem Sobrinho (2011)

Ainda os mesmos autores afirmam que a fragilização das tubulações potencializa o surgimento de fraturas, afastamento entre juntas, deformações e obstruções, com possível escape de esgoto *in natura* em áreas habitadas. Tal perda frustra os propósitos do esgotamento sanitário em afastar rapidamente os esgotos.

2.4.2.4 Riscos envolvendo perdas de efluentes

As perdas de esgoto sanitário comprometem a salubridade ambiental, expondo a população a vetores de doenças como cólera, giardíase, febre tifóide e infecções por bactérias *Shiguella* e *Escherichia Coli* (SANASA, 2005).

Dias *et al.* (2012) apresentam uma boa noção dos riscos ambientais devidos à perda de efluentes, definindo o esgoto como “um sistema vivo, onde a matéria viva desenvolve processos metabólicos, gerando gases [...] de alta periculosidade.”

2.4.3 Manutenção da rede coletora

A solução para se evitar vazamentos na rede coletora de esgotos reside na manutenção preventiva, amparada em controle operacional e inspeção de redes. O Quadro 7, adaptado de Abraham *et al.* (1998), apresenta as tecnologias aplicadas à inspeção da RCE, capazes de fornecer diagnósticos detalhados da rede coletora.

Técnica	O que faz
Telediagnóstico convencional	Examina a superfície interna da tubulação, percorrendo o seu interior.
Telediagnóstico estacionário	Examina a superfície interna da tubulação, de um ponto fixo no PV, sem percorrer o interior dos dutos.
Telediagnóstico com feixe de luz	Quantifica e mensura deformações.
<i>Laser Scanning</i>	Examina a superfície interna da tubulação
Ultrassom	Examina a superfície interna da tubulação sob a linha d'água.
Teste de Fumaça	Identifica ligações prediais irregulares, redes rompidas e infiltrações em PVs (DOBGINIES, 1998).
Vistoria Técnica Ambiental	Identifica os imóveis que não estão corretamente ligados à RCE (BERTOLINO, 2013).

QUADRO 7 - TECNOLOGIAS DEDICADAS À INSPEÇÃO DA RCE

FONTE: Adaptado de Abraham *et al.* (1998), Dobginies (1998) e Bertolino (2013).

Dobignies (2014) afirma que, no Estado do Paraná, os sistemas coletores de esgoto são usualmente analisados pelas tecnologias convencionais do telediagnóstico, teste de fumaça e vistoria técnica ambiental, descritos na sequência.

2.4.3.1 Telediagnóstico

Segundo Dobignies (2014), a técnica de televisionamento de tubulações de esgoto, também denominada teledetecção ou telediagnóstico, consiste na filmagem do ambiente interno dos coletores, em circuito fechado de televisão. Dotado de iluminação própria, permite identificar irregularidades na estrutura da RCE, como:

- trincas, buracos e corrosão;
- tubulações em desalinho, deslocamento de juntas, recalque devido à acomodação do solo;
- obstruções, infiltrações, bancos de sedimentos, interferências, interligações e lançamentos clandestinos.

A Figura 18 exhibe anomalias obtidas da filmagem por telediagnóstico, como uma pedra no interior da tubulação (a) e um rompimento da rede coletora (b).



FIGURA 18 – IMAGENS DE TUBULAÇÃO OBSTRUÍDA POR PEDRA (a) E COM AVARIA FÍSICA (b)
 FONTE: DOBIGNIES (2014)

À execução do telediagnóstico, Dobignies (2014) afirma serem necessários:

- sistema de imageamento móvel em circuito fechado de TV com contagem mecânica de metragem, com autonomia mínima de 100 metros contínuos;
- câmera de alta resolução, com regulação automática de foco;
- sistema computacional portátil para visualização das imagens;
- sistema de geração de energia independente;
- veículo automotor utilitário, trena, ganchos para a abertura dos PVs, equipamento de proteção individual, material de sinalização viária (placas e cones).

Segundo o mesmo autor, antes de se proceder a filmagem, os ramais são limpos por hidrojateamento e inativados pela aplicação de bloqueadores de fluxo, desviando-se os efluentes por uma tubulação auxiliar acoplada a um conjunto moto-bomba, capaz de bombear uma vazão compatível ao duto em análise.

Ainda o mesmo autor afirma que as filmagens são armazenadas em formato digital e acompanhadas de relatório de inspeção videográfica e visual, constando as principais singularidades identificadas na estrutura coletora.

A teledetecção pode ser aplicada a amplos domínios da RCE ou a um ramal específico, permitindo conhecer em detalhe pontos frágeis que já tenham sido identificados por outra tecnologia de manutenção, como por exemplo, o teste de fumaça.

2.4.3.2 Teste de estanqueidade com fumaça

O teste de estanqueidade com fumaça, ou teste de fumaça (Figura 19), identifica ligações prediais irregulares, redes rompidas e infiltrações na estrutura da rede coletora.



(a)

(b)

FIGURA 19 – FUMAÇA INJETADA NO PV (a) SAINDO NA GALERIA DE ÁGUA PLUVIAL (b)
 FONTE: Dobignies (2014)

Segundo Bertolino (2013), uma vez selecionado o ramal a se inspecionar, obturadores (balões pneumáticos que impedem a passagem do ar) são instalados em todas as saídas conhecidas, inclusive no topo das câmaras dos PVs.

Conforme o mesmo autor, a fumaça é injetada por um equipamento termonebulizador na estrutura coletora, conforme a Figura 19-a, para que, ao emergir na superfície (Figura 19-b), denuncie a existência de ponto frágil ou ligação irregular de água pluvial.

Bertolino (2013) e Dobignies (2014) afirmam que a fumaça é atóxica, produzida com substâncias a base de glicerina, sem presença de óleos ou adição de corantes. A fumaça não chega a adentrar imóveis, devido às caixas sifonadas existentes nas saídas das ligações prediais.

O Teste de Fumaça identifica o ramal ou conjunto de ramais que precisam receber obras corretivas. Para a correta configuração das obras corretivas, pode ser necessária a inspeção videográfica do telediagnóstico (DOBIGNIES, 2014).

2.4.3.3 Vistoria Técnica Ambiental

A Vistoria Técnica Ambiental é descrita por Bertolino (2013) como uma técnica utilizada para identificar os imóveis que não estão corretamente ligados à RCE. Dobignies (2014) afirma que esta ação costuma ser acionada pela Prefeitura Municipal na emissão de “Habite-se” para novas edificações, mas também por cidadãos e pela própria empresa prestadora dos serviços de saneamento.

Bertolino (2013) afirma que a Vistoria Técnica Ambiental requer o acesso de equipes de campo às dependências sanitárias dos imóveis, para aplicação de corantes em ralos, pias, lavatórios, tanques, bidês e vasos sanitários.

Conforme o mesmo autor, um membro da equipe posiciona-se na calçada externa à edificação, junto ao Dispositivo Tubular de Inspeção (DTI), que conecta a rede predial à RCE. A tampa do DTI é removida para o acesso visual à passagem dos efluentes domésticos em sua câmara interna. A visualização dos corantes aplicados nas peças sanitárias, em todas as dependências, evidencia se o imóvel está de fato ligado à rede coletora.

Ainda o mesmo autor afirma que o procedimento é realizado em toda saída de água, inclusive nos drenos de água pluvial. A aplicação do corante nestes drenos, no entanto, tem o propósito de zelar para que não estejam ligados à rede coletora, mas sim, às redes de águas pluviais. Irregularidades constatadas implicam em notificação formal exigindo obras corretivas, providenciadas pelo usuário.

2.5 PROGRAMA DE REVITALIZAÇÃO DE RIOS URBANOS (PRRU)

O Programa de Revitalização de Rios Urbanos (PRRU) foi desenvolvido na empresa SANEPAR, em sua Unidade de Serviços de Recursos Hídricos (USHI), que integra a Diretoria de Meio Ambiente, com o objetivo de diagnosticar a rede coletora a partir da análise das águas de corpos hídricos em área urbana (SKROCH, 2013).

Do ciclo hidrológico, sabe-se que as águas da chuva infiltradas no solo continuam a se mover por escoamento sub-superficial até atingir um corpo hídrico. De forma semelhante, efluentes indevidamente descartados no meio ambiente fluem pelo solo, rumando ao corpo hídrico e contaminando suas águas. Com base nisso, a ocorrência de carga orgânica no rio pressupõe efluentes despejados a montante, na bacia hidrográfica (SKROCH, 2014).

Segundo o mesmo autor, o território de atuação do PRRU é a bacia hidrográfica, analisada *in loco* por visitas a seções de seu corpo hídrico principal. Cada seção visitada oferece a oportunidade de análise do rio pela medição do OD e observação de suas condições ambientais.

O mesmo autor afirma ainda que as medições de OD tomadas ao longo de um corpo hídrico fornecem uma curva descritiva deste parâmetro, denominada Perfil do rio. Trata-se de um importante auxílio à identificação da presença indesejável de carga orgânica em suas águas.

A Figura 20 ilustra um Perfil do rio para medições de OD realizadas em seções designadas por letras de 'a' a 'g'. Os valores das concentrações de OD são plotados segundo as distâncias das respectivas seções à nascente do rio.

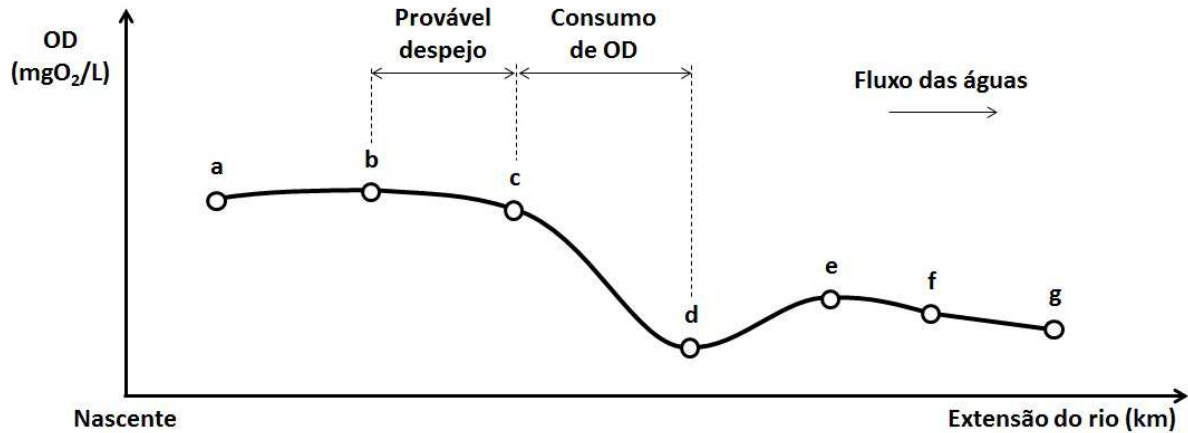


FIGURA 20 – OXIGÊNIO DISSOLVIDO AO LONGO DO RIO
 FONTE: Adaptado de Skroch (2014)

No Perfil do rio exibido na Figura 20, o ponto 'd' se refere à menor concentração de oxigênio, revelando a zona séptica, posição em que o rio vivencia seu pior momento, havendo perdido muito oxigênio no processo de degradação de matéria orgânica pelas bactérias. O baixo OD é um indício de haver despejo de carga orgânica a montante.

O segmento de curva descendente 'c-d' sugere um consumo gradual de OD, revelando um comportamento autodepurativo do rio, em relação a uma carga orgânica. Como seu despejo provavelmente ocorre no domínio das águas drenadas ao rio entre as seções 'c' e 'd', convém averiguar os ramais de RCE ali presentes, quanto à possibilidade de conter algum ponto frágil (SKROCH, 2014).

De acordo com o mesmo autor, a carga orgânica detectada no rio fornece o vértice final da trajetória percorrida pelos efluentes, restando encontrar o vértice inicial, onde está a origem da carga poluidora. A fonte poluidora é localizada por analogia ao processo de autodepuração do corpo hídrico.

Conforme ilustra a Figura 21, o Perfil do rio permite delimitar um campo de investigação contendo a fonte poluidora de carga orgânica. Para tanto, observa-se a topografia de drenagem das águas que afluem ao corpo hídrico no curso definido entre as seções 'c' e 'd'. O campo de investigação é delimitado de modo a também abranger as bacias hidrográficas de rios afluentes que desaguem no rio sob análise, entre as referidas seções 'c' e 'd' (SKROCH, 2014).

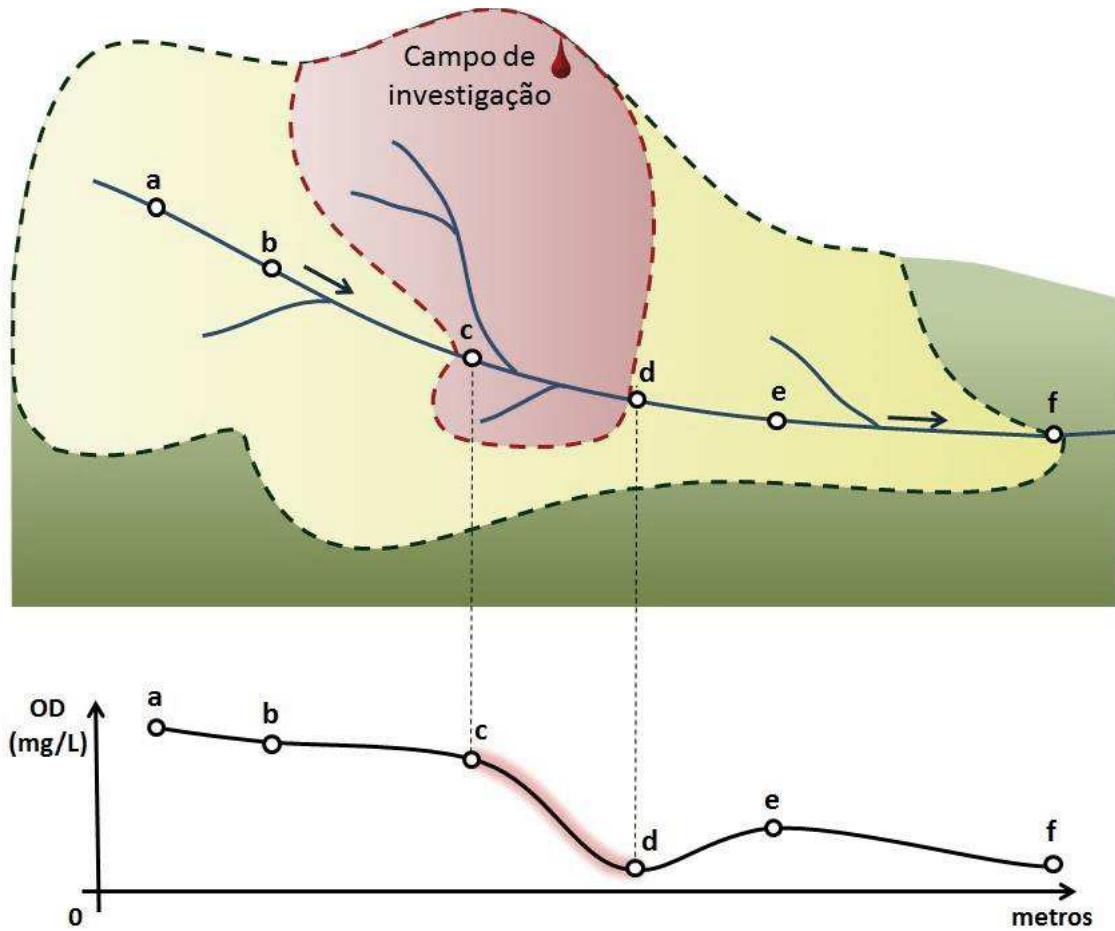


FIGURA 21 – CAMPO DE INVESTIGAÇÃO DEFINIDO PELA QUEDA DE OD NO PERFIL DO RIO
 FONTE: Adaptado de Skroch (2013)

2.5.1 O ciclo do PRRU

O ciclo do PRRU consiste nas cinco etapas exibidas na Figura 22: análise preliminar, investigação das causas, manutenção, verificação e acompanhamento.



FIGURA 22 - CICLO DE PROCESSOS DO PRRU
 FONTE: Adaptado de Skroch (2012)

O ciclo de trabalho do PRRU, como mostra a Figura 22, se assemelha a um PDCA, descrito por IPEA (2014) como um método de gestão útil à obtenção da melhoria contínua na eficiência e qualidade de produtos e serviços, mediante ações como as referidas na própria sigla, do inglês “Planejar-Realizar-Verificar-Agir”.

O cumprimento do ciclo do PRRU pode envolver diversas instâncias de uma mesma empresa de saneamento. Na empresa SANEPAR, as etapas componentes do Programa são realizadas pelas unidades de serviço exibidas no Quadro 8.

Atividade	Unidade	Diretoria
1 – Análise preliminar	USHI	Diretoria de Meio Ambiente
2 – Investigação das causas	USHI	Diretoria de Meio Ambiente
3 – Manutenção	Manutenção	Diretoria de Operações
4 – Verificação	USHI	Diretoria de Meio Ambiente
5 – Acompanhamento	USEA	Diretoria de Meio Ambiente

QUADRO 8 - ETAPAS DO PRRU ALOCADAS NA EMPRESA SANEPAR

2.5.1.1 Análise preliminar

A primeira etapa do Programa consiste no reconhecimento da área de atuação, uma bacia hidrográfica. Um mapa é elaborado com a delimitação da bacia, superposta à rede hídrica e ao cadastro técnico da RCE, incluindo direção de fluxo dos efluentes e PVs. Como elementos de apoio à orientação geográfica, tem-se arruamentos com nomenclatura, áreas verdes, limites políticos de bairros e municípios, bem como fotografias aéreas ou imagens orbitais de alta resolução.

As seções do rio são visitadas para a análise dos parâmetros OD e organolépticos do corpo hídrico. O levantamento do Perfil do rio e o conhecimento de suas condições físicas estão no cerne desta atividade, a qual visa evidenciar eventuais anomalias na RCE.

2.5.1.2 Investigação das causas

Com base nas informações levantadas na etapa anterior, são investigadas as possíveis causas das variações de OD encontradas no rio. Para tanto, procede-se o acesso físico à RCE, mediante a inspeção visual da câmara interna do PV, a fim de:

- Verificar a integridade física de seu fundo e paredes internas;

- Avaliar o fluxo de efluentes, na busca por indícios de um ponto frágil na tubulação coletora situada entre este e o PV adjacente.

Eventos e anomalias observados são comunicados às equipes de manutenção.

2.5.1.3 Manutenção

Equipes de manutenção visitam os ramais da RCE identificados na etapa anterior, para realizar as ações corretivas necessárias. Eventualmente, pode-se acionar uma investigação complementar, por meio de tecnologias convencionais como a teledetecção.

2.5.1.4 Verificação

A equipe que emitiu o pedido de manutenção retorna ao local para conferir a efetividade das ações corretivas adotadas, na expectativa de que o corpo hídrico já apresente melhores condições ambientais.

Caso o rio não apresente melhores condições ambientais, novos levantamentos de Perfil do rio são empreendidos, a fim de se localizar mais algum evento poluidor ainda não identificado.

2.5.1.5 Acompanhamento

A etapa de Acompanhamento conta com o envolvimento voluntário de pessoas residentes na bacia hidrográfica, convidadas a monitorar as condições ambientais dos rios, a fim de notificar toda sorte de ocorrências que alterem a qualidade percebível de suas águas.

Os cidadãos atuam na forma de monitoramento participativo. Hermes *et al.* (2004, p.3) afirma que a estes agentes ambientais são “creditadas responsabilidades e compromissos, aceitos voluntariamente para o exercício da atividade de monitoração da qualidade das águas de usos múltiplos, sem nenhum vínculo empregatício”.

Freire (1979, p.35) afirma que a educação “deve estabelecer uma relação dialética com o contexto à qual a sociedade se destina, quando se integra neste ambiente que, por sua vez, dá garantias especiais ao homem através de seu enraizamento nele”. Segundo Souza e Marques Junior (2001), o envolvimento da população promove ações de Educação Socioambiental, pois a comunidade passa a participar das questões de uso sustentável, interagindo com o meio em que vive.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado por meio de atividades de estudo, análise e levantamentos em campo, conforme os passos metodológicos descritos a seguir.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde ao trecho superior da bacia hidrográfica do Rio Belém (Alto Belém), na área urbana de Curitiba, como mostra a Figura 23.

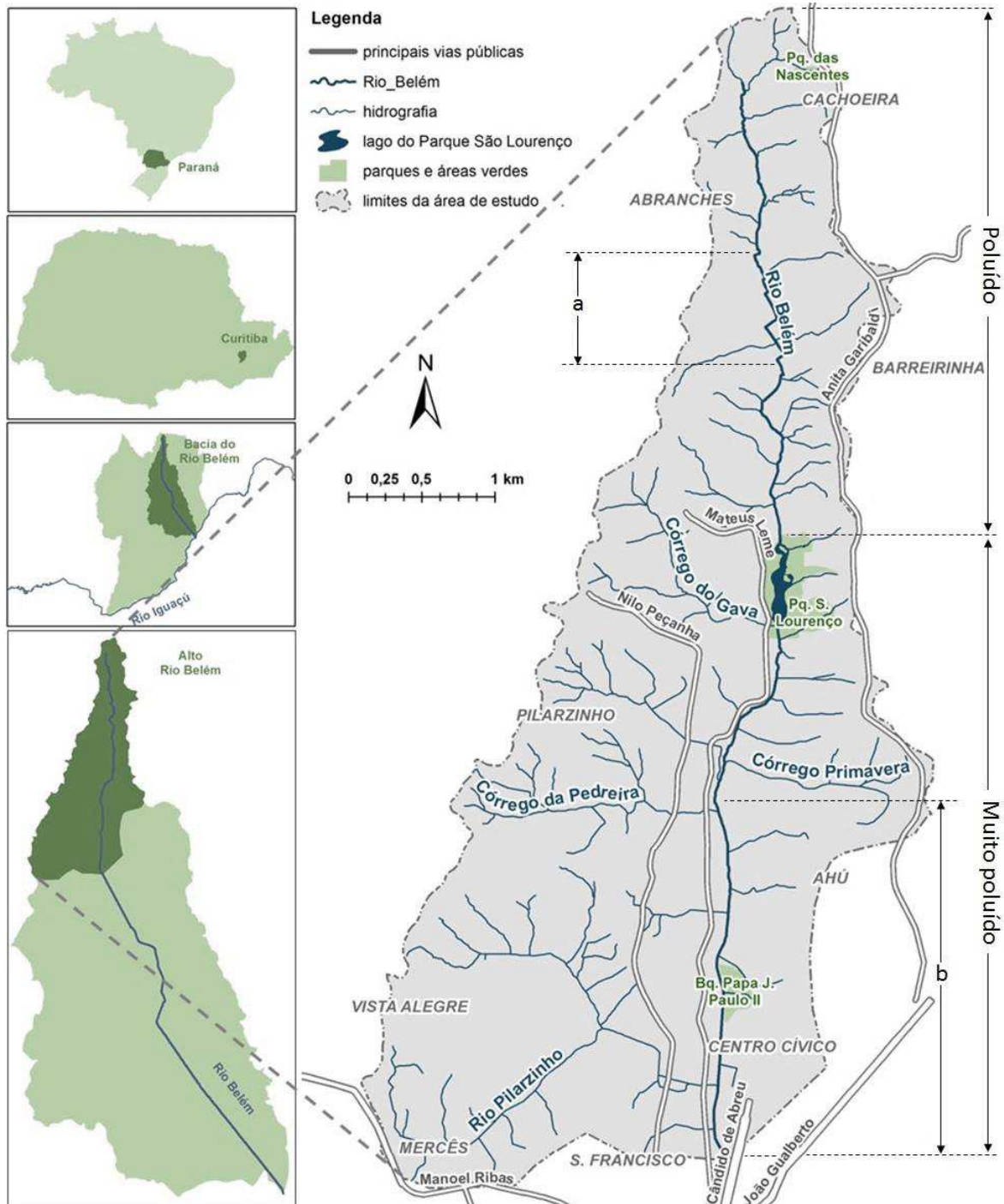


FIGURA 23 – ÁREA DE ESTUDO, DEFINIDA NA PORÇÃO NORTE DA BACIA DO RIO BELÉM
 FONTE: Adaptado de IPPUC (2012a), IPPUC (2012b), IPPUC (2012c) e IPPUC (2012d)

Como pode ser visto na Figura 23, a Área de estudo contém alguns dos mais importantes parques e pontos turísticos de Curitiba, como o Bosque João Paulo II, o Parque São Lourenço e o Parque das Nascentes.

Os primeiros trabalhos do PRRU foram realizados na rede hídrica exibida na Figura 23. Ali se encontram 8,1 km do Rio Belém, os córregos do Gava, da Primavera, da Pedreira e o Rio Pilarzinho.

Na Figura 23 observa-se que o curso do Rio Belém encontra-se retificado nos assinalados com a letra 'a', na altura do bairro Abranches, e na letra 'b', desde a Rua Lívio Moreira, no bairro Bom Retiro, fluindo a céu aberto em calha de concreto até o exutório da área de estudo, na Av. Cândido de Abreu, no bairro Centro Cívico. A partir deste ponto, o rio segue canalizado.

No ano 2009, a qualidade das águas do Rio Belém foi avaliada pelo Instituto Ambiental do Paraná (IAP) como "poluído" desde a nascente até o deságue no lago do Parque São Lourenço. Este lago e o rio a jusante, na área de estudo, foram classificados como "muito poluído" (IAP, 2008; IAP, 2009).

Segundo Bollmann e Edwiges (2008), as águas do Rio Belém se encontravam degradadas já no ano 2008, principalmente devido à presença de esgotos domésticos e de resíduos sólidos.

3.1.1 Caracterização da área de estudo

Schuster (1994) afirma que o primeiro sistema de esgotamento sanitário de Curitiba foi projetado pelo engenheiro Antônio Rebouças Filho e inaugurado em 24 de agosto de 1908. O sistema possuía um "*collector geral*", "*collectores secundários*" e uma "*instalação bacteriana*" para tratamento dos efluentes, lançados no Rio Belém.

Segundo o mesmo autor, os 25.000 habitantes da capital paranaense recebiam a água captada na Serra do Mar, no município de Piraquara, e transportada por gravidade ao longo de aproximadamente 38 km de adutora, até o reservatório do Alto São Francisco, do qual seguia para a distribuição em vinte e oito torneiras "espalhadas estrategicamente em vários pontos do quadro urbano".

A bacia do Rio Belém abriga edificações históricas, referenciadas nos relatos de Schuster (1994), como beneficiadas por um "regular serviço de água e *exgottos*" há mais de 100 anos. A Figura 24-a exhibe os principais bairros e vias presentes nesta bacia.

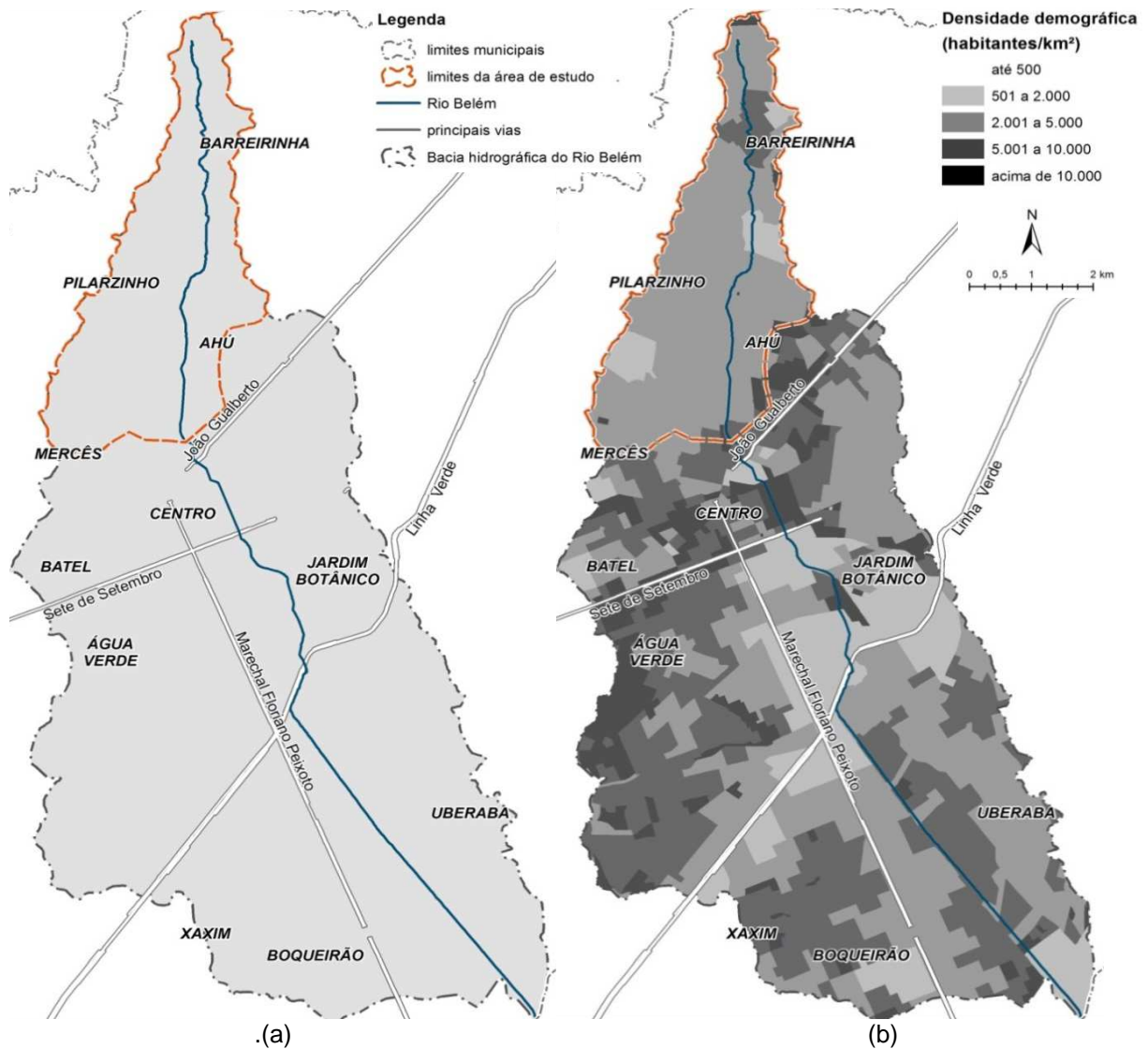


FIGURA 24 – BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM (a) COM DENSIDADE DEMOGRÁFICA (b)
 FONTE: Adaptado de IPPUC (2012a), IPPUC (2012c) e IBGE (2010a)

A Figura 24-b exibe a distribuição demográfica na bacia do Rio Belém segundo o IBGE (2010a), denotando variações menos intensas na área de estudo, na porção norte da bacia, se comparadas ao restante.

Bollmann e Edwiges (2008) avaliaram a qualidade das águas do Rio Belém em termos qualitativos e quantitativos, constatando condições ambientais mais degradadas a jusante da área de estudo. Marchiori (2014b) afirma que a despeito de já haverem sido elaborados diversos planos para limpá-lo, o Rio Belém permanece poluído em toda a sua extensão, impactado principalmente por lançamentos de esgoto clandestino.

Lançamentos irregulares de esgoto ocorrem mesmo nas regiões atendidas por rede coletora, conforme ilustrado por Marchiori (2014a) na Figura 25, no Mercado Municipal (1), na Rodoferroviária (2) e em uma de suas agências (3).



FIGURA 25 – LOCAIS COM LIGAÇÕES CLANDESTINAS DE ESGOTO
 FONTE: Adaptado de IPPUC (2012c) e Marchiori (2014a).

Segundo Ramme (2013), 93% dos domicílios de Curitiba possuem rede coletora instalada em sua rua, defronte aos imóveis, o que não significa que se encontrem efetivamente ligados à rede coletora.

SANEPAR (2014c) contabiliza na bacia hidrográfica do Rio Belém uma rede coletora de 1.700 km, com 77,3% de tubos de cerâmica, 19,4% de PVC, 1,6% de concreto armado e ainda seis outros tipos de materiais. Dentre os coletores de cerâmica e de PVC, predominam diâmetros de 150 mm (91,7%), 200 mm (2,8%) e 250 mm (1,3%). Os efluentes são tratados na ETE Belém e lançados no Rio Iguaçu (Figura 26).

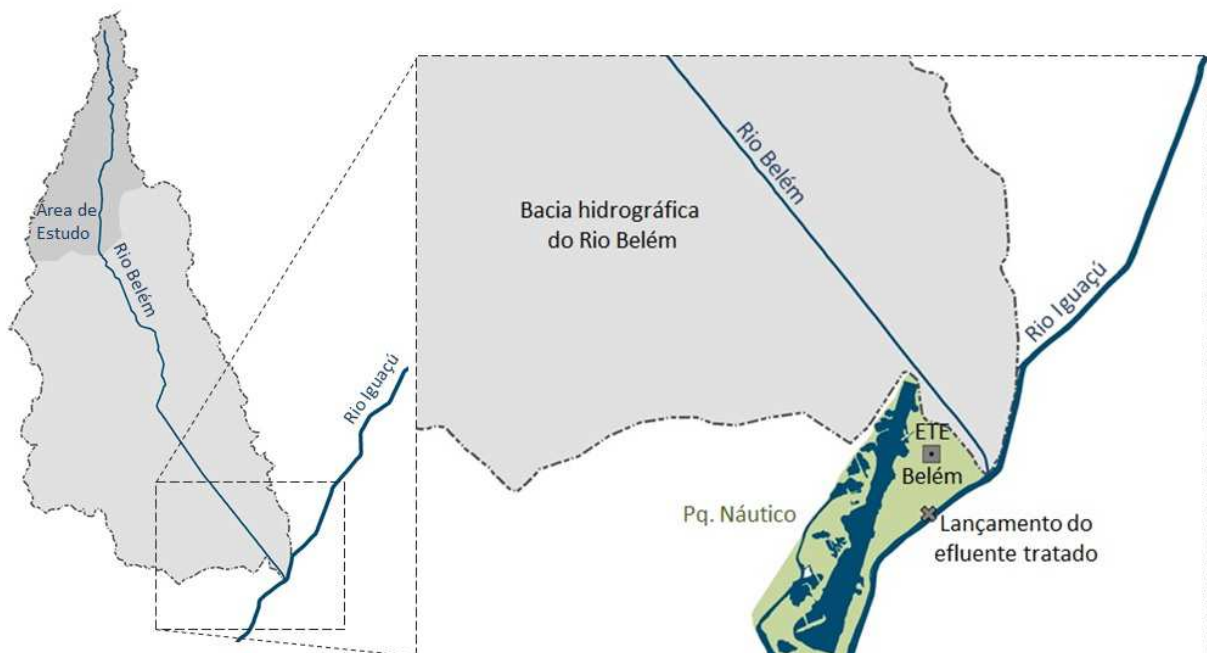


FIGURA 26 – LOCALIZAÇÃO DA ETE BELÉM, JUNTO À FOZ DO RIO BELÉM
 FONTE: Adaptado de IPPUC (2012c) e IPPUC (2012d)

O nível das águas do Rio Belém é registrado desde março de 1981 em duas leituras diárias, às 7h e 17h. A Estação fluviométrica 65011400 situa-se na Pontifícia Universidade Católica (PUC), nas coordenadas S 25° 27' 00" e W 49° 14' 56". De sua série histórica, tem-se a vazão média diária e a vazão específica da bacia.

A Figura 27 exhibe o valor médio mensal da vazão específica do Rio Belém, para os últimos 32 anos. Janeiro, na estação das chuvas, exhibe 51,7 L/s/km², cerca de uma vez e meia a vazão específica de agosto, em estiagem, com 34,9 L/s/km².

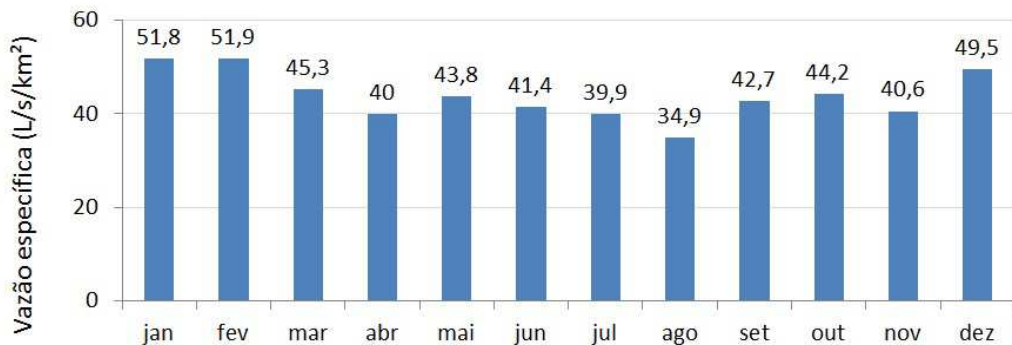


FIGURA 27 – MÉDIA MENSAL DAS VAZÕES ESPECÍFICAS DIÁRIAS
FONTE: Adaptado de Aguasparaná (2014a)

O comportamento do rio é informado pela curva de permanência apresentada na Figura 28. Por exemplo, apenas em 14% do período analisado de 1982 a 2014, a vazão específica esteve elevada, superando 50,5 L/s/km² (a). Já no caudal da curva, em 40% deste tempo, a vazão esteve abaixo de 28,8 L/s/km² (b).

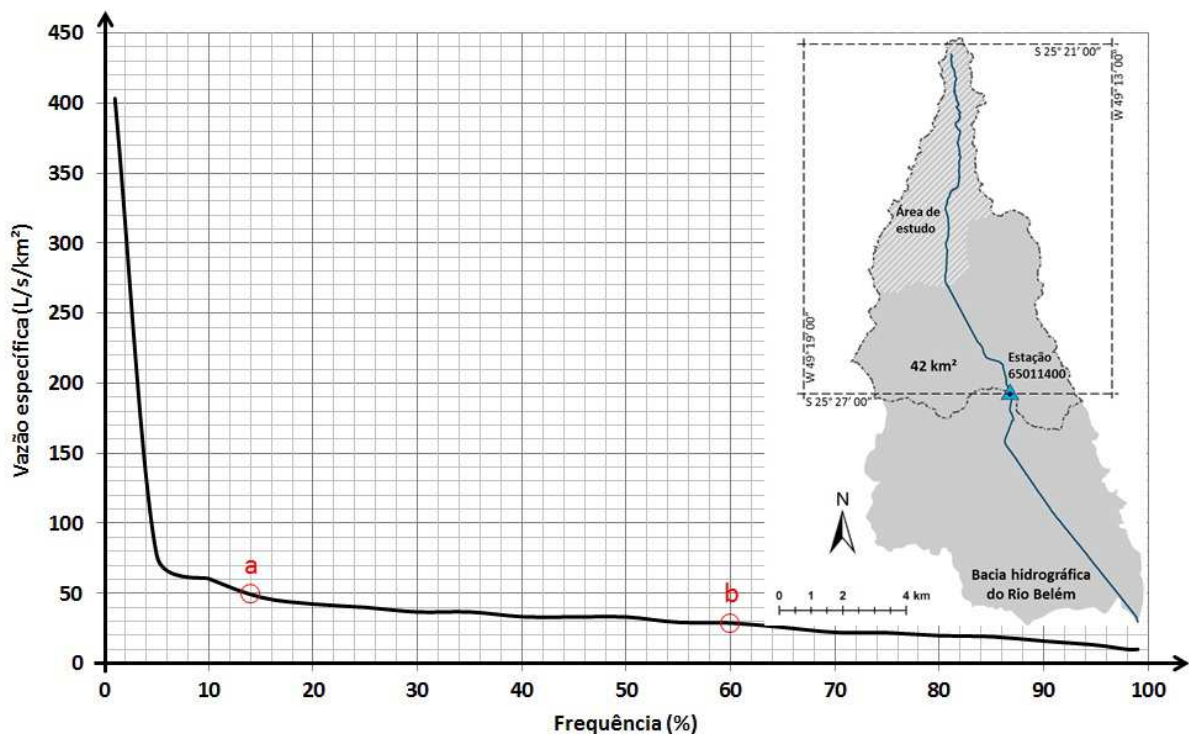


FIGURA 28 – CURVA DE PERMANÊNCIA DA VAZÃO ESPECÍFICA DO RIO BELÉM
FONTE: Adaptado de Aguasparaná (2014a)

Em termos territoriais (Tabela 1), a bacia do Rio Belém possui 87,5 km², abrangendo 1/5 do município de Curitiba. A área de estudo, com 15,3 km², corresponde a 3,5% do território municipal.

TABELA 1 - DIMENSÕES DE CURITIBA, BACIA DO RIO BELÉM E ÁREA DE ESTUDO

Território	Área (km ²)	%
Curitiba	435,0	100,0
Bacia hidrográfica do Rio Belém	87,5	20,1
Área de estudo	15,3	3,5

FONTE: Adaptado de IBGE (2010a)

Conforme mostra a Tabela 2, o Censo 2010 contabilizou 1,8 milhão de habitantes em Curitiba, com taxa de ocupação territorial de 4,3 mil hab/km². Na bacia hidrográfica do Belém residem 25,5% dessa população, mas em maior densidade, de 5,4 mil hab/km². Já a área de estudo possui 2,8% da população municipal, com densidade demográfica inferior, na ordem de 3,4 mil hab/km² (IBGE, 2010a).

TABELA 2 - POPULAÇÃO EM CURITIBA, BACIA DO RIO BELÉM E ÁREA DE ESTUDO

Território	Habitantes	%	Densidade (mil hab/km ²)
Curitiba	1.848.946	100,0	4,3
Bacia hidrográfica do Rio Belém	472.456	25,5	5,4
Área de estudo	51.649	2,8	3,4

FONTE: Adaptado de IBGE (2010a)

Uma justificativa para a menor densidade demográfica na área de estudo, tanto em relação à bacia hidrográfica do Rio Belém como ao município de Curitiba, reside nos parques e áreas verdes ali presentes, que segundo Bollmann (2008), são remanescentes da “cobertura vegetal original em variados estágios de antropização”.

Outro aspecto a se ressaltar é o predomínio residencial horizontal na área de estudo, dos quais Bollmann (2008) afirma estarem associados a diferentes níveis sócio-econômicos. O bairro Centro Cívico não se enquadra neste perfil, possuindo suas diversas instituições governamentais na maior parte de sua área.

3.2 METODOLOGIA

Para se cumprir com os objetivos do presente trabalho foram realizados os seguintes passos metodológicos: descrição da metodologia do PRRU, análise do balanço de massa do sistema rio urbano, análise do parâmetro OD como indicador de pontos frágeis na RCE, compilação da base de dados do Programa e identificação dos pontos fortes e fracos do PRRU. Sua descrição é apresentada nos tópicos que seguem.

3.2.1 Descrição da metodologia do PRRU

Primeiramente foram reunidos documentos, dados e informações do PRRU, acrescidos de informações colhidas junto aos executores do Programa.

Premissas e conceitos foram definidos para se entender como funciona o PRRU. Das premissas se obteve as hipóteses pelas quais as condições ambientais do rio urbano atendem às necessidades do Programa. Dos conceitos foram identificados os meios pelos quais o método conduz à localização de pontos frágeis na RCE.

Para se validar as premissas aqui definidas, foram empreendidas as seguintes análises acerca da estabilidade do OD no corpo hídrico:

- análise da estabilidade do OD no decorrer de um dia: avaliada a uma distância superior a 5 quilômetros na nascente, onde o rio já sofre influência das ações antrópicas no entorno. As concentrações de OD foram medidas em oito coletas, distribuídas no intervalo de 24 horas;
- análise da estabilidade do OD ao longo de cinco dias: amostragens realizadas em horário fixo, tomadas em dois corpos hídricos apresentando condições ambientais distintas.

A metodologia foi descrita conforme as cinco etapas que compõem o ciclo do PRRU e adaptada ao fluxograma operacional do Programa, fornecido por Skroch (2013).

3.2.2 Análise de balanço de massa para o sistema rio urbano

O sistema rio urbano foi modelado segundo um balanço de massa dos componentes de interesse à atuação do PRRU. As entradas e saídas deste sistema foram identificadas, elaborando-se um diagrama de correntes e uma formulação matemática.

3.2.3 Análise do OD como indicador de pontos frágeis na RCE

O uso do OD como indicador de evento poluidor foi validado em trabalho de campo, mediante amostragens sob o esquema da Figura 29: P_1 e P_2 nos extremos do trecho de rio, P_3 na meia-distância e P_4 entre as seções com menor valor de OD.

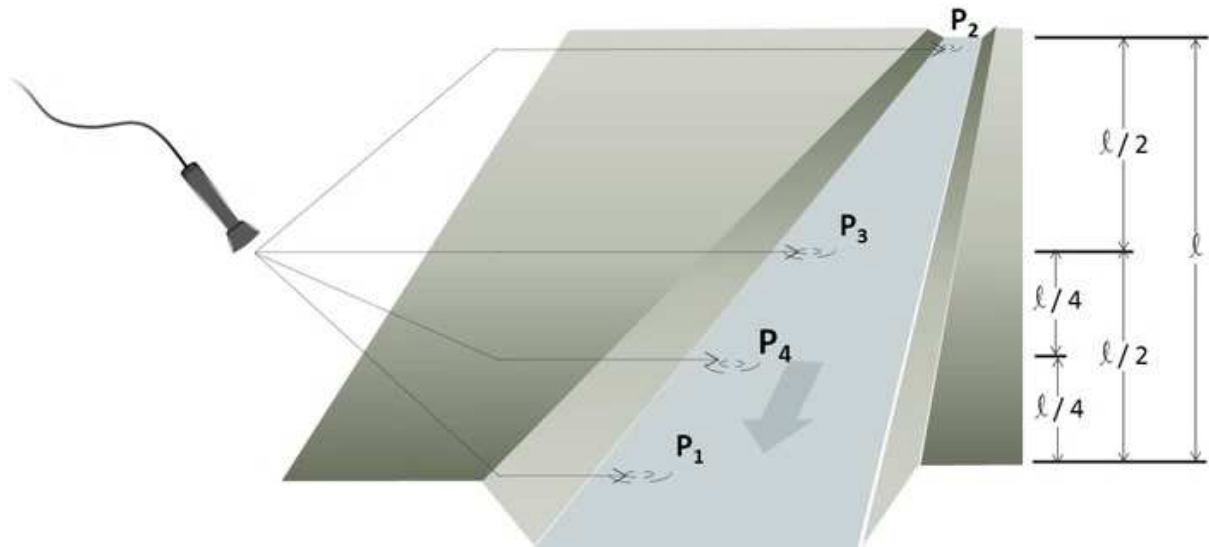


FIGURA 29 – ESQUEMA DE AMOSTRAGENS PARA AVALIAR O USO DO OD NO PRRU

Concluídas as medições no corpo hídrico, foi elaborado o gráfico de Perfil do rio, orientando a busca de eventos poluidores, segundo o método do PRRU.

3.2.4 Compilação da base de dados do PRRU

A atuação do PRRU na bacia do Rio Belém foi analisada para o período de 3 de agosto de 2010 a 6 de julho de 2014, em medições de OD, registros fotográficos e obras corretivas na RCE (SANEPAR, 2014b; SANEPAR, 2014e), acrescidos de:

- pluviosidade, da estação 2549075 provida por Aguasparaná (2014b), útil por indicar se as medições de OD foram influenciadas pela ocorrência de chuva;
- temperatura, da estação SBBI (INPE, 2014). Seu conhecimento é importante devido a estar relacionado às concentrações de OD na água;
- vazão específica: obtida da vazão média diária, útil à análise das concentrações de OD medidas na rede hídrica a montante da estação fluviométrica.

3.2.5 Análise dos resultados obtidos no presente trabalho

As informações acerca do PRRU permitiram propor sua integração às rotinas de manutenção da RCE e um gráfico ilustrando a fragilização desta estrutura. Também foram identificados pontos fortes e fracos do Programa.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, são apresentadas análises acerca do PRRU, atividades de campo e discussões sobre o tema, organizadas conforme segue.

No primeiro tópico, são apresentadas as premissas assumidas pelo PRRU acerca das condições ambientais do rio urbano e as análises de campo efetuadas para sua validação. Na sequência, descreve-se o método de trabalho do Programa.

Na sequência, encontra-se o trabalho de campo empreendido para se validar o uso do parâmetro OD como indicador de pontos frágeis na RCE.

No terceiro tópico, têm-se os resultados já obtidos pelo Programa, nos quatro anos de sua atuação na bacia hidrográfica do Alto Rio Belém, com análise da evolução do parâmetro OD em seu rio principal.

Um balanço de massa é elaborado à luz do PRRU, propondo-se um modelo e uma formulação matemática acerca das correntes que compõem o sistema rio urbano.

Finalmente, discute-se o processo de fragilização da estrutura física de uma rede coletora operando em extenso período, bem como a aplicabilidade dos indicadores do esgotamento sanitário. O PRRU é descrito em seus pontos fortes e fracos, propondo-se sua integração às tecnologias convencionais de manutenção.

4.1 DESCRIÇÃO DO MÉTODO DE TRABALHO DO PRRU

O trabalho do PRRU encontra-se alicerçado em premissas acerca das condições ambientais do rio urbano. O presente tópico inclui os resultados de duas análises de campo empreendidas no intuito de sua validação.

4.1.1 Premissas do PRRU

As análises do PRRU se firmam na premissa de que o rio urbano é um sistema estacionário, apresentando concentrações estáveis de carga orgânica durante o período em que se realiza o levantamento do Perfil do rio. Com isto, as amostragens fornecem resultados compatíveis à amostragem instantânea das seções, admitindo-se as seguintes hipóteses:

- I. A fonte poluidora promove uma perturbação contínua nas águas do rio;
- II. O sistema em análise encontra-se em estado estacionário;
- III. Os parâmetros analisados encontram-se em regime estacionário no intervalo de tempo em que acontecem as coletas das amostras.

4.1.2 Análise da estabilidade do parâmetro OD

A estabilidade do parâmetro OD foi avaliada no período de um dia e no decorrer de cinco dias, com o propósito de validar as premissas do PRRU. A validação destas premissas é importante por implicar na assertividade das buscas por eventos poluidores.

4.1.2.1 Estabilidade do OD no decorrer de um dia

A estabilidade do OD no decorrer de um dia foi avaliada no Rio Belém a 5.300 metros da nascente, junto ao cruzamento das ruas Cecília Meirelles e João Loprete Frega, na seção identificada pelo número 1, na Figura 30.

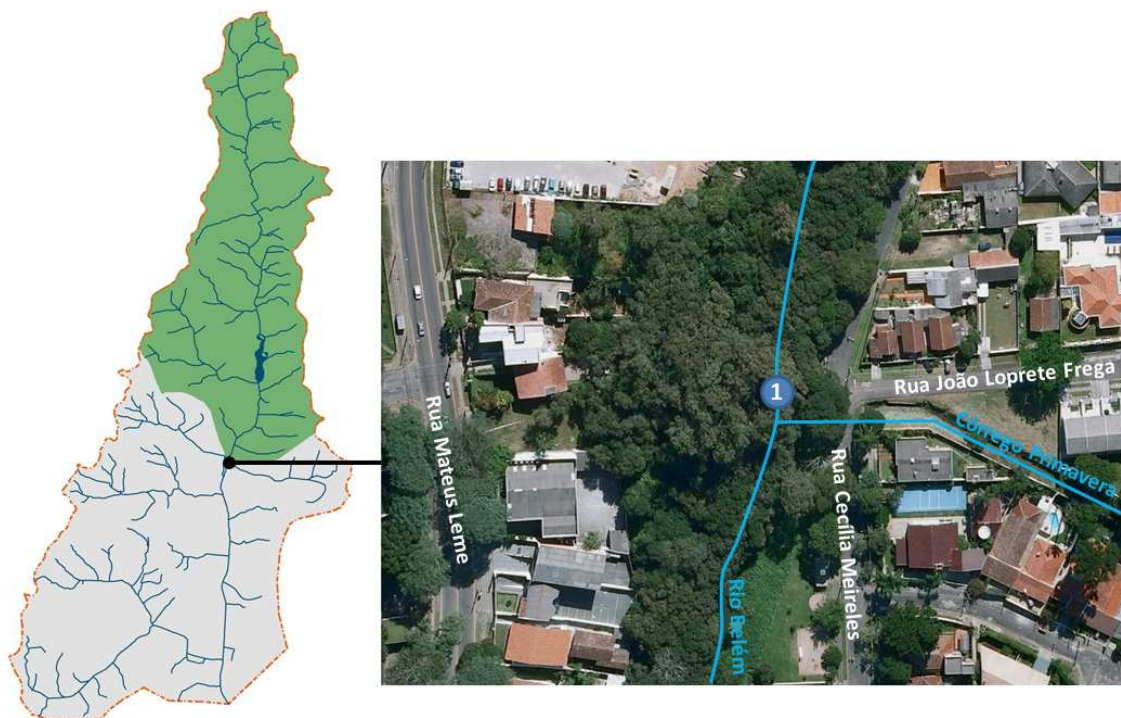


FIGURA 30 – SEÇÃO AMOSTRADA NO RIO BELÉM (1), NO DECORRER DE UM DIA
 FONTE: Adaptado de Google Earth (2009)

Os resultados obtidos nas medições de OD no decorrer de um dia permitiram traçar a curva da Figura 31, descrevendo as variações obtidas nas concentrações de OD. Da análise da curva se observa:

- uma suave ascensão do OD no período da manhã;
- redução gradual durante a tarde;
- redução um pouco mais acentuada, no início da noite;
- o comportamento do rio se assemelha ao funcionamento da rede coletora, recebendo cargas orgânicas em diversas intensidades, conforme as atividades domésticas e comerciais se intensificam na bacia hidrográfica a montante.

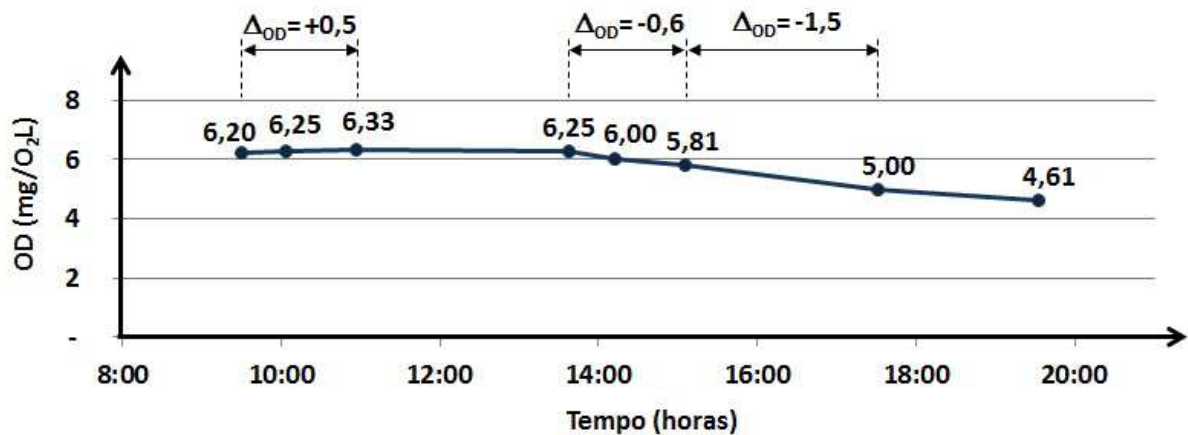


FIGURA 31 – OD MÉDIO NO RIO BELÉM EM 30.JUL.14, A 5.300 METROS DA NASCENTE

A Figura 31 revela um pico nos valores de OD no intervalo das 11 horas às 13h30m. O valor máximo de 6,45 mgO₂/L foi medido às 10h45m, enquanto o mínimo, de 4,56 mgO₂/L, às 19h40m. Portanto, o período analisado apresentou a amplitude máxima de 1,89 mgO₂/L em cerca de 9 horas.

As flutuações das concentrações de OD encontram-se resumidas na Tabela 3, confirmando variações menores no período da manhã e maiores nos períodos da tarde e início da noite, para as medições de OD exibidas adiante na Tabela 4.

TABELA 3 - VARIAÇÕES DE OD EM DIFERENTES PERÍODOS DO DIA

Item	Período			
	manhã		Tarde	
	9:30 - 11:00	13:30 - 15:00	15:00 - 17:30	13:30 - 17:30
OD Máximo (mgO₂/L)	6,45	6,37	5,87	6,37
OD Mínimo (mgO₂/L)	5,95	5,75	4,90	4,90
Amplitude, Δ_{OD} (mgO₂/L)	0,50	0,62	0,97	1,47
Intervalo de tempo	1h30m	1h30m	2h30m	4h

Cabe ressaltar que a estabilidade obtida no decorrer de um dia pode ter sido beneficiada pela proximidade ao lago do Parque São Lourenço, distante 387 metros a jusante da seção analisada, o qual atua como estabilizador das condições ambientais do corpo hídrico. Todavia, há que se considerar a contribuição das águas do Córrego do Gava, que afluem ao Rio Belém antes da seção amostrada, reduzindo o efeito atenuador do lago.

TABELA 4 - OD MEDIDO NO RIO BELÉM EM 30.JUL.14, A 5.300 METROS DA NASCENTE

	Temperatura (°C)	hora	OD (mgO ₂ /L)	Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)
1ª	16	09:24:55	6,22	15,7	63,5	926
		09:27:55	6,17	15,5	67,6	926
		09:30:07	6,19	15,6	68,0	926
		09:32:16	6,21	15,6	62,3	926
		09:34:11	6,21	15,6	68,3	926
		09:36:50	6,21	15,6	62,3	926
2ª	18	10:03:51	6,30	15,6	69,3	927
		10:05:51	6,23	15,7	68,7	927
		10:07:37	6,28	15,7	69,3	927
		10:09:27	6,27	15,7	69,1	927
		10:11:14	6,22	15,7	68,6	927
		10:13:00	6,19	15,8	68,2	927
3ª	20	10:44:57	6,45	16,1	71,7	927
		10:47:17	6,35	16,1	70,5	927
		10:49:34	6,23	16,1	69,2	927
		13:49:34	5,95	16,1	66,2	927
		10:52:14	6,27	16,1	69,8	927
		10:54:33	6,33	16,1	70,4	927
4ª	27	13:50:00	6,28	17,8	72,5	923
		13:48:38	6,21	17,8	71,7	923
		13:46:59	6,22	17,8	71,8	923
		13:45:25	6,19	17,8	71,5	923
		13:43:43	6,25	17,7	72,1	923
		13:42:03	6,37	17,7	73,6	923
5ª	27	14:04:00	5,92	18,1	68,9	923
		14:04:16	5,91	18,1	68,8	923
		14:05:51	6,05	18,0	70,3	923
		14:07:35	6,00	18,0	69,8	923
		14:09:15	6,02	18,0	69,9	923
		14:11:10	5,98	18,0	69,5	923
6ª	26	15:16:00	5,75	17,9	66,7	922
		15:13:48	5,79	17,9	67,2	922
		15:11:56	5,87	17,9	68,2	922
		15:10:00	5,81	17,9	67,5	922
		15:08:17	5,80	18,0	67,4	922
		15:05:51	5,84	18,1	68,0	922
7ª	18	17:42:00	4,94	17,4	56,6	923
		17:39:21	4,95	17,4	56,8	923
		17:37:49	4,90	17,4	56,2	923
		17:35:31	5,02	17,4	57,6	923
		17:33:52	5,02	17,5	57,7	923
		17:31:41	5,17	17,7	59,7	923
8ª	14	19:45:00	4,57	17,3	52,3	922
		19:42:45	4,59	17,2	52,4	922
		19:40:14	4,56	17,3	52,1	922
		19:37:23	4,60	17,3	52,6	922
		19:35:29	4,63	17,3	53,0	922
		19:33:09	4,70	17,5	54,0	922

4.1.2.2 Estabilidade do OD ao longo de cinco dias

A estabilidade do OD ao longo de cinco dias foi analisada nos dois corpos hídricos vistos na Figura 32: o Rio Belém, na chegada das águas no Parque São Lourenço, com águas em bom aspecto visual, e o Rio Água Verde, afluente do Rio Belém em intensa degradação.

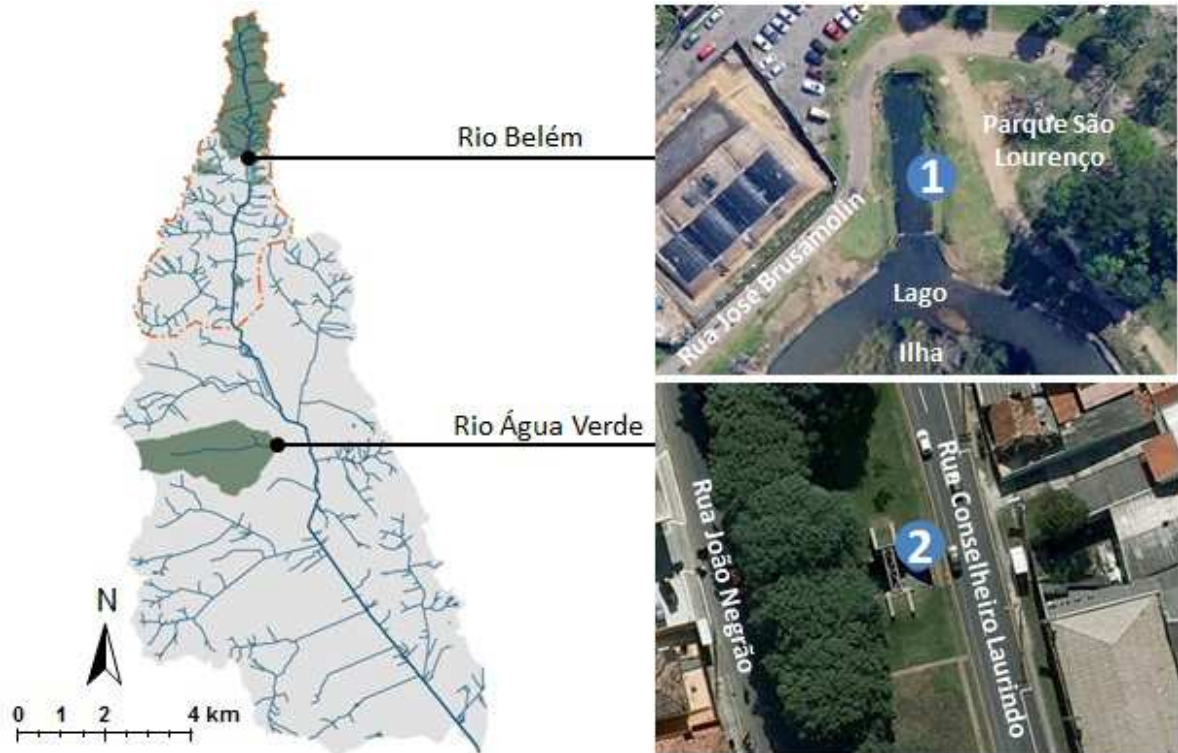


FIGURA 32 – SEÇÕES AMOSTRADAS NO RIO BELÉM (1) E NO RIO ÁGUA VERDE (2)
 FONTE: Adaptado de Google Earth (2012)

A Figura 32 localiza as seções de rio amostradas, conforme descritas abaixo:

- Rio Belém (1), com seção situada nas coordenadas S 25° 22' 53,35" e W 49° 15' 59,13", a vinte metros da chegada de suas águas no lago do Parque São Lourenço. Esta seção forma uma bacia hidrográfica de 3,63 km², a qual vem recebendo as atenções do PRRU desde o início do Programa;
- Rio Água Verde (2), amostrado em S 25° 26' 47,02", W 49° 15' 30,31", junto à Rua Conselheiro Laurindo, com bacia hidrográfica de 3,96 km² densamente urbanizada, incluindo verticalização nas cabeceiras.

As amostragens de OD foram realizadas em horários fixos, às 16h30m para o Rio Água Verde e 17h para o Rio Belém. Os resultados revelaram concentrações de OD estáveis, com valores médios próximos entre si, como mostram as curvas de cada rio, exibidas na Figura 33.

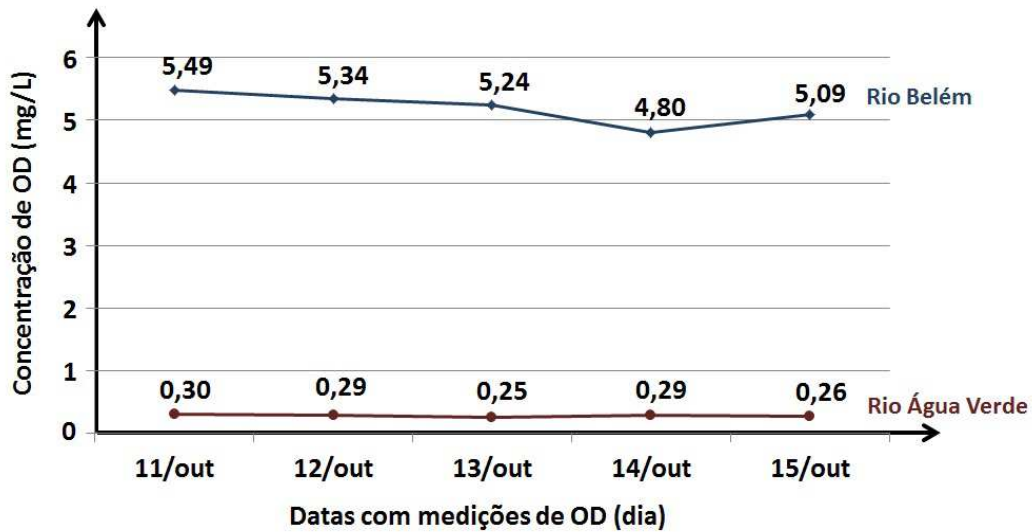


FIGURA 33 – CONCENTRAÇÕES MÉDIAS DE OD NOS RIOS BELÉM E ÁGUA VERDE

As Tabelas 5 e 6 listam as concentrações de OD medidas no Rio Belém, enquanto as Tabelas 7 e 8 registram as medições do Rio Água Verde. De sua análise tem-se que:

- o OD no Rio Belém apresenta desvios-padrões inferiores a 2%;
- no Rio Água Verde, os desvios-padrão chegaram a 22,9% do valor médio, mas em valores absolutos, assemelham-se aos do Rio Belém.

As pequenas variações obtidas nas medições de OD, verificadas tanto no Rio Belém, como no Rio Água Verde, validam a premissa de que o rio urbano pode ser entendido como um sistema estacionário, de OD estável no intervalo das amostragens de Perfil do rio.

Ressalta-se que as seções escolhidas em ambos os rios estão situadas logo após trechos canalizados, nos quais o corpo hídrico permanece em contato com uma atmosfera confinada, em estabilidade térmica, o que poderia influenciar nos valores de OD mensurados. No caso da seção visitada no Rio Belém, todavia, o trecho canalizado se resume a 50 metros, uma distância insuficiente para conferir alterações notáveis nas condições ambientais do corpo hídrico.

Os valores de OD obtidos para o Rio Água Verde revelam que este se encontra na zona séptica dos despejos a montante, condição na qual as águas do rio encontram-se na saturação do consumo de OD. Nesta condição, as concentrações desta substância na água já não respondem de forma direta ao aporte de carga orgânica, não mais se verificando uma relação biunívoca entre ambos.

TABELA 5 – VALORES DE OD OBTIDOS NAS AMOSTRAGENS DO RIO BELÉM

Data	Temperatura Ambiente (°C)	Medição	OD (mgO ₂ /L)	Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)
11-out-13	23	1ª	5,52	20,1	63,4	914
		2ª	5,49	20,1	67,3	914
		3ª	5,48	20,1	67,4	914
		4ª	5,47	20,1	67,6	914
12-out-13	25	1ª	5,42	20,7	67,4	912
		2ª	5,30	20,7	65,7	913
		3ª	5,30	20,7	65,8	912
		4ª	5,34	20,7	65,8	912
13-out-13	27	1ª	5,30	20,4	65,5	910
		2ª	5,24	20,2	64,6	910
		3ª	5,20	20,2	64,0	910
		4ª	5,21	20,3	64,3	910
14-out-13	29	1ª	4,83	21,9	61,5	909
		2ª	4,80	21,4	60,6	909
		3ª	4,78	21,3	60,3	909
		4ª	4,79	21,7	60,9	909
15-out-13	21	1ª	5,18	20,2	63,5	914
		2ª	5,07	19,8	61,7	914
		3ª	5,02	19,7	60,9	914
		4ª	5,08	19,9	62,0	914

OBS: Temperatura ambiente fornecida por INPE (2014), para os dias de 11 a 15 de outubro de 2013

TABELA 6 – MÉDIAS DIÁRIAS DE OD NA SEÇÃO DO RIO BELÉM

Data	Temperatura Ambiente (°C)	OD (mgO ₂ /L)		Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)
		Média	Desvio-padrão			
11-out-14	24	5,49	0,02	20,1	67,3	914
12-out-14	25	5,34	0,06	20,7	66,3	912
13-out-14	27	5,24	0,04	20,3	64,6	910
14-out-14	29	4,80	0,02	21,6	60,8	909
15-out-14	21	5,09	0,07	19,9	62,0	914

TABELA 7 - VALORES DE OD OBTIDOS NAS AMOSTRAGENS DO RIO ÁGUA VERDE

Data	Temperatura Ambiente (°C)	Medição	OD (mgO ₂ /L)	Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)
11-out-13	23	1ª	0,36	20,5	4,2	917
		2ª	0,30	20,5	3,7	917
		3ª	0,28	20,5	3,3	917
		4ª	0,26	20,5	3,5	917
12-out-13	24	1ª	0,34	20,8	4,2	915
		2ª	0,26	20,8	3,2	916
		3ª	0,26	20,8	3,2	916
		3ª	0,28	20,8	3,2	916
13-out-13	25	1ª	0,32	21,1	4,0	913
		2ª	0,24	21,0	3,0	913
		3ª	0,19	21,0	2,4	913
		4ª	0,26	21,1	3,2	914
14-out-13	30	1ª	0,35	22,0	4,5	914
		2ª	0,26	21,7	3,3	913
		3ª	0,27	21,7	2,8	913
		4ª	0,28	21,9	3,6	914
15-out-13	22	1ª	0,33	21,8	4,1	917
		2ª	0,28	21,7	3,5	917
		3ª	0,20	21,7	2,5	917
		4ª	0,22	21,7	2,8	917

OBS: Temperatura ambiente fornecida por INPE (2014), para os dias de 11 a 15 de outubro de 2013

TABELA 8 - MÉDIAS DIÁRIAS DE OD NA SEÇÃO DO RIO ÁGUA VERDE

Data	Temperatura Ambiente (°C)	OD (mgO ₂ /L)		Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)
		Média	Desvio-padrão			
11-out-14	23	0,30	0,04	20,5	3,7	917
12-out-14	24	0,29	0,04	20,8	3,5	916
13-out-14	25	0,25	0,05	21,1	3,2	913
14-out-14	30	0,29	0,04	21,8	3,6	914
15-out-14	22	0,26	0,06	20,6	3,2	917

4.1.3 A metodologia do PRRU

O PRRU tem início na avaliação de um domínio de rede coletora ou das condições ambientais de um corpo hídrico. Tais demandas podem ser acionadas tanto pelo plano de manutenções da rede coletora, como por outros motivos, como demandas de instituições externas ou dos agentes do monitoramento participativo, conforme discutido adiante na etapa 5, de “acompanhamento”.

O fluxograma da Figura 34 descreve o funcionamento do Programa, distinguindo em cores as cinco etapas do ciclo do PRRU e suas principais ações. Por exemplo, a análise de Perfil do rio, na etapa 1 de “análise preliminar”, contempla a instância “há queda no OD?”, herdeira de “levantar o Perfil do rio” e precursora de “alto OD associado a condição boa?” e “delimitar campo de investigação”.

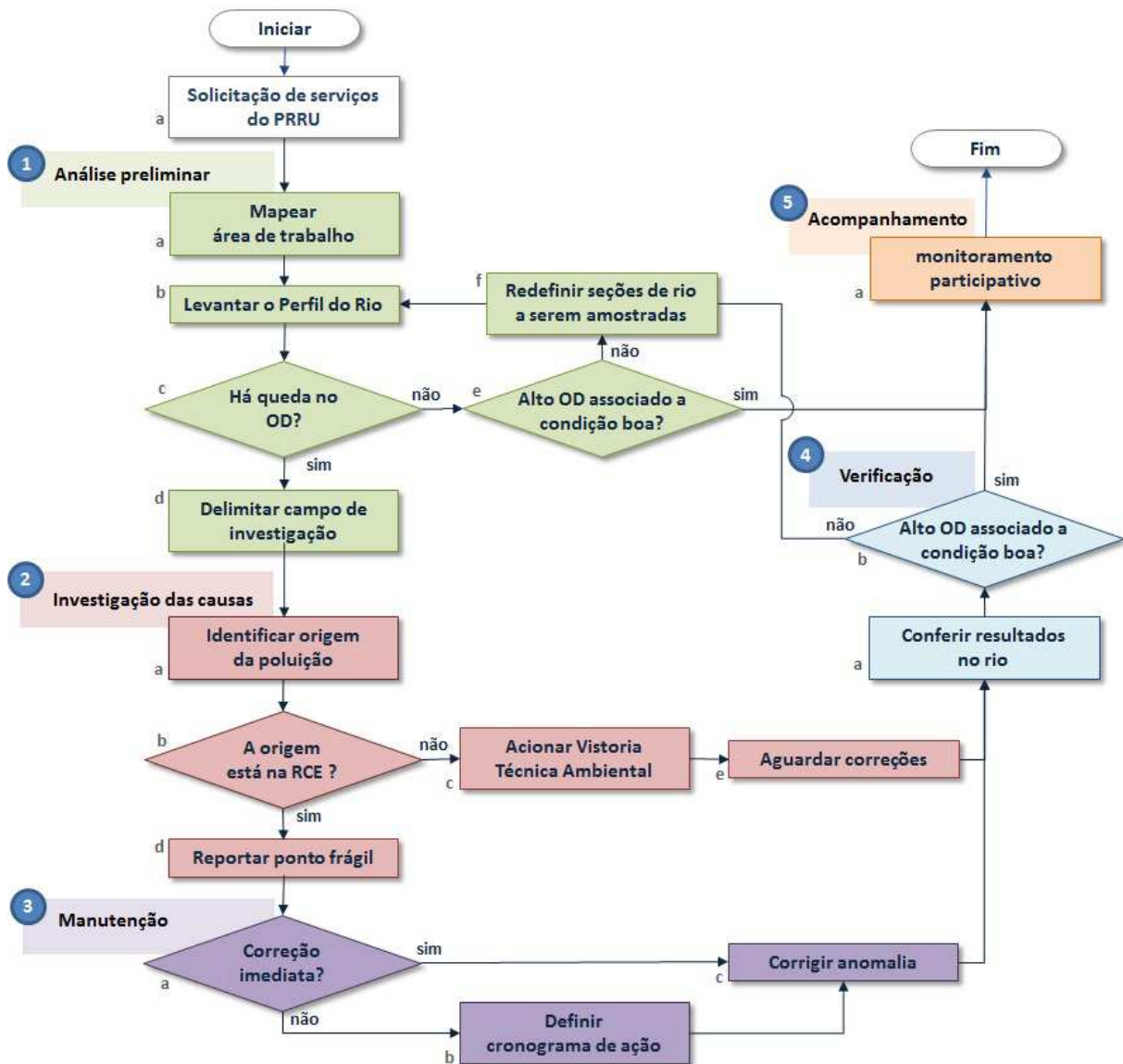













FIGURA 34 – DIAGRAMA DE FLUXO DOS PROCESSOS DO PRRU
 FONTE: ADAPTADO DE SKROCH (2013)

4.1.3.1 Análise preliminar

As ações do PRRU iniciam no processo 1-a da Figura 34, “mapear área de trabalho”, com delimitação da bacia hidrográfica e elaboração do mapa de campo.

O mapa de campo contém rede hídrica, rede viária, RCE instalada, áreas verdes e pontos de referência. Também são adicionadas camadas de informação de pontos frágeis já localizados e corrigidos, bem como amostragens recentes de OD. Limites políticos, imagens orbitais e outras informações de apoio são incluídos conforme a necessidade.

O Quadro 9 exhibe a convenção de símbolos e cores utilizados no mapa de campo para feições geográficas fundamentais à orientação do executor do PRRU,.

Tema	Feição geográfica	Convenção
Bacia hidrográfica	Divisor de águas	
RCE	PV	
	Coletor	
	Sentido do fluxo	
Rede hidrográfica	Rio, córrego	
	Lagoa, reservatório	
Rede viária	Rua, avenida, acesso	
Grandes áreas verdes	Parque, bosque, reserva	
PRRU	OD medido	
	Ponto frágil localizado	
	Ponto frágil corrigido	

QUADRO 9 – CONVENÇÕES UTILIZADAS NO MAPA DE CAMPO

De posse do mapa de campo, procede-se o planejamento das atividades, definindo-se as seções de rio que serão visitadas em “levantar o Perfil do rio” (processo 1-b da Figura 34). Também já se identificam os principais coletores da RCE que situados a montante destas seções.

As análises do PRRU consideram o OD medido no corpo hídrico como um valor quantitativo e também qualitativo, conforme segue:

- Valor quantitativo: grandeza escalar indicativa do OD no rio, com dois dígitos decimais;

- Valor qualitativo: designa valores iguais ou superiores a 5 mgO₂/L por “OD alto” e os demais, por “OD baixo”. O limiar de 5 mgO₂/L é entendido pelo PRRU como o nível a partir do qual o rio urbano se recupera mais facilmente dos danos causados pela poluição. O limiar em questão é referenciado ao CONAMA 357/2005 como a concentração mínima exigida para rios classe 2 (BRASIL, 2005).

A atividade “levantar o Perfil do rio” (processo 1-b na Figura 34) consiste em medir as concentrações de OD ao longo do rio principal da bacia. As medições somente são efetuadas 48 horas após chuva forte na bacia hidrográfica em análise, já que tal evento eleva os níveis de OD no corpo hídrico.

As distâncias entre as seções do corpo hídrico em análise são espaçadas de 500 metros a 1 quilômetro, conforme a extensão do rio e a disponibilidade de acesso às seções que se deseja amostrar.

As visitas às seções de rio incluem a observação expedita dos aspectos perceptivos de cor, turbidez e odor, traduzidos em “condição boa” ou “condição ruim” e sinalizados no mapa de campo, conforme o Quadro 10:

- Condição boa: o rio não possui elementos que indiquem a presença significativa de cargas orgânicas;
- Condição ruim: a água possui tonalidade acinzentada e fundo lodoso, chegando a carrear material particulado e apresentar mau cheiro.

Condição	Aspecto visual	Descrição	Aspecto olfativo	Notação no mapa
Boa	Natural	Águas cristalinas, enxerga-se o fundo do rio	Sem odor	(○○)
			Mau cheiro	(○)
Ruim	Cinza	Águas acinzentadas, opacas ou com turbidez acentuada, podendo apresentar mau cheiro	Sem odor	(✕)
			Mau cheiro	(✕✕)

QUADRO 10 - SINALIZAÇÃO DOS ASPECTOS ORGANOLÉPTICOS OBSERVADOS NO RIO

As medições de OD requerem cuidados nos trechos onde há despejo de cargas poluidoras visíveis a olho nu, como ilustra a Figura 35. Para se minimizar a influência do evento poluidor nas leituras de OD, contorna-se a pluma de poluição, conforme indicado pelas setas tracejadas, evitando-se as marcações em vermelho. O despejo em questão é anotado no mapa de campo, para ser posteriormente investigado.

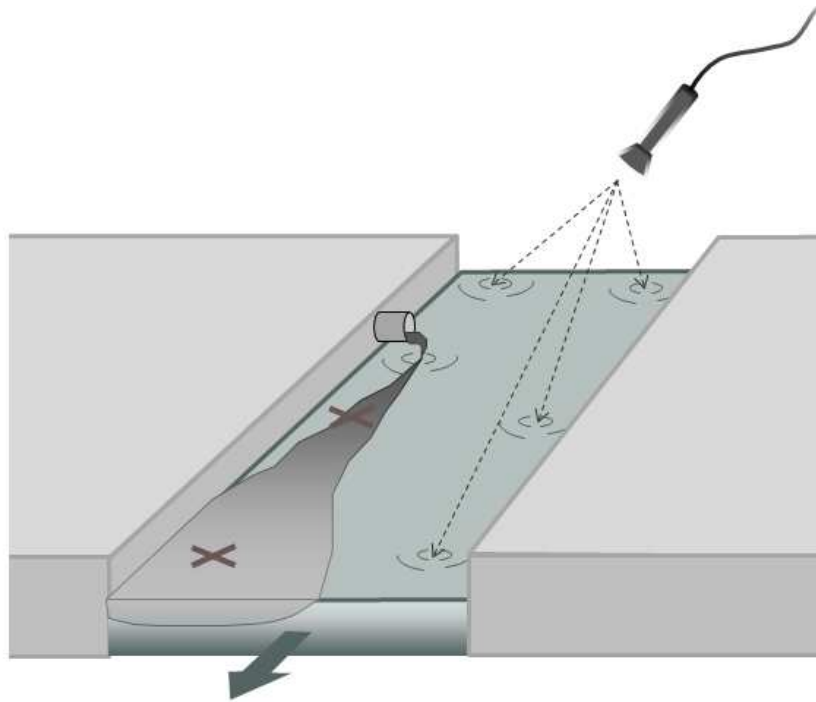


FIGURA 35 – DESPEJO VISÍVEL NO CURSO DO RIO

Ao se concluir o levantamento de Perfil do rio, procede-se a verificação da instância “há queda de OD” (1-c da Figura 34), da qual decorrem as seguintes opções:

- Não há queda de OD: verifica-se a possibilidade de o rio apresentar “alto OD associado a condição boa” (instância 1-e), indicando não haver despejos significativos de carga orgânica e conduzindo à etapa 5, de “acompanhamento”. A negação desta instância, por outro lado, remete a um corpo hídrico degradado, devendo-se “redefinir seções de rio a serem amostradas” (processo 1-f) para novamente se “levantar o Perfil do rio” (processo 1-b);
- Há queda de OD: deve-se “delimitar campo de investigação” (processo 1-d) conforme a topografia de drenagem das águas, nos terrenos situados logo a montante das seções de início e fim da queda de OD. O campo de investigação envolve toda a queda de OD por não se conhecer com precisão as seções de rio de seu início e término.

O processo “delimitar campo de investigação” (1-d, Figura 34) pode ser realizado sucessivas vezes, conforme o diagrama da Figura 36. No caso de haver “queda de OD em trecho extenso” de rio, pode-se “reduzir espaçamento entre amostragens” no trecho considerado. Mas no caso de haver um afluente no campo de investigação, é preciso “verificar OD no afluente”, com novo levantamento de Perfil do rio.

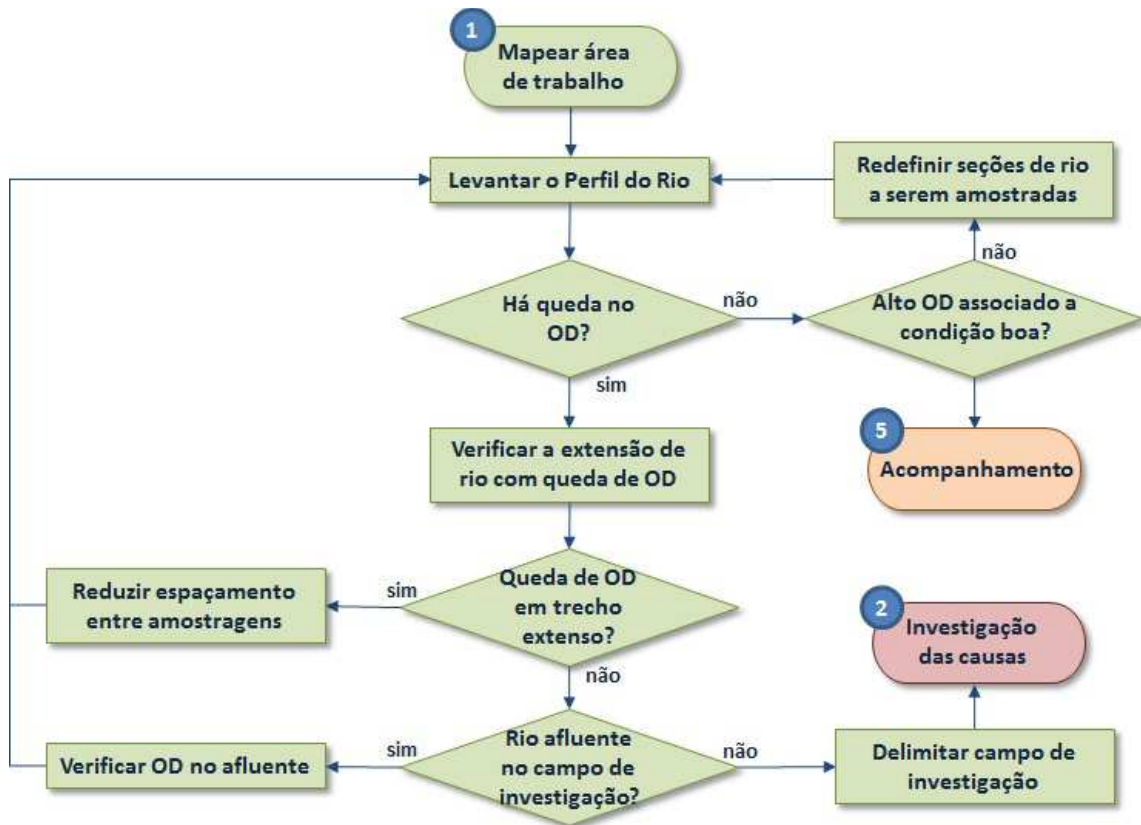


FIGURA 36 - AÇÕES PARA REDUÇÃO DO CAMPO DE INVESTIGAÇÃO

A atividade “reduzir espaçamento entre amostragens”, exibida no diagrama da Figura 36, é aplicada apenas no trecho de rio com queda de OD, resultando em um campo de investigação de menor tamanho, como mostra a Figura 37.

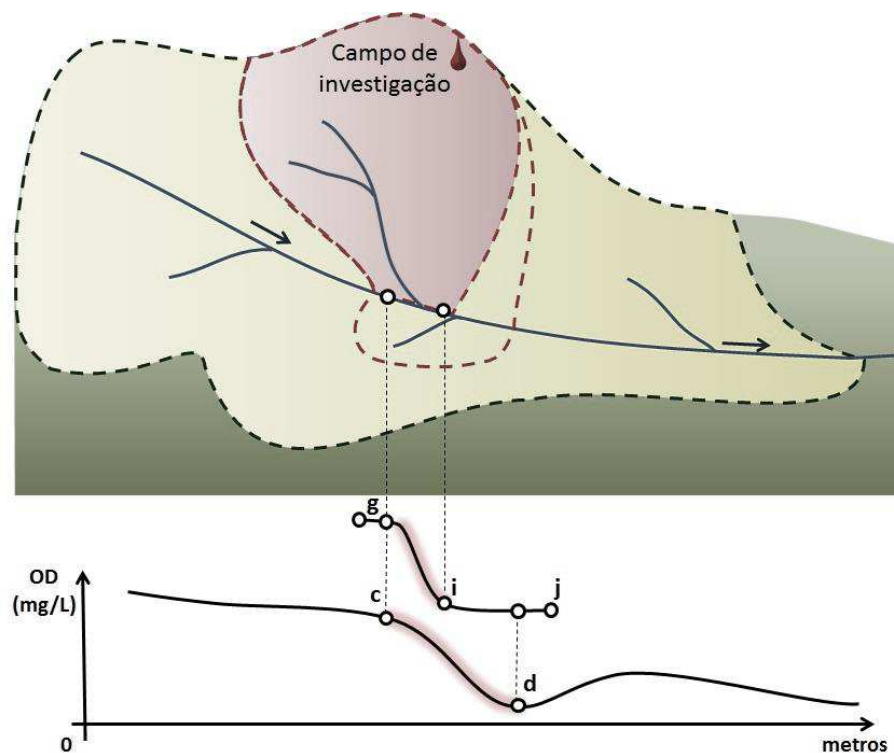


FIGURA 37 – REFINAMENTO DO PERFIL DO RIO, NO TRECHO COM QUEDA DE OD

O diagrama da Figura 36 verifica se existe um “rio afluente no campo de investigação”, no qual se procede um levantamento de Perfil do rio específico na extensão do afluente (Figura 38).

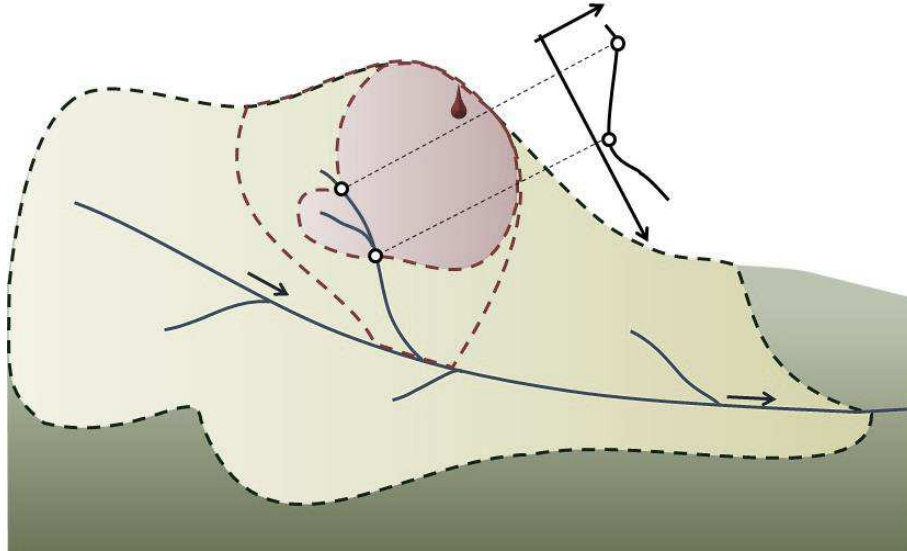


FIGURA 38 – LEVANTAMENTO DE PERFIL DO RIO AFLUENTE

Caso se observe uma queda de OD na bacia hidrográfica do rio afluente, restringe-se campo de investigação à bacia hidrográfica do rio afluente. Mais precisamente, este campo fica restrito à área de drenagem das águas ao trecho que apresentou a queda de OD.

4.1.3.2 Investigação das causas

Para encontrar o evento poluidor, o PRRU avalia o corpo hídrico à luz do processo de autodepuração do rio, exibido anteriormente na Figura 10 (Página 34) e traduzido no binômio aspecto-OD. A aplicação das regras de interpretação apresentadas no Quadro 11 confere agilidade às atividades desta etapa de investigação das causas:

- Condição ruim associada a OD alto: há despejo de carga orgânica nas proximidades, a montante. Remete à zona de decomposição;
- Condição boa associada a OD baixo: a fonte de poluição está a meia-distância, pois a carga orgânica já foi decomposta e o OD ainda se recupera;
- Condição boa e OD alto: não tem proveito ao PRRU, devido a não evidenciar poluição por carga orgânica;
- Condição ruim e OD baixo: não fornece orientações acerca de onde localizar o evento poluidor.

Binômio aspecto-OD	Notação no mapa	OD	Análise
Condição boa associada a OD Baixo	(○○)	< 5 mgO ₂ /L	O evento poluidor está mais distante. É a Zona de recuperação, onde a matéria orgânica já foi consumida, mas ainda sem recuperação no OD.
	(○)		
Condição ruim associada a OD Alto	(×)	≥ 5 mgO ₂ /L	O evento poluidor está próximo. É a Zona de decomposição, com efeitos visíveis, mas sem redução significativa do OD.
	(××)		

QUADRO 81 - INTERPRETAÇÃO DO BINÔMIO ASPECTO-OD

FONTE: Adaptado de Skroch (2014)

A etapa “investigação das causas” (Figura 34) inicia em “identificar origem da poluição” (instância 2-a). Esta atividade é composta pelos subgrupos “interpretar o Perfil do rio” e “analisar fluxo nos PVs da RCE”, ilustrados na Figura 39 e apresentados e descritos na sequência.

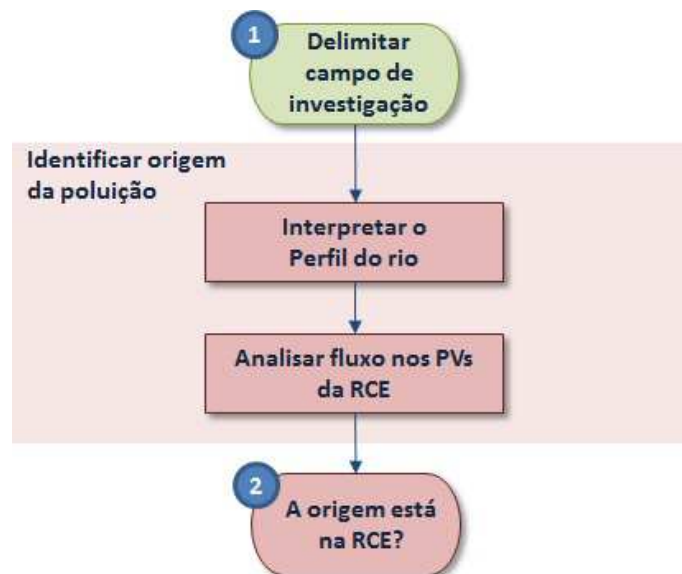


FIGURA 39 - DIAGRAMA DETALHANDO O PROCESSO “IDENTIFICAR ORIGEM DA POLUIÇÃO”

O processo “interpretar o Perfil do rio” consiste na análise dos dados obtidos no corpo hídrico por meio da sequência exibida na Figura 40, possibilitando estimar a que distância se está do evento poluidor, mediante o apoio do binômio aspecto-OD exibido no Quadro 11. Com base na estimativa da distância que a seção de rio se encontra do evento poluidor, procede-se a escolha da rede coletora a ser investigada e do PV no qual serão iniciadas estas ações. A este PV dá-se o nome de PV₀.

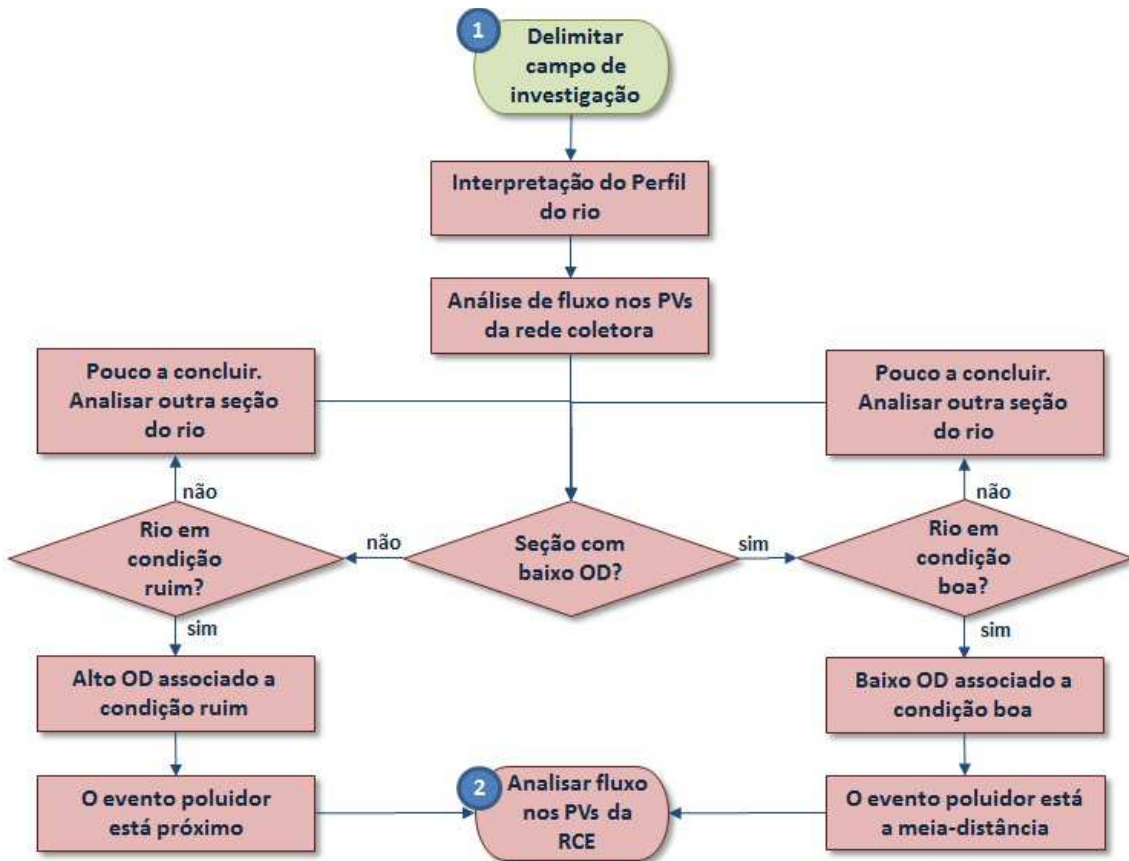


FIGURA 40 – SUB-PROCESSO “INTERPRETAR PERFIL DO RIO”

A rede coletora é investigada a montante da seção de rio amostrada. A busca de pontos frágeis passa a ser realizada mediante a comparação dos fluxos de efluentes a cada dois PVs adjacentes entre si. Cada PV tem sua tampa removida para visualização do fluxo na meia-cana situada no fundo da câmara interna (Figura 41), procedendo-se a análise de fluxo descrita no Quadro 12.

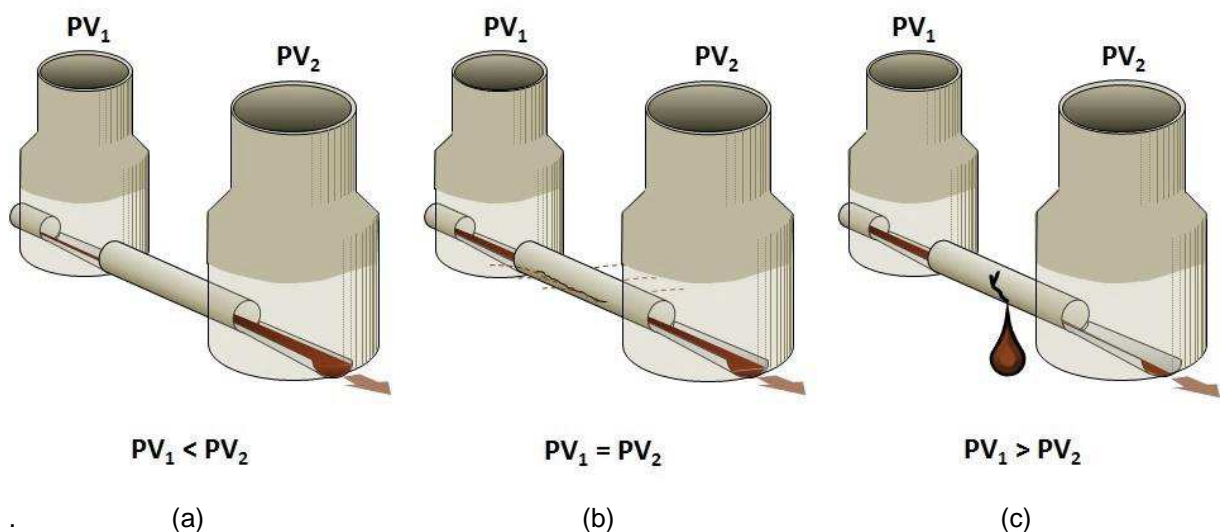
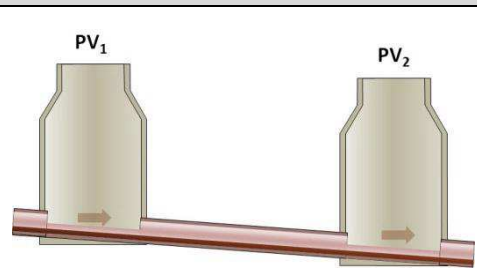


FIGURA 41 – FLUXO EM PVS ADJACENTES COM APORTE DE ÁGUA SUBTERRÂNEA OU PLUVIAL (a), EM CONDIÇÃO NORMAL (b) E COM PERDA DE EFLUENTES (c)

Fluxo de efluentes, no sentido do PV ₁ para o PV ₂	Análise comparativa dos fluxos de efluentes		
	PV ₁ < PV ₂	PV ₁ = PV ₂	PV ₁ > PV ₂
	<p>Causas</p> <p>Há o aporte de águas pluviais, água tratada, esgoto ou infiltração do subsolo</p>	<p>Condição normal</p>	<p>Causas</p> <p>Há perda de fluxo entre os PVS</p>

QUADRO 12 - ANÁLISE DA VAZÃO DE EFLUENTES ENTRE DOIS PVS

Por ocasião da abertura do PV, aproveita-se para observar suas condições de operação, reportando-se à manutenção eventos indesejáveis como rachaduras nas paredes ou ligações clandestinas de água pluvial. Também é reportada a condição de PV afogado, entupido, o qual evidencia uma obstrução nos ramais a jusante. Finda a avaliação, sua tampa é prontamente repostada, evitando-se acidentes.

Os esgotos fluem do PV em cota superior (PV₁) para o de cota inferior (PV₂), de modo que, em condições normais de operação, no PV₂ se observa o mesmo fluxo visto no PV₁. De outra forma, tem-se uma das situações citadas no Quadro 12, dentre as quais, a perda de efluentes (Figura 41-c), evidenciada por uma redução no fluxo de PV₁ a PV₂, perceptível a olho nu.

A suspeita de perda de fluxo pode ser esclarecida ao se “aplicar corante ao fluxo, no PV a montante” conforme a Figura 42. Caso o corante seja visualizado fora da RCE, tem-se “ponto frágil localizado” no ramal entre os PVS.

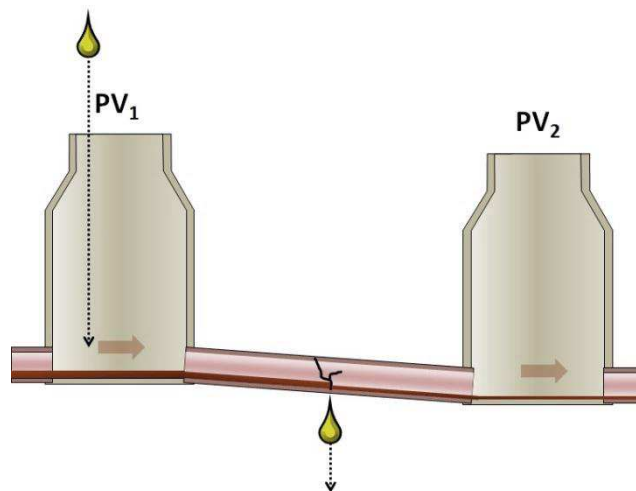


FIGURA 42 – CORANTE AMARELO APLICADO AO PV₁, PARA SE CONFIRMAR PONTO FRÁGIL

O corante líquido em uso é da marca Xadrez, disponível no varejo e produzido pela Sherwin Williams do Brasil, contendo “pigmentos orgânicos e

inorgânicos isentos de metais pesados e aditivos” (Sherwin Williams, 20--). Sherwin Williams (2011, p.1) afirma tratar-se de um “corante à base de água com bactericida e fungicida não metálicos”, contendo dióxido de titânio e carbono negro. É descrito como “um produto não totalmente biodegradável”. Sua aplicação é realizada com critério para evitar danos ambientais, por seus componentes.

O uso de corante também auxilia a identificar e avaliar ramais que não constem do mapeamento ou estejam inacessíveis, por estarem em área privada ou soterrados. Na impossibilidade de seu acesso, recorre-se ao PV mais próximo.

Para conferir velocidade à busca por pontos frágeis, o PRRU define elementos-chave na RCE, PVs específicos que têm prioridade na inspeção visual, conforme exemplificado na Figura 43, nos PVs enumerados de 1 a 5.

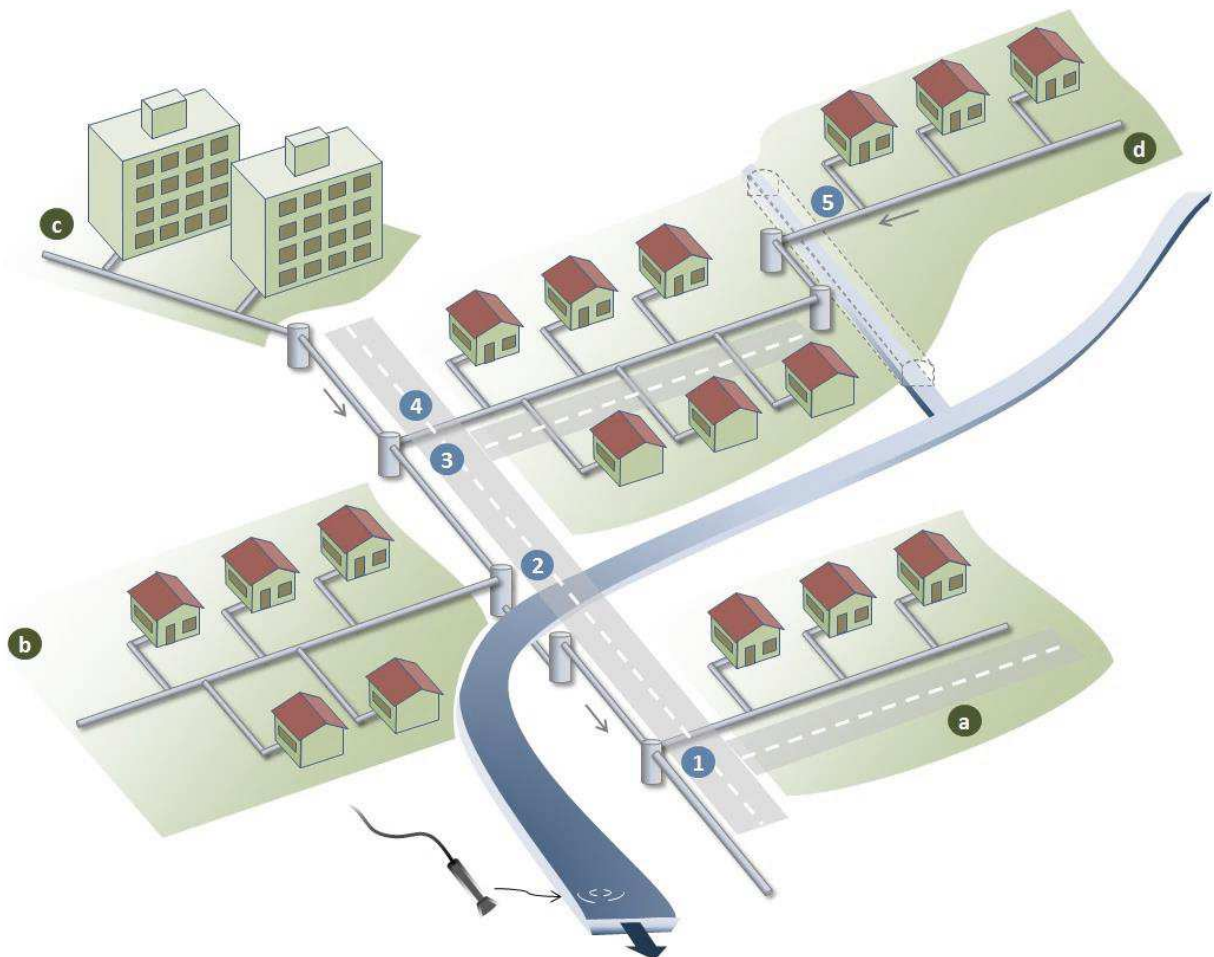


FIGURA 43 – ELEMENTOS-CHAVE NA RCE AGILIZAM A BUSCA POR PONTOS FRÁGEIS
 FONTE: Adaptado de Skroch (2014)

Na Figura 43, as bifurcações de nº 1 e 2 recebem os efluentes dos domínios ‘a’ e ‘b’, cujo porte reduzido permite pressupor não gerarem eventos poluidores expressivos. Já a bifurcação de nº 3, por conectar os grandes domínios ‘c’ e ‘d’, tem

prioridade na análise de fluxo. No domínio 'd' têm prioridade a travessia (4) e o cruzamento com galeria de água pluvial (5), que são elementos mais suscetíveis a vibrações externas, potencializando a ocorrência de pontos frágeis.

No diagrama da Figura 44, a avaliação da estrutura da RCE conduz à instância “ponto frágil localizado” e à etapa 3 de “Manutenção”. Caso se conclua que “o evento poluidor não está na RCE”, pode-se “solicitar vistoria técnica ambiental”, a fim de se averiguar a ocorrência de despejos de esgoto clandestino.

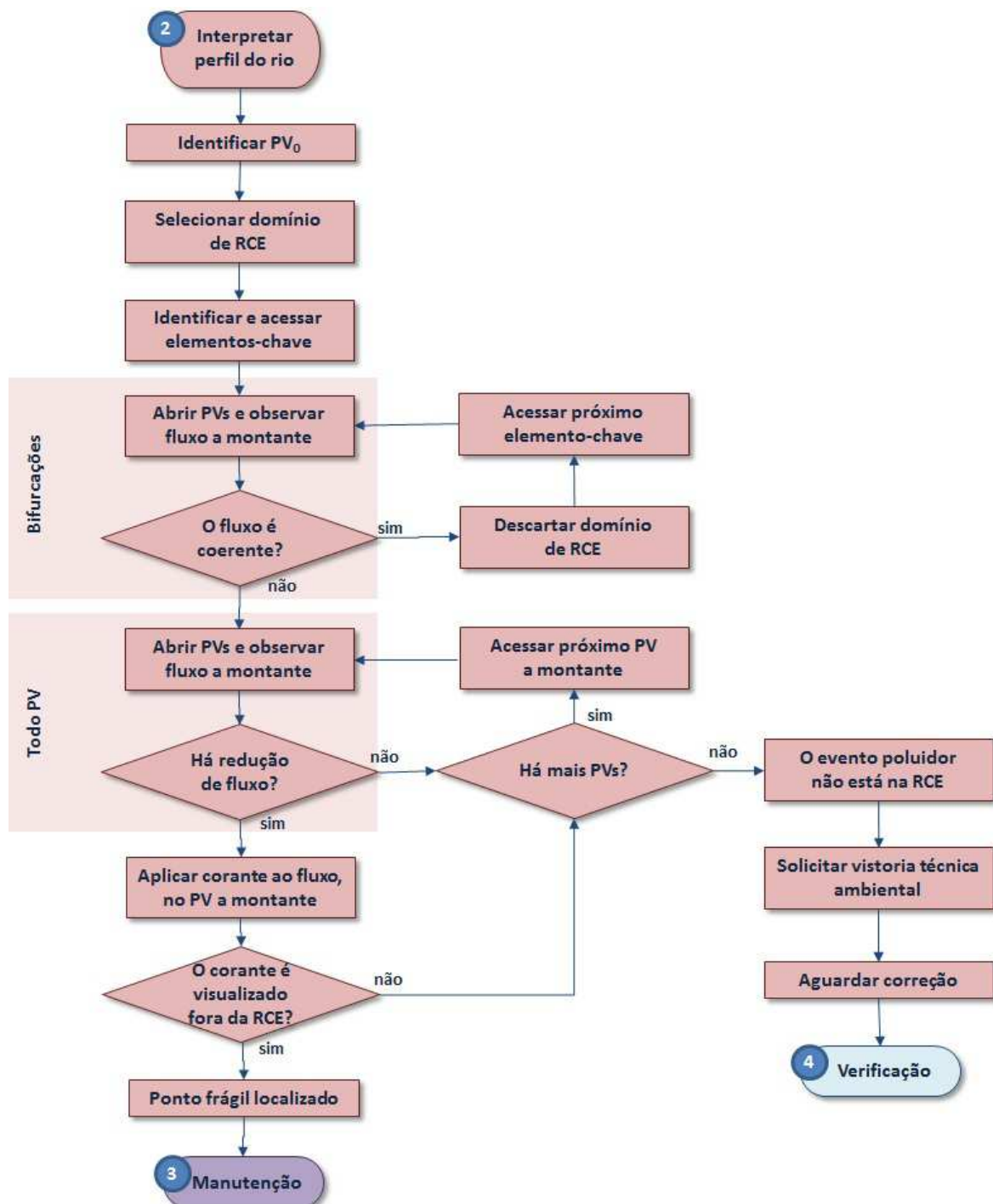


FIGURA 44 – SUB-PROCESSO “ANALISAR FLUXO NOS PVs DA RCE”

Conforme a Figura 44, a análise da RCE inicia na seleção do PV₀, orientada pelas informações prestadas pelo levantamento de Perfil do rio. A atividade “abrir PVs e observar fluxo a montante” é realizada priorizando-se os elementos-chave de bifurcação, a fim de acelerar o processo de investigação.

A Figura 45 ilustra a análise de um PV em bifurcação conectando domínios equivalentes ‘a’ e ‘b’, com ‘b’ apresentando fluxo menor que ‘a’. A linha tracejada na meia cana ao fundo do PV indica o fluxo que seria esperado para o domínio ‘b’.

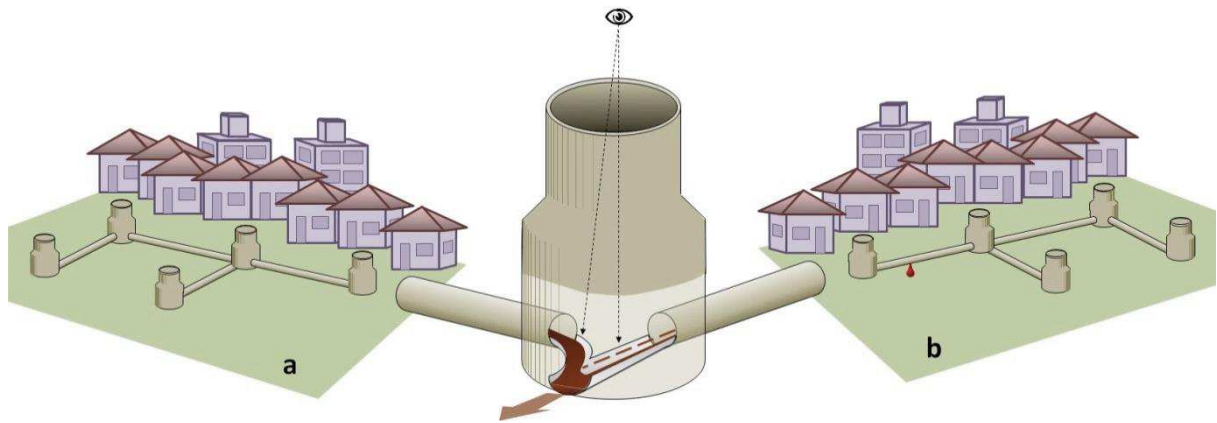


FIGURA 45 - BIFURCAÇÃO RECEBENDO EFLUENTES GERADOS NOS DOMÍNIOS (a) E (b)

Definido o domínio a investigar, prossegue-se a análise de fluxo em “todo PV” (Figura 44), com análise de fluxo em PVs adjacentes. Os elementos-chave “travessia de rua” e “cruzamento com galeria de água pluvial” têm prioridade, por serem mais suscetíveis ao surgimento de pontos frágeis.

A Figura 46 reproduz o processo de análise de fluxo, demonstrando como o campo de investigação vai sendo reduzido na medida em que o processo investigativo avança pela RCE. As análises de fluxo são sinalizadas com um “olho” posicionado acima da bifurcação em análise, atento à passagem dos efluentes. Os PVs são investigados na sequência indicada pelos instantes t_1 , t_2 , t_3 e t_4 , representando o avanço do executor do PRRU na análise da RCE, com descarte dos ramos de cor bege ao término de cada análise de fluxo. As cores atribuídas aos PVs permitem distinguí-los em relação ao contexto da análise, conforme as seguintes designações:

- cor branca: bifurcação em que se procede a análise de fluxo;
- cor bege: domínio de RCE descartado por apresentar fluxo compatível ao esperado para a respectiva região atendida pela coleta de esgotos;
- cor vermelha: domínio com fluxo inferior ao esperado à área atendida.

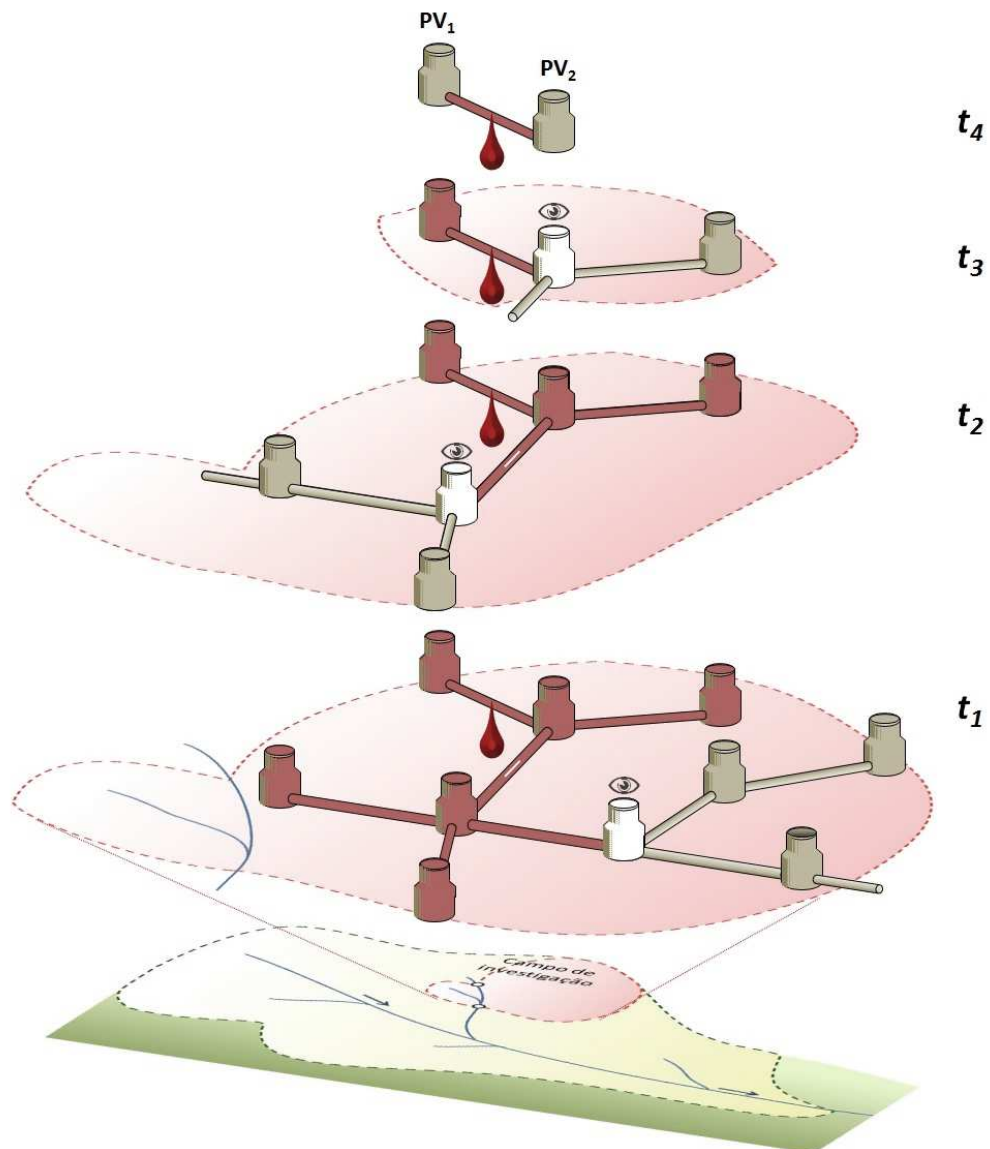


FIGURA 46 – CAMPO DE INVESTIGAÇÃO REDUZIDO A CADA ELEMENTO-CHAVE ACESSADO

Cada evento poluidor identificado na RCE dispara um processo “reportar ponto frágil” (Figura 34, 2-d), conforme descrito adiante na etapa 4 de “manutenção”. A notação ágil, precisa e clara do ramal afetado, contribui à pronta correção. A Figura 47 ilustra a indicação de um só ramal (a), ramos em linha (b), ramos em bifurcação (c) e PV (d).

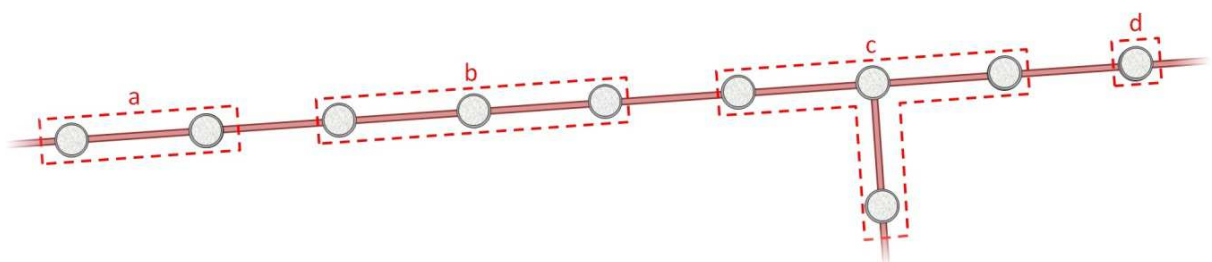


FIGURA 47 – INDICAÇÕES DE SEGMENTOS DA RCE DEMANDANDO OBRAS CORRETIVAS
 FONTE: Adaptado de Skroch (2013)

Conforme o fluxograma da Figura 34, são acionados os serviços de “manutenção” referentes à etapa 3. Eventos poluidores vistos fora da RCE são comunicados à instituição responsável, podendo-se ainda “acionar Vistoria Técnica Ambiental” (processo 2-c da Figura 34) para edificações suspeitas de não conexão à RCE. O passo seguinte consiste em aguardar a solução do evento notificado.

4.1.3.3 Manutenção

As ações corretivas da etapa 3 da Figura 34 são acionadas com o envio de um croqui da situação à área de manutenção. O croqui, exemplificado no Apêndice A, contém as orientações necessárias à localização dos pontos frágeis. A definição das obras corretivas mais adequadas, todavia, pode demandar investigações adicionais, empreendidas por tecnologias convencionais.

Um prazo para a solução do ponto frágil é apresentado aos executores do PRRU, bem como o nome do responsável pela ação. Uma vez concluídas as correções, informa-se a data efetiva do conserto, as ações efetuadas e o seu custo.

4.1.3.4 Verificação

Conforme a etapa 4 da Figura 34, após as equipes do PRRU serem comunicadas da conclusão das obras corretivas, os próprios executores que localizaram o ponto frágil verificam a efetividade dos consertos, investigando se houveram melhorias nas condições ambientais do corpo hídrico.

Um corpo hídrico em melhores condições ambientais que revele “alto OD associado a condição boa” permite acionar a etapa de “acompanhamento”. Caso contrário, procede-se um novo levantamento de Perfil do rio, em busca de eventos poluidores ainda não localizados.

4.1.3.5 Acompanhamento

Na etapa 5 (Figura 34) é definida uma agenda de visitas regulares ao corpo hídrico, quando será levantado um novo Perfil de rio. As visitas ocorrem preferencialmente nas mesmas seções já levantadas, para que se componha um registro histórico das variações das condições ambientais do rio.

Na medida em que as frentes de trabalho do PRRU vão sendo ampliadas, mais corpos hídricos passam a demandar as atividades da etapa de “acompanhamento”. O monitoramento participativo reforça a presente etapa, com a população residente intensificando a atenção ao corpo hídrico.

A arregimentação de voluntários ao monitoramento do PRRU pode ocorrer já na etapa 1, de “análise preliminar”, por iniciativa do próprio cidadão, que movido pela simples curiosidade ou por verdadeiro interesse pela defesa do rio, trava diálogo com os executores do PRRU. O momento é oportuno para se divulgar o Programa e demonstrar o zelo da empresa de saneamento na gestão do esgotamento sanitário.

A função do cidadão voluntário é manter-se atento ao ‘seu’ rio, comunicando alterações de aspecto ao gestor da rede coletora. Para este fim, foi criado o selo exibido na Figura 48, distribuído na forma de um cartão imantado que pode ser afixado na geladeira, a fim de facilitar o acesso ao correio eletrônico do Programa.



FIGURA 48 – CARTÃO DO MONITORAMENTO PARTICIPATIVO (DIÂMETRO DE 8 CM)
 FONTE: Adaptado de SANEPAR (2014a)

Ao recrutamento de voluntários interessa não somente os residentes nas proximidades do rio, mas também os cidadãos que passem por ele no seu dia-a-dia e se comprometam a observá-lo. A escolha do voluntário é criteriosa e realizada por agentes de Educação Sócioambiental, com base no seguinte perfil:

- ser manifestamente interessado na recuperação e manutenção das condições ambientais do rio;
- demonstrar zelo pelo ambiente de sua própria residência, demonstrando uma atitude positiva em relação ao ambiente em que vive, o que pode ser percebido pelas condições em que mantém sua calçada ou seu jardim, dentre outros;
- ter acesso à Internet, para comunicar eventos de poluição no rio.

Os voluntários são motivados pelo seu próprio interesse nas condições ambientais de seu bairro, não recebendo valores ou bonificação de qualquer tipo, para esse fim.

Agentes de Educação Sócioambiental realizam a triagem das comunicações do monitoramento participativo, exemplificadas na Figura 49. Como se observa na comunicação datada de 16 de maio de 2014, o acesso ao Programa não apenas informa eventos poluidores, mas cria oportunidades de multiplicar os cuidados com os rios.

Domingo, 5.mai.13

Boa noite, o trecho do rio, proximo do meu terreno está há dias com a água bem preta, acinzentada, e nem tem chovido. Provavelmente alguém está despejando o que não deve no Rio, pois ele tem aguas transparentes que permitem visualizar as pedras.

Terça, 13.ago.13

Bom dia. Gostaria de informar que o trecho do Rio Cascatinha onde conversamos e que fiquei de monitorar as emissões de poluentes, estão novamente apresentando aguas bem escuras.

Quarta, 12.fev.14

Boa noite. gostaria de solicitar os vossos servicos concernentes à limpeza do rio que passa ao lado da Rua Cap. Ismael Roxo, além do reparo do encanamento que estourou e está despejando água de esgoto no mesmo rio. Desde já, agradeço a atenção dispensada.

Sábado, 26.abr.14

Boa noite. Há alguns dias venho notando mau cheiro no Rio. O ponto observado é o da Rua Odilon Negrão. Favor tomar providencias urgentes, pois deve ter alguém jogando esgoto no Rio.

Quarta, 14.mai.14

Boa tarde, venho informar que o rio que passa na rua Coronel Carlos Vieira de Camargo esta em péssimas condições, esta complicado respirar mesmo dentro de casa, Esta cheirando esgoto dia e noite, principalmente nos dias sem chuva. Peço por favor, se possivel que seja tomada alguma providência. Obrigada.

Sexta, 16.mai.14

Bom dia, gostaríamos de convidá-los para realizarem uma conversa com nossos alunos dos 4^{os} anos manhã e tarde sobre os rios de nossa cidade. Estamos trabalhando sobre poluição e tratamento de água e atrás de nossa escola existe um córrego chamado Serraria. Seria muito rico se pudermos contar com a parceria de você. Aguardo resposta,

Sexta, 16.mai.14

Ontem a noite o cheiro de esgoto estava bem forte na Rua Piaui esquina com a Rua Bahia. Repasso para verificação.

Terça, 20.mai.14

Boa tarde gostaria que viessem ver a cor da agua que cor e ontem e hoje aqui no rio uvu esta preta cor de esgoto puro. por favor venham verificar.

FIGURA 49 – COMUNICADOS DE VOLUNTÁRIOS DO MONITORAMENTO PARTICIPATIVO
 FONTE: SANEPAR (USEA), 2014

4.1.3.6 Recursos alocados na execução do PRRU

A condução adequada dos trabalhos do PRRU pode ser conseguida com uma equipe formada por um coordenador e quatro funcionários alocados em duplas para os trabalhos de campo. A formação mínima exigida é que tenham concluído o ensino médio e recebido o treinamento do Programa. Também recebem treinamento de espaço confinado, interessante por conscientizar as equipes dos riscos inerentes às câmaras internas dos PVs e às estruturas das galerias de água pluvial.

Ao coordenador cabe a gestão dos serviços, a elaboração dos mapas de campo e a manutenção das bases de dados do PRRU.

As atividades de campo são realizadas em dupla, a favor de sua própria segurança física e apoio em emergências. As equipes não adentram galerias pluviais ou câmaras internas dos PVs, devido a possíveis concentrações de gases tóxicos.

Os trabalhos de campo são conduzidos em veículos leves, contendo:

- oxímetro de sensor óptico: marca Hach, modelo HQ40d. Informa OD (mgO_2/L), percentual de saturação do gás na água, pressão (hPa) e temperatura da água. Os valores medidos são exibidos no visor e armazenados na memória;
- água deionizada: aplicada ao sensor após cada medição;
- câmera fotográfica digital;
- GPS de navegação de uso civil, com precisão de 15 metros;
- navegador embarcado: dispositivo de localização e roteamento;
- ‘ganchos’ para remoção e reposição das tampas dos PVs. São dois vergalhões de aço com pontas adaptadas ao encaixe na tampa do PV;
- equipamentos de proteção individual (uniforme, calça sanitária, botas de borracha, luvas, óculos de proteção transparente, protetor solar, dentre outros).

As campanhas têm duração variável, conforme as dimensões da bacia hidrográfica, as condições de acesso ao rio, a intensidade do tráfego e outros fatores. Como referência, pode-se estabelecer em quatro dias o tempo necessário ao cumprimento das etapas 1, “análise preliminar” e 2, “investigação das causas”, em uma bacia hidrográfica urbanizada, com área plana de aproximadamente 10 km². Este período de tempo inclui a realização das atividades em escritório para atualização da base de dados e comunicação dos eventos poluidores que foram identificados.

4.2 BALANÇO DE MASSA DO SISTEMA RIO URBANO

O PRRU tem o seu principal insumo de trabalho nas águas do rio urbano, um ambiente aquático dinâmico, assinalado tanto pela instabilidade das condições climáticas que determinam sua vazão, como pela aleatoriedade e agressividade das ações antrópicas no entorno. Variáveis pouco previsíveis, mas passíveis de análises, como a identificação das correntes formadoras da vazão do rio urbano.

A Figura 50 e a Equação 4 descrevem o rio urbano como um sistema com entradas de águas de chuva, recarga pelo freático e fontes poluidoras diversas como possíveis despejos clandestinos domésticos e industriais. Da interação destas componentes resultam águas poluídas, expressas em m³/s.

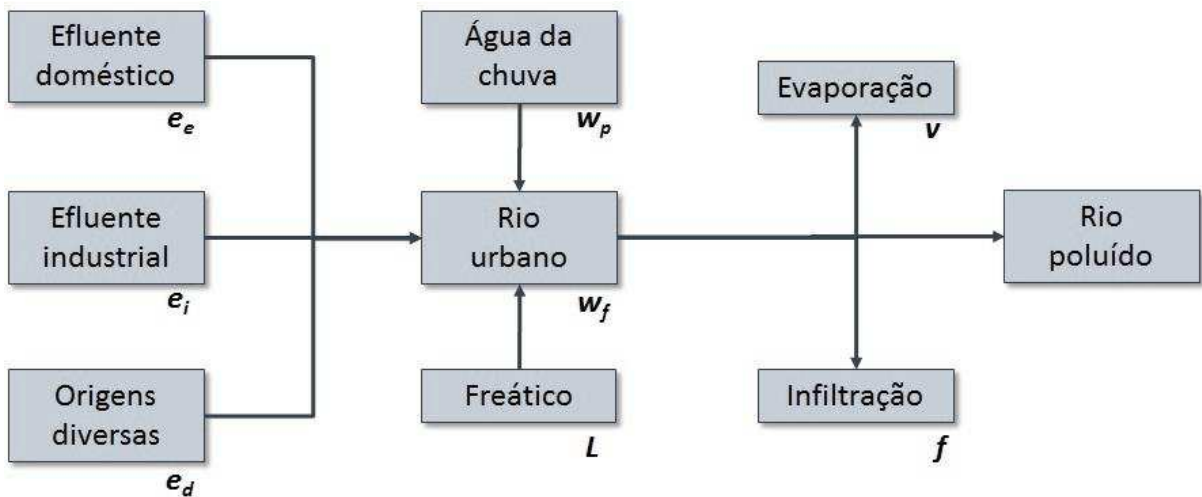


FIGURA 50 – ENTRADAS E SAÍDAS DO SISTEMA RIO URBANO

$$w_f = w_p + (e_e + e_i + e_d) + (L - f - v) \quad (4)$$

Sendo: w_f - água do rio urbano;

w_p - água da chuva;

e_e - aporte de possíveis efluentes domésticos clandestinos;

e_i - aporte de possíveis efluentes industriais clandestinos;

e_d - poluição difusa de origens diversas (óleos e graxas carreados pela chuva, vazamentos da rede de distribuição de água tratada, resíduos sólidos);

L - recarga do freático;

f - água infiltrada no solo;

v - água evaporada.

A Equação 4 encontra na parcela e_e o aporte de carga orgânica dos esgotos domésticos descrito por Von Sperling (2009) como o principal poluente presente em corpos hídricos. Com base nisto, pode-se simplificar a Equação 4, retirando-se as

parcelas referentes ao aporte de efluentes industriais inorgânicos (e_i), poluição difusa (e_d) e de origens diversas (d). Permanece o aporte de efluentes domésticos (e_e), advindos de despejos clandestinos e possíveis perdas na RCE.

Conforme ABNT (1986) e SANEPAR/SNS (2014a), efluentes domésticos também recebem alguma contribuição da carga orgânica de efluentes industriais, admitidos na RCE e, portanto, abrangidos na variável e_e .

As componentes do ciclo hidrológico, devidas à recarga do lençol freático (L), evaporação (v) e infiltração (f), por sua vez, podem ser desconsideradas para o curto período em que são realizadas as medições de Perfil do rio.

O sistema rio urbano simplificado pode ser entendido como mostra a Figura 51 e nos termos da Equação 5, apresentada pelo autor.

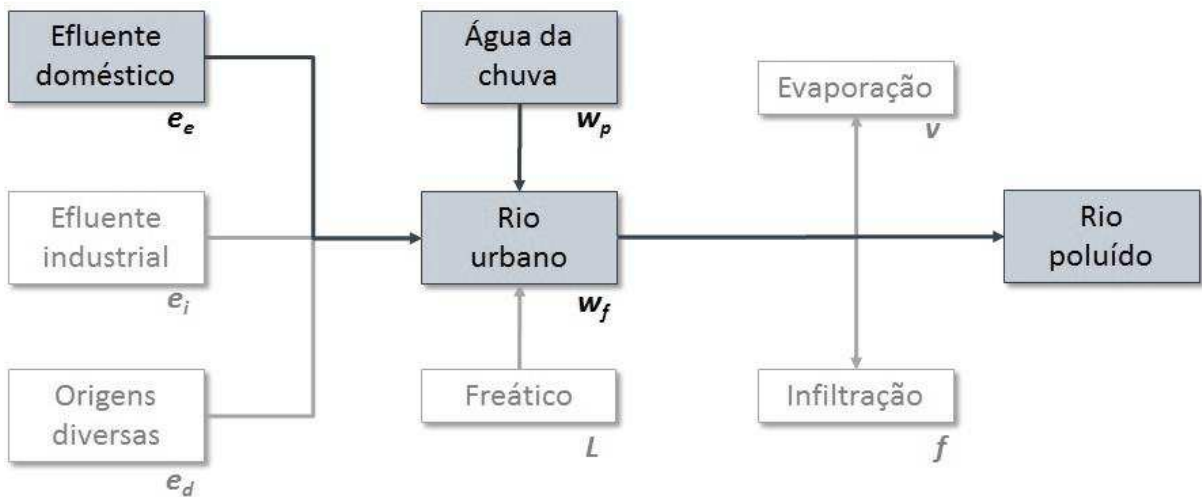


FIGURA 51 – O SISTEMA RIO URBANO, PARA O PRRU

$$w_f = w_p + e_e \quad (5)$$

Sendo: w_f - água do rio urbano;
 w_p - água da chuva;
 e_e - aporte de efluentes domésticos clandestinos.

A Equação 5 resume as principais variáveis associadas à lida do PRRU, lembrando-se que a variável e_e abriga a parcela de carga orgânica presente em efluentes originados de indústrias conectadas, ou não, à RCE.

A hipótese I do PRRU, de que a fonte poluidora promove uma perturbação contínua nas águas do rio, implica no entendimento de que a variável e_e seja constante. Tal fator, associado à estabilidade química e térmica do corpo hídrico,

possibilita que o rio manifeste níveis de poluição estáveis durante o intervalo de tempo das coletas pelo PRRU.

De fato, a análise de variações de OD ao longo de um dia, apresentada no item 4.2.1, demonstrou a estabilidade deste parâmetro para intervalos de 1 hora no período da tarde e 2 horas, no período da manhã.

Como a produção de efluentes se dá principalmente no período da tarde e início do período noturno, admite-se que as concentrações de carga orgânica no rio não variem a ponto de afetar os levantamentos de Perfil do rio.

4.3 O OD COMO INDICADOR DE PONTOS FRÁGEIS NA RCE

O uso do OD como indicador de problemas na rede coletora foi investigado no Rio Pilarzinho, o maior afluente do Rio Belém na área de estudo.

As amostragens foram realizadas no dia 14 de junho de 2014, sob o esquema apresentado na Figura 29 da Página 62. Como este rio possui trechos canalizados, foi preciso identificar seções a céu aberto acessíveis, encontradas nos endereços indicados na Figura 52 e listados abaixo:

- Seção 1: Rua Tenente-Cel. Manoel Miguel Ribeiro, frente ao nº 56;
- Seção 2: Rua Arthur Leinig, nº 38;
- Seção 3: Rua Júlio Pernetá, ao lado do nº 300;
- Seção 4: Rua Mamoré, em frente ao nº 537.

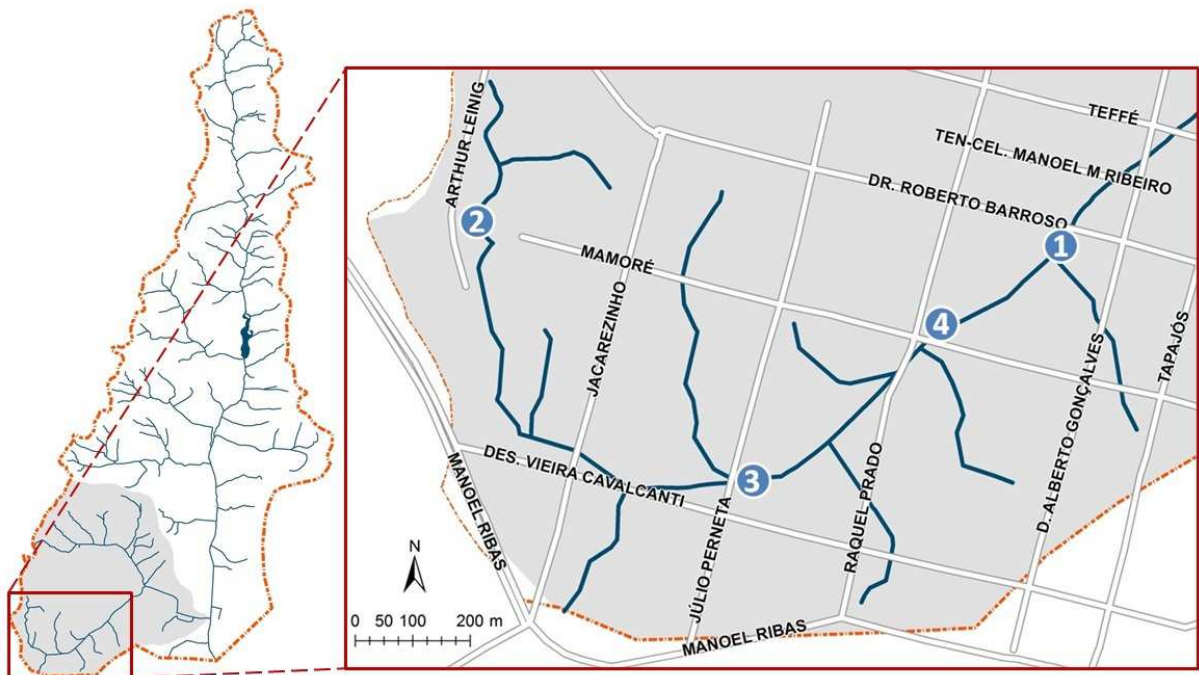


FIGURA 52 - RIO PILARZINHO E AS QUATRO SEÇÕES DE RIO VISITADAS
 FONTE: Adaptado de IPPUC (2011), IPPUC (2012a) e IPPUC (2012c)

Na bacia hidrográfica do Rio Pilarzinho predominam a ocupação residencial, mas também escolas, igrejas e comércios, escritórios, clínicas médicas, clínicas veterinárias e hospital.

As atividades comerciais estão mais concentradas ao longo da Av. Manoel Ribas e da Rua Jacarezinho, incluindo farmácias, supermercados e postos de combustíveis. As fontes poluidoras que possam afetar a rede hídrica, neste caso, são diversas.

Os resultados obtidos forneceram o Perfil de Rio visto na Figura 53, com queda de OD mais acentuada entre P_3 e P_4 , sinalizando um aporte de carga orgânica a montante de P_3 .

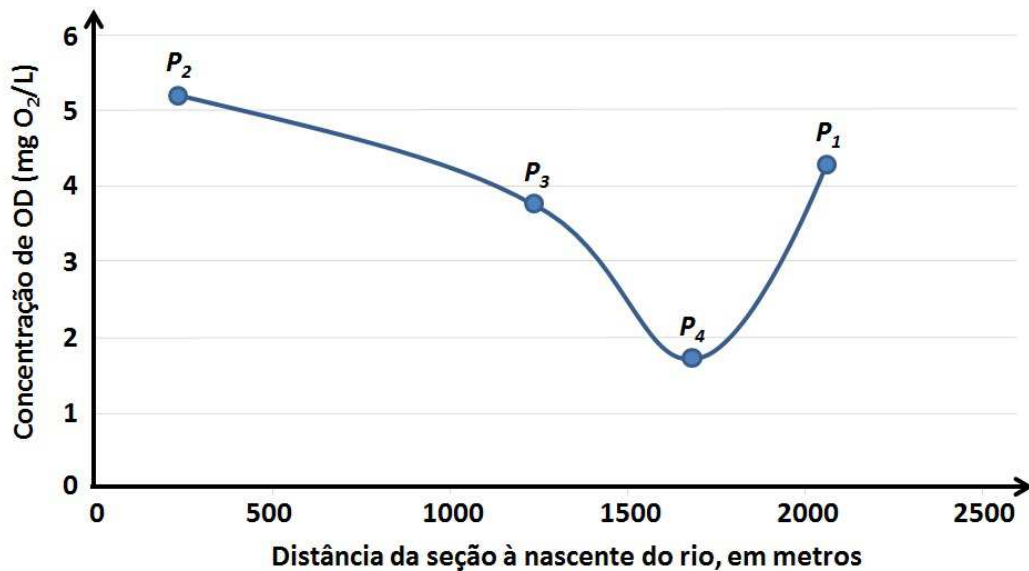


FIGURA 53 – PERFIL DO RIO PILARZINHO

A Tabela 9 apresenta os valores médios de OD e respectivos desvios-padrão determinados para as medições efetuadas no levantamento de Perfil do Rio Pilarzinho. Os valores das medições encontram-se dispostos nas Tabelas 10 a 13, exibidas na sequência.

TABELA 9 - VALORES MÉDIOS DE OD NO RIO PILARZINHO, EM 14/06/2014

Seção	OD Médio (mgO ₂ /L)	Desvio-padrão (mgO ₂ /L)	Desvio-padrão percentual
P ₁	4,26	0,05	1,1%
P ₂	5,35	0,04	0,7%
P ₃	3,78	0,09	2,3%
P ₄	1,70	0,06	3,3%

TABELA 10 - VALORES DE OD NA SEÇÃO P₁ DO RIO PILARZINHO, EM 14/06/2014

Amostragem	Horário	OD (mgO ₂ /L)	Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)	Temperatura ambiente (°C)
33	10:14:18	4,35	18,9	51,5	911	20
34	10:16:11	4,27	18,9	50,4	911	20
35	10:18:02	4,25	18,8	50,2	911	20
36	10:19:41	4,25	18,8	50,2	911	20
37	10:21:36	4,21	18,8	49,8	911	20
38	10:24:49	4,23	18,8	49,8	911	20

TABELA 11 - VALORES DE OD NA SEÇÃO P₂ DO RIO PILARZINHO, EM 14/06/2014

Amostragem	Horário	OD (mgO ₂ /L)	Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)	Temperatura ambiente (°C)
39	10:37:30	5,42	18,6	64,2	911	21
40	10:39:10	5,35	18,6	63,4	911	21
41	10:40:46	5,33	18,6	63,1	911	21
42	10:42:34	5,34	18,6	63,3	911	21
43	10:44:24	5,32	18,6	63,0	911	21
44	10:46:35	5,33	18,6	63,1	911	21

TABELA 12 - VALORES DE OD NA SEÇÃO P₃ DO RIO PILARZINHO, EM 14/06/2014

Amostragem	Horário	OD (mgO ₂ /L)	Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)	Temperatura ambiente (°C)
45	11:14:32	3,85	18,9	45,9	913	24
46	11:16:12	3,72	18,9	44,2	913	24
47	11:19:03	3,74	18,9	44,5	913	24
48	11:21:15	3,68	18,9	43,7	913	24
49	11:23:26	3,91	18,9	46,4	913	24
50	11:26:50	3,76	18,9	44,7	913	24

TABELA 13 - VALORES DE OD NA SEÇÃO P₄ DO RIO PILARZINHO, EM 14/06/2014

Amostragem	Horário	OD (mgO ₂ /L)	Temperatura da água (°C)	Saturação (%)	Pressão (Hpa)	Temperatura ambiente (°C)
51	11:40:31	1,65	19,1	19,5	913	25
52	11:41:59	1,65	19,1	19,5	913	25
53	11:43:35	1,66	19,0	19,7	913	25
54	11:45:29	1,72	19,0	20,3	913	25
55	11:46:48	1,72	19,0	20,4	913	25
56	11:47:14	1,79	19,0	21,2	913	25

As condições obtidas no Rio Pilarzinho (Tabela 14) evidenciaram a seção P₄ como zona séptica de “evento poluidor mais distante” identificado pelo binômio aspecto-OD, o qual orientou a sequência da investigação a montante da seção P₃.

TABELA 14 - ANÁLISE DO PERFIL DO RIO PILARZINHO

Seção	Aspecto	Notação no mapa	OD médio (mgO ₂ /L)	Binômio aspecto-OD	Análise
P ₂	Águas cristalinas	(○○)	5,35 (alto)		
P ₃	Águas cristalinas	(○○)	3,78 (baixo)	Condição boa associada a OD baixo	Evento poluidor mais distante
P ₄	Turbidez, lodo no fundo e mau cheiro	(××)	1,70 (baixo)		Zona séptica
P ₁	Turbidez, lodo no fundo	(×)	4,26 (baixo)		

O campo de investigação foi definido a montante de P₃, na área vermelha da Figura 54, na maior rede coletora ali presente. Da análise de fluxo procedida nos elementos-chave indicados por ‘a’ a ‘h’, localizou-se o ponto frágil no PV de letra ‘g’.

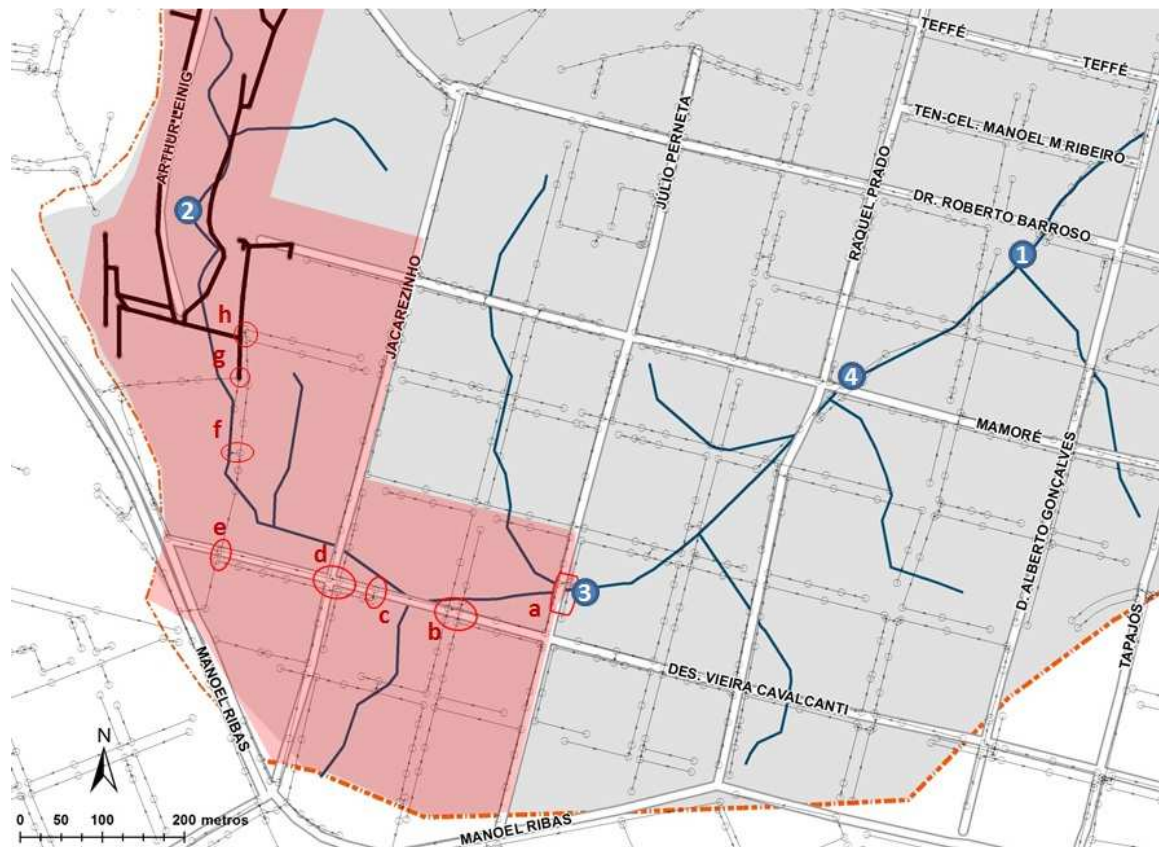


FIGURA 54 – CAMPO DE INVESTIGAÇÃO E ELEMENTOS-CHAVE NO RIO PILARZINHO
 FONTE: Adaptado de IPPUC (2012a), IPPUC (2012c), IPPUC (2012d) e (SANEPAR, 2013)

O ponto frágil em ‘g’ pôde ser diretamente avistado, um deslocamento na conexão do ramal com o PV, decorrente de acomodação do solo em sua base. A equipe de manutenção foi prontamente acionada e o dano já se encontra reparado.

4.4 COMPILAÇÃO DA BASE DE DADOS DO PRRU

As bases de dados do PRRU estão assim distribuídas (SANEPAR, 2014b):

- seções amostradas: coordenadas, data e horário da amostragem, valor do OD, temperatura da água, percentual de saturação do OD e pressão atmosférica;
- obras corretivas: datas da identificação, notificação e correção do ramal, descrição da ação corretiva executada, o custo global e o responsável.

Conforme SANEPAR (2014b), as primeiras medições de OD ocorreram em 13 de agosto de 2010, no Rio Belém, uma época de trabalhos menos frequentes, dado o processo de convencimento sobre sua viabilidade. Em maio de 2014, o PRRU já somava 136 campanhas, com 923 coletas de OD. A Figura 55 situa as medições de OD na bacia do Alto Belém, nos pontos enumerados de 84 a 537.

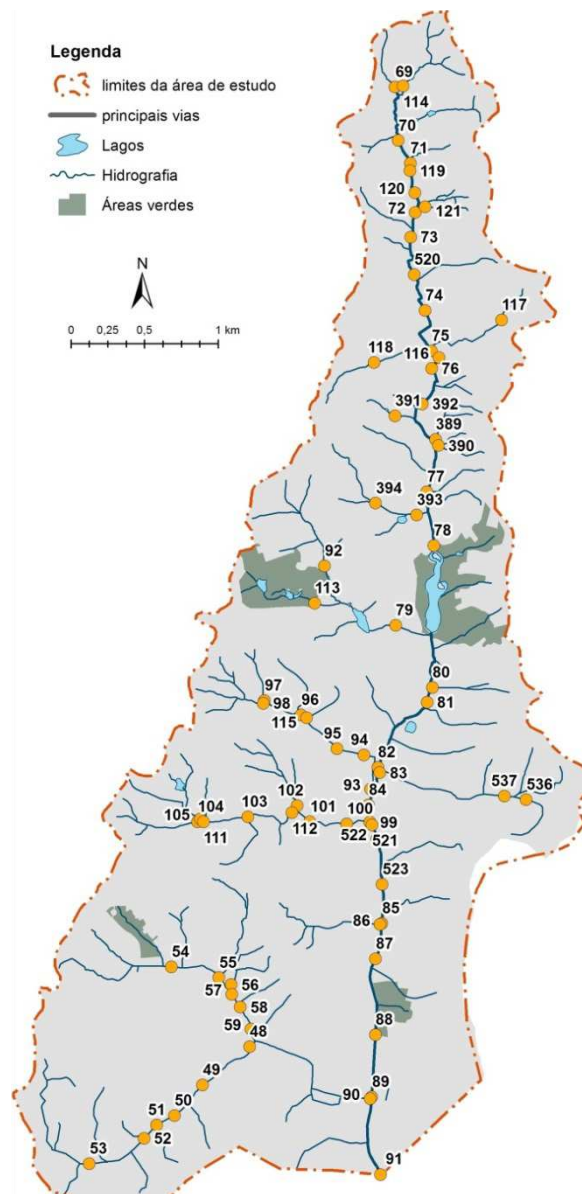


FIGURA 55 – LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES VISITADAS NA REDE HÍDRICA DO ALTO BELÉM
 FONTE: Adaptado de IPPUC (2012) e SANEPAR (2014b)

Da Tabela 15 se observa a frequência crescente com que as medições de OD foram realizadas na bacia do Alto Belém. Nos primeiros meses do ano 2014 foram visitadas 33 seções, correspondendo a 63% dos levantamentos realizados em todo o ano de 2013, o que denota a continuidade desse crescimento. O mesmo se pode afirmar acerca dos levantamentos de Perfil de rio.

TABELA 15 – EVOLUÇÃO DAS CAMPANHAS DO PRRU, AO LONGO DOS ANOS

Ano	Seções de rio visitadas	Levantamentos de Perfil de rio
2010	14	1
2011	14	1
2012	45	3
2013	52	4
2014	33	2

FONTE: SANEPAR (2014b)

4.4.1 Evolução do parâmetro OD no Rio Belém

A base de dados do PRRU contabiliza 28 campanhas empreendidas na rede hídrica da bacia hidrográfica do Alto Belém e 95 pontos frágeis corrigidos. As melhorias ambientais obtidas são denotadas pelos valores de OD dos seis levantamentos de Perfil do Rio Belém exibidos na Tabela 16.

TABELA 16 - CONCENTRAÇÕES DE OD MEDIDAS NO RIO BELÉM

Seção	Distância à nascente (m)	Data da medição de OD, em mg O ₂ /L					
		13.ago.10	13.dez.11	29.nov.12	6.fev.13	18.abr.13	17.mar.14
n° 70	406	6,5	4,50	3,61	5,49	6,59	4,73
n° 72	931	6,3	2,09	2,70	6,07	5,76	4,73
n° 74	1.688	1,5	1,78	1,79	5,06	4,93	4,81
n° 76	2.195	2,9	3,31	2,91	5,61	5,98	4,60
n° 78	3.567	5,6	0,55	2,92	5,86	5,42	5,37
n° 84	5.554	4,2	4,35	3,70	6,60	6,60	5,26
n° 87	6.625	5,7	5,61	7,45	7,98	7,56	6,24
n° 91	8.111	1,1	2,00	1,02		7,29	5,32
OD médio		4,23	3,02	3,26	6,10	6,27	5,13

FONTE: SANEPAR (2014b)

A Figura 56 exibe curvas de Perfil de Rio plotadas para três levantamentos de Perfil do rio, dentre os exibidos na Tabela 16, procedidos nos meses de agosto de 2010, abril de 2013 e março de 2014. As seções 74, 84 e 91 encontram-se destacadas, por apresentarem as maiores variações de OD.

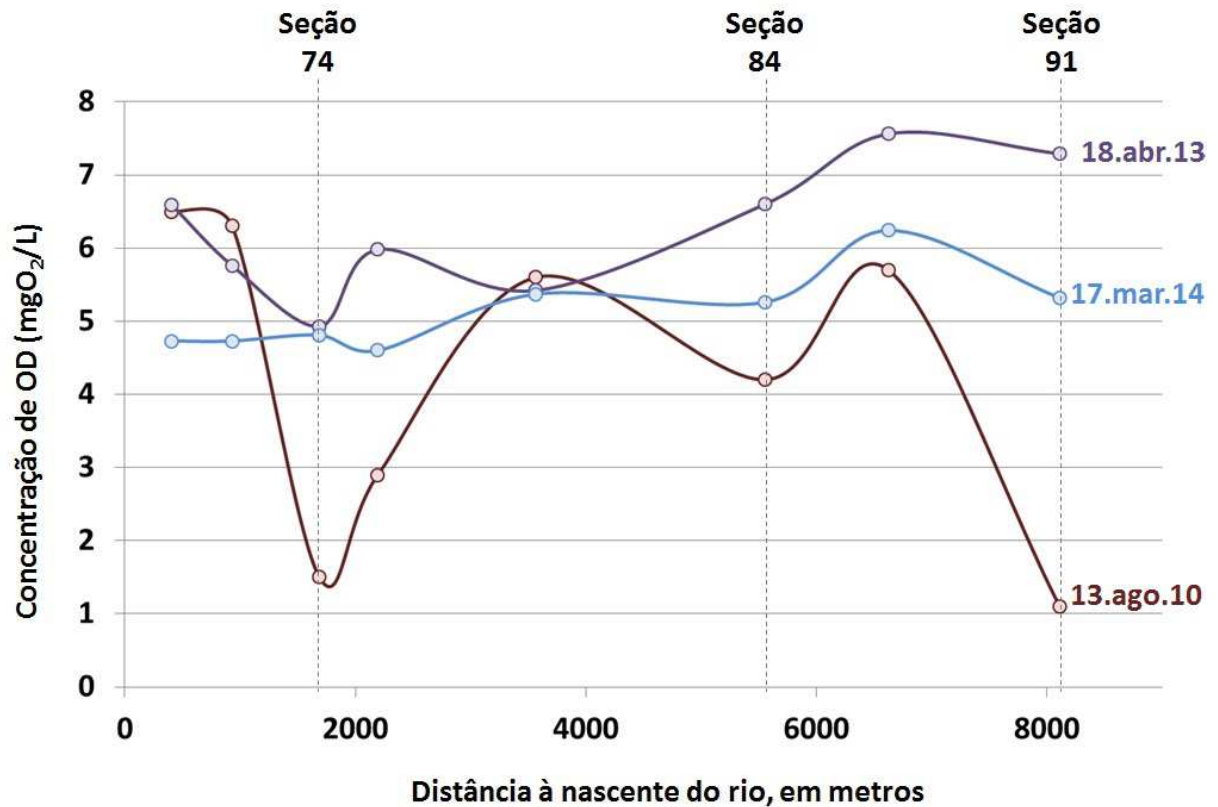


FIGURA 56 – PERFIL DO RIO BELÉM, LEVANTADO EM DIFERENTES CAMPANHAS

Conforme mostra a Figura 56, os Perfis de rio de 2013 e 2014 apresentam concentrações de OD em patamar superior ao do ano 2010. A curva de 2014 possui valores inferiores aos de 2013 em seis das oito seções visitadas, mas ainda assim, superiores aos das medições realizadas no início do Programa.

A Figura 57 exibe as obras corretivas efetuadas na RCE por solicitação do PRRU. Também localiza as seções amostradas nos levantamentos de Perfil do rio, delineando as bacias hidrográficas das seções 74, 78 e 91, abaixo descritas:

- Seção nº 74: de coordenadas S 25°22'02,73" e W 49° 16' 03,08", na esquina das ruas Hassan Mohamed Raad e Lúcia Dechandt. Em sua bacia hidrográfica de 1,5 km² foram corrigidos 13 pontos frágeis;
- Seção nº 84: situada junto à Rua Lívio Moreira, entre a Av. Mateus Leme e a R. Cecília Meireles, em S 25°23'52,05" e W 49° 16' 14,46". Em sua bacia de 8 km², foram corrigidos 70 pontos frágeis, incluídos os 13 da seção nº 74;

- Seção nº 91: corresponde ao exutório da área de estudo, situado junto à Av. Cândido de Abreu, expresso pelas coordenadas S 25°25'12,97" e W 49° 16' 10,23". Desde o início do Programa foram sanados 132 pontos frágeis nos 15,3 km² de sua bacia hidrográfica.

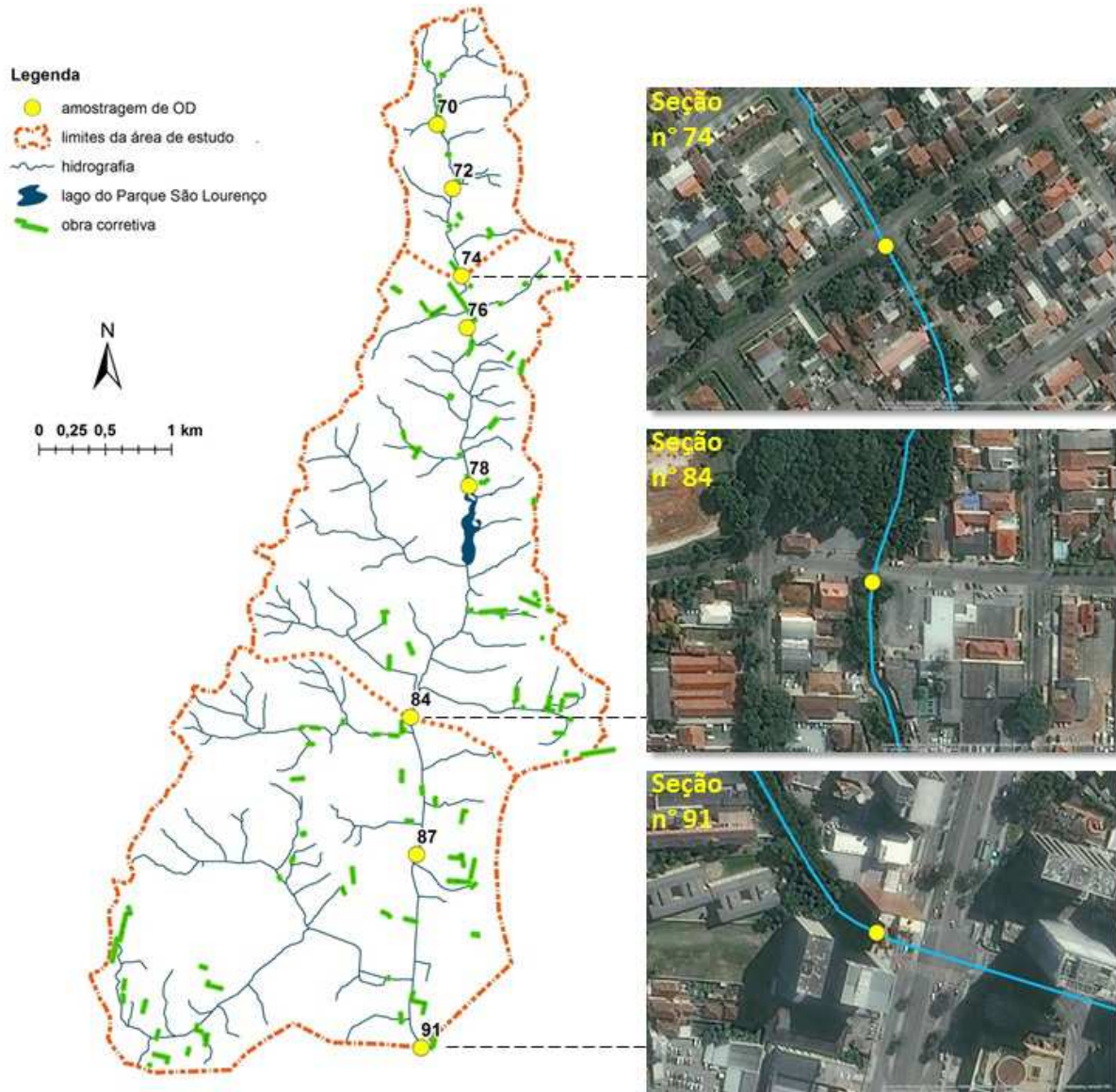


FIGURA 57 – LOCALIZAÇÃO DAS SEÇÕES DE Nº 74, 84 E 91, NA ÁREA DE ESTUDO

A partir da série histórica de vazões no Rio Belém, obtida de Aguasparaná (2014), foi possível determinar a vazão média diária e, em consequência, a média das vazões específicas verificadas nas datas de levantamento de Perfil do Rio Belém.

A Tabela 17 apresenta o percentil da série histórica de vazões específicas do Rio Belém, bem como o OD médio obtido em cada levantamento de Perfil do rio, conforme exibido anteriormente na Tabela 16 e ilustrado na Figura 56.

TABELA 17 - VAZÕES ESPECÍFICAS NAS DATAS DE LEVANTAMENTO DE PERFIL DO RIO

Rio Belém	Percentil (%)	Vazão específica (L/s/km ²)	OD médio (mgO ₂ /L)
13/08/2010	18,7	42,50	4,23
13/12/2011	39,0	34,40	3,02
29/11/2012	16,0	45,95	3,26
06/02/2013	39,0	34,40	6,10
18/04/2013	26,1	37,86	6,27
17/03/2014	28,9	35,70	5,13

FONTE: SANEPAR (2014b)

A Figura 58 exibe a curva de permanência da vazão específica do Rio Belém, destacando os valores de vazão específica verificados nas seis datas dos levantamentos de Perfil do rio.

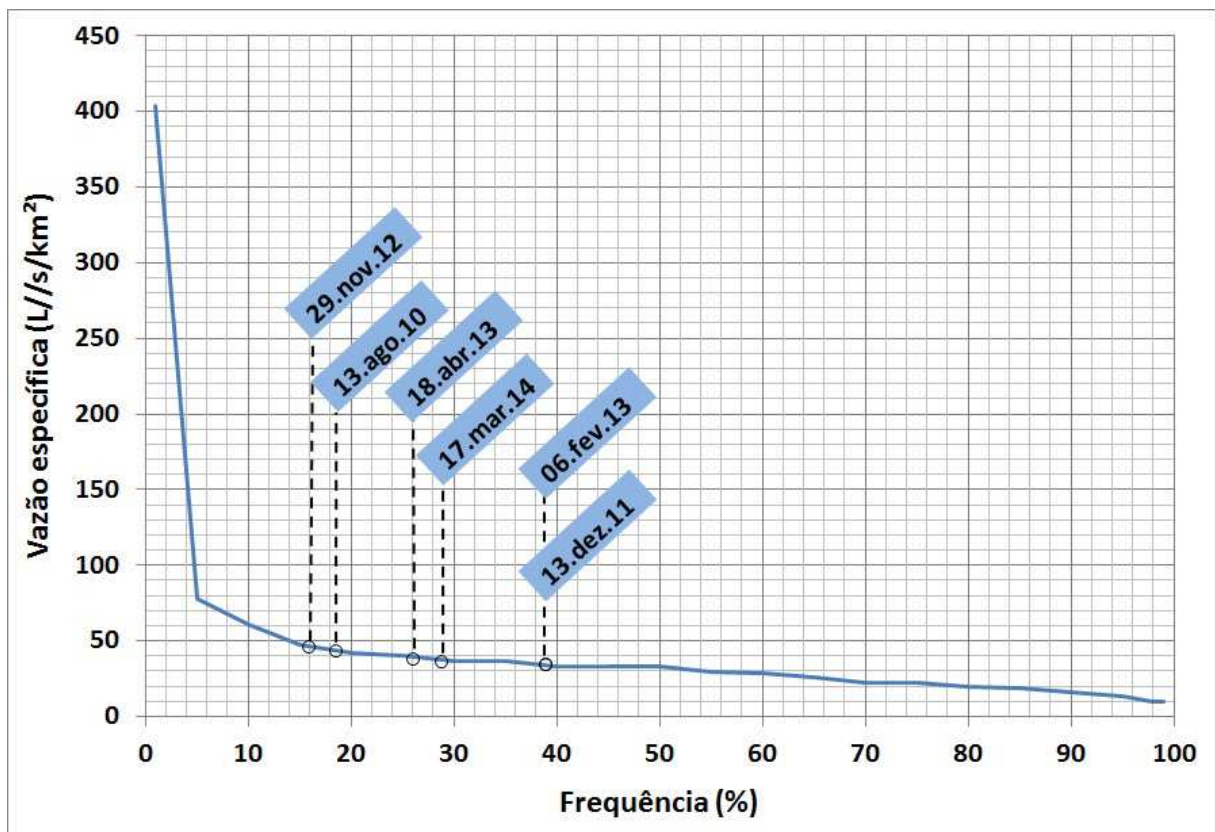


FIGURA 58 – VAZÕES ESPECÍFICAS NAS DATAS DOS LEVANTAMENTOS DE PERFIL DO RIO

A Figura 58 revela vazões específicas similares quando dos levantamentos de Perfil do Rio Belém, variando 2,55 L/s/km² entre o valor máximo de 45,95 L/s/km² em nov.12; e mínimo de 43,4 L/s/km² nas datas de dez.11 e fev.13. Tal similaridade indica que as medições de OD teriam sido efetuadas em condições semelhantes.

A Figura 59 apresenta o Rio Belém na seção 78, a chegada das águas do Rio Belém no lago do Parque São Lourenço. As fotos foram tomadas no ano 2011 (a), quando eram iniciados os trabalhos do PRRU e em agosto de 2013 (b), após 22 ações corretivas, com substituição de ramais e desentupimento de coletores, dentre outras ações.



FIGURA 59 - FOTOGRAFIAS DO RIO BELÉM, ANTES E APÓS O PRRU

4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS OBTIDOS NO PRESENTE TRABALHO

O PRRU pode ser entendido como a soma indissociável de medições de OD com o domínio técnico do executor: a leitura do OD no rio aguça sua percepção, fornecendo evidências de onde localizar eventuais pontos frágeis ou lançamentos irregulares.

O PRRU inova ao definir o rio como indicador da qualidade e eficiência da RCE, provendo um método de fácil aplicação, atrelado a conceitos e premissas que auxiliam o pessoal de campo na assimilação dos fatos, favorecendo a rápida tomada de decisão.

O Programa oferece uma forma ágil de se localizar pontos frágeis na RCE, colaborando na redução do hiato entre rede coletora instalada e esgoto efetivamente afastado, com reflexos positivos nas condições sanitárias da área urbana atendida.

O ponto forte do PRRU consiste em fornecer um diagnóstico da RCE amparado em trabalhos de campo expeditos, capazes de, em amplos domínios urbanizados, localizar os principais pontos frágeis na RCE e/ou lançamentos irregulares na bacia hidrográfica.

Como pontos fracos, o PRRU não diagnostica a totalidade dos pontos frágeis na RCE, demandando frentes sucessivas de trabalho. Além disso, torna-se inoperante nas 48 horas após uma chuva forte na bacia hidrográfica, por esta diluir a concentração de cargas poluentes nos rios.

O Programa conta ainda com o aspecto positivo de transcender diversas áreas de uma empresa de saneamento, como a gestão da rede coletora, operações, gestão de recursos hídricos e Educação Sócioambiental. Adicionalmente, envolve a população residente nos esforços pela qualidade ambiental, por meio do monitoramento participativo, aproximando o cidadão ao seu ambiente e à empresa de saneamento.

Os resultados obtidos acerca do PRRU ensejam as análises a seguir, acerca do processo de fragilização da rede coletora e da apropriação dos indicadores de suas dimensões físicas como fator de desenvolvimento humano, bem como sobre a integração do Programa às soluções usuais de manutenção da RCE.

4.5.1 Fragilização da rede coletora

O surgimento de pontos frágeis na RCE aparenta ser motivado por “ocorrências iniciais” e “ocorrências posteriores”. As iniciais são devidas à constituição e qualidade dos materiais do sistema coletor e seu processo de instalação, envolvendo aspectos de obras civis, mão-de-obra qualificada e outros.

Após instalada a rede, somam-se ocorrências posteriores, como:

- desgaste causado pelas vibrações devidas a tráfego e obras;
- movimentações no solo, afetando a capacidade de suporte aos dutos;
- corrosividade do efluente e acidez do solo, com efeitos nas tubulações em concreto armado e ferro fundido;
- ocorrência de esforços extremos, fadiga dos componentes;

- uso indevido das instalações (lançamento de gorduras e materiais não degradáveis ou de difícil degradação, dentre outros);
- desgastes no decorrer da vida útil da obra.

Tanto as ocorrências iniciais como as posteriores assomam na fragilização da estrutura da RCE, possibilitando vazamentos de efluentes. A Figura 60 ilustra tal processo em uma rede coletora hipotética, para uma área urbana em expansão.

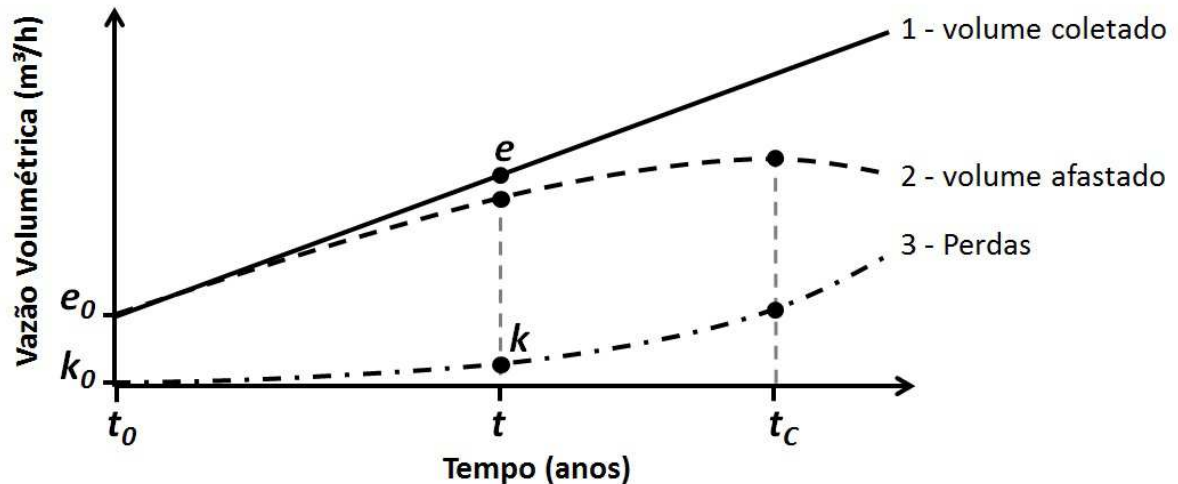


FIGURA 59 – SIMULAÇÃO HIPOTÉTICA DO SURGIMENTO DE PONTOS FRÁGEIS NA RCE

Na Figura 60 observa-se a evolução da coleta de esgotos, em relação ao tempo em que a RCE segue em operação. A vazão volumétrica é apresentada em metros cúbicos por hora. As curvas descrevem o que ocorreria com os efluentes: (1) coletados na rede, (2) efetivamente afastados e (3) volumes referentes a perdas.

A instalação da rede coletora tem início em t_0 , quando entra em operação o primeiro lote de coletores, recebendo uma carga de esgotos e_0 (Figura 60). Admitese neste momento as perdas de efluentes k_0 devidas às ocorrências iniciais.

Com o passar do tempo, mais coletores vão sendo acrescentados à rede, que vai recebendo cada vez mais efluentes (em algum momento, será conveniente revisar o atendimento da ETE às demandas futuras). A Figura 60 mostra uma perda k em possível elevação devido a ocorrências posteriores mais frequentes.

A análise da Figura 60 ilustra que em todo tempo t de operação da rede coletora em proposição, os indicadores de atendimento da coleta de esgotos (e) superestimariam o volume de efluentes efetivamente afastados das áreas habitadas.

Para se estancar a perda k , já existem processos de manutenção preventiva e corretiva adequados. Todavia, por melhores que sejam, convém o permanente investimento no treinamento de equipes e desenvolvimento de processos eficazes.

Caso a rede coletora em proposição fosse submetida a processos intensos de fragilização, a operabilidade de alguns ramais poderia ser afetada. A Figura 60 indica tal momento por t_c , o instante crítico a partir do qual as perdas superariam os volumes coletados.

Uma vez estabelecido o momento crítico t_c ilustrado na Figura 60, os volumes de esgotos efetivamente afastados já não mais acompanhariam as extensões de novas redes implantadas. Tais volumes seriam equivalentes aos de épocas anteriores ao momento t_c .

Os indicadores de atendimento, atualmente expressos em metros de rede implantada, não refletiriam o declínio nos volumes de esgoto efetivamente afastados. Tais indicadores permaneceriam a expressar resultados positivos, em contraposição aos propósitos do esgotamento sanitário.

4.5.2 Indicadores do esgotamento sanitário

Os índices de atendimento da coleta de esgoto são pautados em “metro de rede coletora instalada” e “população atendida”, descrevendo esforços empreendidos na instalação do saneamento básico, o que pode estar em descompasso ao alcance efetivo das condições sanitárias na área urbana.

Ampliações de rede coletora são necessárias para que o esgotamento sanitário acompanhe a expansão urbana, porém tão ou mais importantes são os serviços de manutenção preventiva e corretiva, que apesar de não figurarem nos indicadores de universalização, contribuem à qualidade de vida da população.

Os indicadores de universalização poderiam agregar parâmetros que traduzam a eficiência da RCE no efetivo afastamento dos efluentes, cumprindo integralmente a função à qual é concebida. Por exemplo, o metro cúbico de esgoto efetivamente afastado incorporaria um indicador da qualidade do ambiente local.

4.5.3 Integração do PRRU com as tecnologias convencionais

Uma das vantagens da integração do PRRU com as tecnologias convencionais de telediagnóstico e teste de fumaça está na possibilidade de se compor estratégias de manutenção, potencializando a localização de pontos frágeis em extensas bacias hidrográficas.

A Figura 61 simula a atuação de tecnologias convencionais (a) e PRRU (b) em ramais em linha, iniciados em PV_0 . A Figura 61-a apresenta em cor verde o

avanço, ramal a ramal, das tecnologias convencionais, enquanto a Figura 61-b apresenta, em cor laranja, o modo como o PRRU segue de PV em PV, saltando os PVs iniciais e aproximando-se mais rapidamente do ponto frágil.

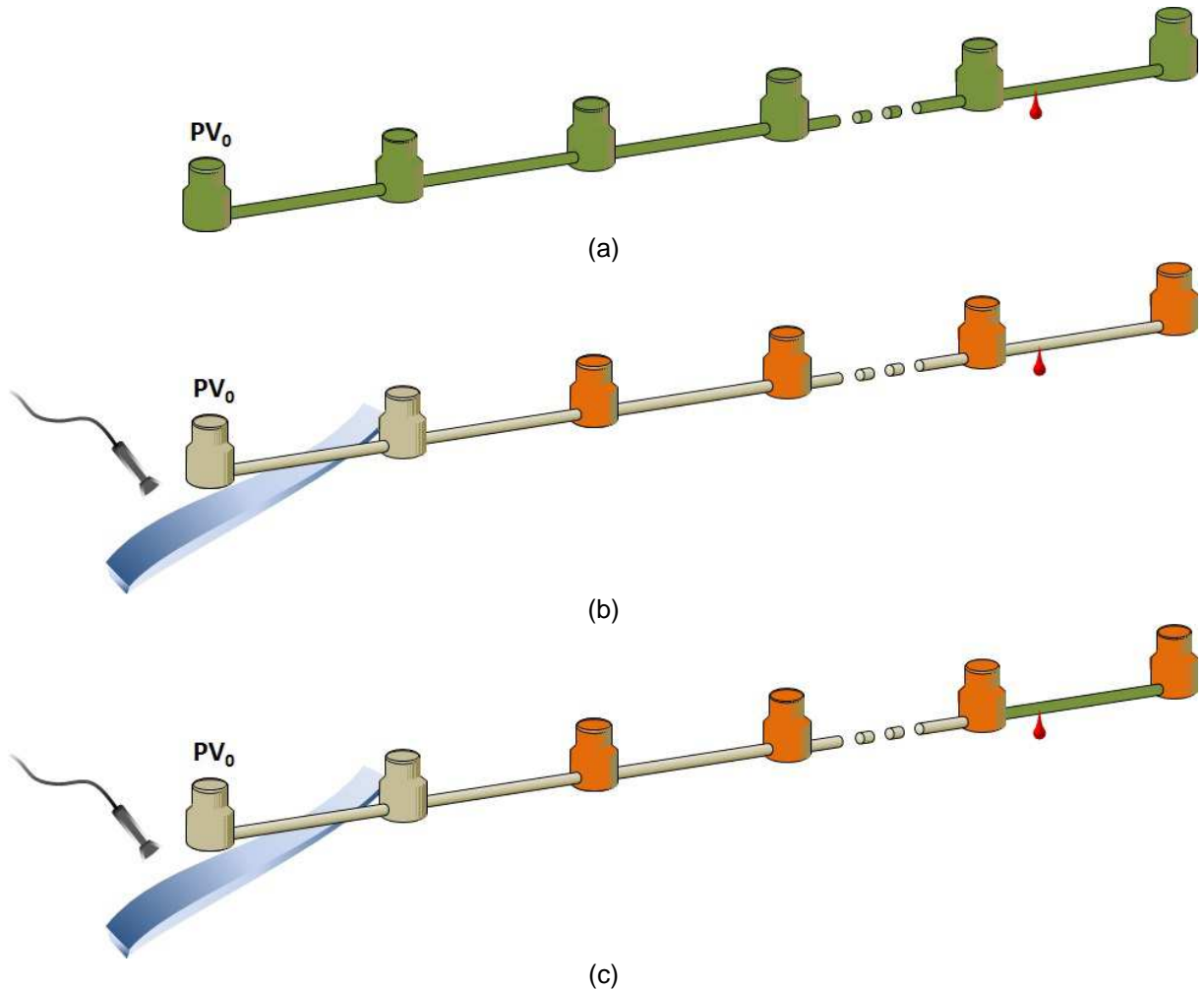


FIGURA 60 - COMPARATIVO DA MANUTENÇÃO COM TELEDIAGNÓSTICO E COM O PRRU

A integração das metodologias, vista na Figura 61-c, propicia que o PRRU alcance rapidamente o ramal crítico, o qual passa a ser objeto de análise por tecnologias convencionais, definindo-se ações corretivas adequadas.

A integração das metodologias atende à manutenção corretiva na bacia hidrográfica, com o PRRU destacando os ramais que mais necessitam a análise minuciosa provida pelas tecnologias convencionais. A manutenção corretiva integrada confere agilidade na identificação e intervenção, favorecendo a eficiência da rede coletora e um melhor aspecto visual e olfativo dos rios urbanos.

A análise da Figura 61 remete à otimização no uso das tecnologias convencionais na ordem de n ramais (Figura 61-a) para 1 ramal (Figura 61-c), com reflexos esperados na alocação de recursos humanos, tecnológicos e financeiros.

5 CONCLUSÃO

A metodologia do PRRU, conforme descrita no presente trabalho, mostra-se adequada às necessidades dos serviços de manutenção da RCE. A descrição sistemática de suas etapas, premissas e conceitos fornecem orientações à replicação em rios urbanos de outros locais, não restritos às fronteiras nacionais.

A análise do balanço de massa realizada no presente trabalho fornece um modelo para o sistema rio urbano, considerando as correntes que determinam as concentrações da carga orgânica no rio, influenciando na disponibilidade do OD. Desta forma, tem-se o rio urbano como entendido pelo PRRU, uma síntese do aporte de águas e cargas orgânicas, interpretada à luz da autodepuração do rio, de modo a orientar na localização de fontes poluidoras.

As análises da estabilidade do OD forneceram evidências que validam as premissas do PRRU, podendo-se admitir o rio urbano apresente condições ambientais estáveis no período do levantamento do Perfil de rio, especialmente no período da manhã.

A leitura do parâmetro OD ao longo do corpo hídrico, sob a óptica do PRRU, consegue colher das águas do rio urbano o conhecimento de fontes poluidoras a montante, incluindo a noção do quanto se está distante ao evento poluidor.

Os resultados já obtidos pelo PRRU para o Rio Belém, exibidos no Apêndice B, demonstraram ser válido o uso de parâmetros dos rios urbanos na avaliação da qualidade da rede coletora presente na respectiva bacia hidrográfica. Como exemplo, tem-se a melhora paisagística na chegada das águas do Rio Belém no lago do Parque São Lourenço no ano 2014, em relação a 2011.

Os números do PRRU revelaram melhorias conquistadas nas condições ambientais do rio, na mesma forma como se conseguiu um importante ganho na qualidade da RCE. A análise de seus dados corrobora a importância da manutenção da RCE, tanto em sua forma corretiva, como preventiva.

Conclui-se que o PRRU é um método adequado à gestão da RCE, apto a integrar o rol das soluções empregadas na manutenção e melhoria operacional das estruturas coletoras do esgotamento sanitário. Sua integração com as tecnologias convencionais potencializa o alcance das ações de manutenção corretiva, necessárias no curto prazo.

A manutenção integrada conta com o PRRU identificando bolsões prioritários à intervenção, nos quais se aplicam as tecnologias convencionais,

provendo diagnósticos que orientam na escolha da melhor solução corretiva para cada caso.

O PRRU somente identifica elementos da rede coletora que já abriguem pontos frágeis, não sendo aplicável a programas de manutenção preventiva, os quais precisam evitar a ocorrência de pontos frágeis. As tecnologias convencionais se mostram as mais adequadas para este fim, por serem capazes de atuar antes que ocorra o evento poluidor.

Para os próximos trabalhos acerca do tema PRRU, sugere-se estudar o desempenho das análises de OD em rios com diferentes regimes de vazão e em períodos chuvosos e de estiagem. As análises também poderiam considerar domínios urbanos em diferentes padrões e densidades de ocupação.

Com relação à premissa de estacionariedade do rio urbano e seus parâmetros de análise, recomenda-se que a análise de Perfil do rio seja cumprida no mais curto espaço de tempo possível, minimizando variações nas medições de OD.

Trabalhos posteriores poderão analisar o desempenho financeiro da manutenção corretiva com e sem o PRRU, para que se desenvolvam ações de planejamento adequadas ao custo-benefício proporcionado pela integração das metodologias do PRRU e tecnologias convencionais.

Estudos complementares podem avaliar a possibilidade de uso do parâmetro OD na rede hídrica como identificativo de fontes poluidoras de naturezas diversas como indústrias, agricultura e outros. Análises similares também podem ser empreendidas em áreas desprovidas de rede coletora.

A metodologia do PRRU mostra-se de potencial proveito em Programas de despoluição de rios urbanos. Recomenda-se que se empreendam pesquisas orientadas a este fim.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (ABNT) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648**. (1986) **Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário** - Procedimento. Rio de Janeiro, 1986.
- ABRAHAM, D.; WIRAHADIKUSUMAH, R.; SHORT, T.; SHAHBAHRAMI, S. **Optimization modeling for sewer network management**. Journal of Construction Engineering and Management, p. 402-410. 1998.
- ACKROYD, P. Thames: the biography. Ed.1. Nova Iorque: Doubleday Publishing Group. 481p. 2007.
- (AGUASPARANÁ) INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Série histórica da estação fluviométrica 65011400. Curitiba. 2014b.
- (AGUASPARANÁ) INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. Série histórica da estação pluviométrica 2549075. Curitiba. 2014b.
- ALVES, J.E.D.; CAVENAGHI, S. **Tesouros Escondidos**. Revista Infogeo. Ed. 61. Editora Mundgeo. Curitiba. p.34-35. 2010.
- AMICK R. S.; BURGESS, E. H. Exfiltration in sewer systems. National Risk Management Laboratory. Cincinnati, Ohio. 34p. 2000.
- AQUINO, C. **Ocupação desordenada dificulta universalização do acesso ao saneamento**: esgotamento sanitário é a principal demanda. (CREA-BA) – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia da Bahia. 2011.
- BARROS, R. P.; CARVALHO, M.; FRANCO, S. **Pobreza multidimensional no Brasil**. Texto para discussão nº 1227. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Rio de Janeiro. 2006.
- BERTOLINO, M. **Avaliação das contribuições de água de chuva provenientes de ligações domiciliares em sistema de esgotamento sanitário separador absoluto**. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J. L. *et al.* Assessing infiltration and exfiltration on the performance of urban sewer systems (APUSS) - Final report. Leon, França. 2005.
- BEVILAQUA, N. Materiais de tubulações utilizadas em sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários. Estudo de caso da área norte de São Paulo. Dissertação (Mestrado em Engenharia). PUC. São Paulo. 2006.
- BOLLMANN, H. A.; EDWIGES, T. Avaliação da qualidade das águas do Rio Belém, Curitiba-PR, com o emprego de indicadores quantitativos e perceptivos. **Engenharia sanitária e ambiental**. v. 13, n. 4, p. 443-452. 2008. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v13n4/a13v13n4.pdf>>. Acesso em 07/06/2014.
- BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. C. Introdução à Engenharia Ambiental. Prentice Hall. 2002.

BRASIL. Casa Civil. Lei nº 9.433 de 8 de Janeiro de 1997. **Política Nacional de Recursos Hídricos**: cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. 1997.

_____. Resolução CONAMA Nº 357, de 17 de março de 2005. **Dispõe sobre a classificação dos corpos d'água**. 2005.

_____. Casa Civil. Lei nº 11.445 de 4 de Janeiro de 2007. **Política Nacional de Saneamento Básico**: estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Art. 2º, parágrafos II e III. 2007.

BRENNER, T. *et al.* The Present Status of the River Rhine with Special Emphasis on Fisheries Development. In: Proceedings of the second international symposium on the management of large rivers for fisheries. Sustaining Livelihoods and Biodiversity in the New Millennium. Phnom Penh, Camboja. 2003. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/007/ad525e/ad525e08.htm#TopOfPage>>. Acesso em 26.mai.2014.

CAMARGO, C. E. S.; AMORIM, M. C. C. T. **Qualidade ambiental e adensamento urbano na cidade de Presidente Prudente/SP**. In: Scripta Nova, Revista Electrónica de Geografía y Ciencias Sociales. Universidad de Barcelona. 2005.

CELLIGOI, A. Considerações sobre análises químicas de águas subterrâneas. Geografia. Londrina. V. 8, n. 1, p. 91-97. 1999.

JURISDIÇÃO (São Paulo). Conselho Estadual de Recursos Hídricos. Deliberação CRH Nº162, de 9 de setembro de 2014. **Referenda a proposta de alteração da classe de qualidade do Rio Jundiáí**. 2014.

CERQUEIRA, E. C.; MORAES, L. R. S. A legislação ambiental e urbanística no trato dos rios urbanos: uma análise crítica. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. 2008.

(COALIAR) COMITÊ DO ALTO IGUAÇU E AFLUENTES DO ALTO RIBEIRA. Resolução nº 04: Aprova proposição de atualização do enquadramento dos corpos de água superficiais na área de abrangência do COALIAR. 2013.

COLLISCHONN, W.; DORNELLES, F. **Hidrologia**: para engenharia e ciências ambientais. 350 p. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Coleção ABRH, v.12. Porto Alegre. 2013.

CRESPO, P. G. **Sistema de esgotos**. 132 p. Escola de Engenharia da UFMG. Editora UFMG. Belo Horizonte. 2000.

DESPOLUIÇÃO do Rio Tâmbisa, em Londres, é seguida por várias cidades. **Bom Dia Brasil**. 30/05/2012. Programa de televisão.

DEZOTTI, M. Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líquidos. Série Escola Piloto de Engenharia Química. COPPE/UFRJ. Ed. E-papers. Rio de Janeiro. 360p. 2008.

DIAS, A. P.; ROSSO, T. C. A.; GIORDANO, G. **Os sistemas de saneamento na cidade do Rio de Janeiro** – Parte I. In: Série Temática: Recursos Hídricos e Saneamento. Vol. 2. Rio de Janeiro. 2012.

DOBIGNIES, C. M. (Coordenador de Manutenção da URCT-N, Unidade Regional Curitiba Norte) **Tecnologias convencionais de busca por pontos frágeis na rede coletora**. [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <lpenido@sanepar.com.br> em: 18/5/2014.

(DSD) DRAINAGE SERVICES DEPARTMENT. **Sewerage Manual** – Key planning issues and gravity collection system – Part 1. 107p. Hong Kong, China. 1995.

ELLIS, J. B. **Sewer performance inflow, infiltration and exfiltration**. Urban Pollution Research Centre. Londres. 2011.

FARIA, R. C; NOGUEIRA, J. M.; MUELLER, B. **Políticas de precificação do setor de saneamento urbano no Brasil**: as evidências do Equilíbrio de Baixo Nível. Brasília: UnB/Departamento de Economia, 2005.

FERREIRA, M. A. C.; ROCHA, Z. M.; SEABRA, A. C. **Sensor de oxigênio dissolvido óptico utilizando a técnica de sol-gel sobre LTCC**. In: 6th Ibero-American Congress on Sensors. São Paulo. 2008. p. 333-337.

FIORUCCI A. R.; BENEDETTI-FILHO, E. A importância do oxigênio dissolvido em ecossistemas aquáticos. Química Nova na Escola, n. 22. 2005.

FREIRE, P. Educação e mudança. 12ª Ed. Paz e Terra. Rio de Janeiro. 1979.

(FUNASA) FUNDAÇÃO NACIONAL DA SAÚDE. **Manual de Saneamento**. Ministério da Saúde. 408p. 2006.

GOOGLE EARTH. Aplicativo de acesso a imagens orbitais de alta resolução e bases de dados geográficas. Data do imageamento: 21.mai.2009. Acesso em 06.jul.14.

GOOGLE EARTH. Aplicativo de acesso a imagens orbitais de alta resolução e bases de dados geográficas. Data do imageamento: 31.ago.2012. Acesso em 06.jul.14.

HELLER, L.; PADUA, V. L. Abastecimento de água para consumo humano. Belo Horizonte. Editora UFMG. 859p. 2006.

HERMES, L. C. *et al.* Participação comunitária em monitoramento da qualidade da água. Circular técnica n° 8, Embrapa. 8p. Jaguariúna, São Paulo. 2004.

(IAP) INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Qualidade das águas: Reservatórios do Estado do Paraná – 2005 a 2008. Curitiba, 2008.

(IAP) INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. Monitoramento de qualidade das águas dos rios da Bacia do Alto Iguaçu, na Região Metropolitana de Curitiba, no período de 2005 a 2009. Curitiba. 2009.

(IBGE) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo demográfico**: resultados do universo. (12º Recenseamento Geral do Brasil). Rio de Janeiro, 2010a.

(IBGE) INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2010. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>. 2010b. Acessado em 20.jul.2014.

(IHP) INTERNATIONAL HYDROLOGICAL PROGRAMME. Urban water cycle processes and interactions. In: Technical Documents in Hydrology. N. 78. UNESCO - United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. 87p. 2006.

(INPE) INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Portal da tecnologia da informação para meteorologia: Observações meteorológicas de superfície. Estação meteorológica SBBI. 2014. Disponível em: <<http://bancodedados.cptec.inpe.br>>. Acesso em 28/06/14.

(IPEA) INSTITUTO DE PESQUISA ECONOMICA APLICADA. A revolução da Qualidade Total: histórico e modelo gerencial. Relatório interno. Longo, R. M. J. 1994.

(IPPUC) INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. Arruamento. Curitiba. [2012a]. Arquivo digital.

_____. Bacias hidrográficas. Curitiba. [2011]. Arquivo digital.

_____. Divisa de Bairros. Curitiba. [2012b]. Arquivo digital.

_____. Hidrografia. Curitiba. [2012c]. Arquivo digital.

_____. Parques e Bosques. Curitiba. [2012d]. Arquivo digital.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 6ª ed. 1050p. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro. 2011.

MAGALHÃES, A. P. T. Biogás: um projeto de saneamento urbano. Ed. Nobel. São Paulo. 1986.

MARCHIORI, R. Esgoto da Rodoferroviária foi lançado no Rio Belém durante obra da Copa. **Gazeta do Povo**. Curitiba, 09 set. 2014a.

MARCHIORI, R. GPS vai ajudar pesquisadores a mapear as nascentes do Belém. **Gazeta do Povo**. Curitiba, 13 mai. 2014b.

MORAES, L. R. S.; BORJA, P. C. Política e plano municipal de saneamento ambiental: experiências e recomendações. Organização Panamericana da Saúde; Ministério das Cidades, Programa de Modernização do Setor de Saneamento. Brasília: OPAS, 2005.

NUVOLARI, A. Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 2aed. São Paulo: Blucher, 2011.

ONU HÁBITAT. Construcción de ciudades más equitativas: políticas públicas para inclusión em la América Latina. 243p. Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos. 2014.

PAIVA, J. B. D.; PAIVA, E. M. C. D. Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas. 628p. Ed. Evangraf. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. 2001.

PESSÔA, S. Bônus demográfico passou. **Folha de São Paulo**. São Paulo, 11.nov.12. Colunistas. Disponível em < <http://www1.folha.uol.com.br/colunas/samuelpessoa/1183799-bonus-demografico-passou.shtml>>. Acesso em 12/2/14.

PINTO, V. C. **Ocupação irregular do solo urbano**: o papel da legislação federal. 2003. In: Jus Navigandi, Teresina, ano 10, n. 1149, 24.ago.06. Disponível em: <<http://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/137/38.pdf?sequence=4>>. Acesso em 3/2/2014.

PIVELI, R. P. **Tratamento de Esgotos Sanitários**. Curso de curta duração. Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 2006.

PORTO, M. F. A.; PORTO, R. L. **Gestão de bacias hidrográficas**. Estudos Avançados, vol, 22 n 63, São Paulo. 2008.

PROBST, M. F. **Agência intermunicipal de regulação do saneamento**. In: Jus Navigandi, Teresina, ano 15, n. 2504, 10.mai.10. Disponível em: <<http://jus.com.br/artigos/14816/agencia-intermunicipal-de-regulacao-do-saneamento>>. Acesso em 13/10/2014.

(PROSAB) PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. Manejo de Águas Pluviais Urbanas. 398 p. FINEP – Agência Brasileira de Inovação. 2009.

RAMME, E. J. Proposta de um modelo de gestão para um sistema de esgotamento sanitário. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial) Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

REANI, R. T. **Organização do espaço e políticas públicas ambientais no município de São José dos Campos-SP**. 287 p. Tese (Doutorado em Geografia). Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

REBOUÇAS, A. C. Aspectos relevantes do problema da água. In: Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2. ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 687-702.

(RECESA) REDE DE CAPACITAÇÃO E EXTENSÃO TECNOLÓGICA EM SANEAMENTO AMBIENTAL. **Esgotamento sanitário**: operação e manutenção de redes coletoras de esgotos. 78 p. Brasília: Ministério das Cidades. 2008.

ROSSI, A. **L'architettura della città**. Città Studi. Milano (1966) Novara, Italia. Cittàstudi Edizioni. De Agostini Scuola S.p.A., 2006.

SALATI, E.; LEMOS, H. M.; SALATI, E. **Água e o desenvolvimento sustentável**. In: Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação. 2ª Ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. p. 39-63.

(SANASA) SOCIEDADE DE ABASTECIMENTO DE AGUA E SANEAMENTO S/A. Manual de saneamento. 3 ed. Brasília. Fundação Nacional de Saúde. 408p. 2006.

(SANEPAR) Companhia de Saneamento do Estado do Paraná. Rede Coletora de Esgotos. Shapefile. Curitiba. 2013.

_____. Selo do monitoramento participativo do PRRU. 2014a.

_____. Base de dados do PRRU. Arquivo em formato 'mdb'. Curitiba. 2014b.

_____. Cadastro técnico. Curitiba, 2014c. Banco de dados da SANEPAR.

_____. Croqui do PRRU. Curitiba, 2014d.

_____. Registros fotográficos das ações do PRRU. Curitiba, 2014e.

(SANEPAR/USEA) UNIDADE DE SERVIÇOS DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL. E-mails do monitoramento participativo. Mensagens recebidas por: <riosurbanos@sanepar.com.br> entre 05/05/2013 e 20/05/2014. Curitiba, 2014.

(SANEPAR/SNS) SISTEMA NORMATIVO DA SANEPAR. Contrato com usuários somente com ligação de esgoto comercial, industrial, utilidade pública e Poder Público. IA/COM/0342. Site interno. Curitiba, 2014a.

(SANEPAR/SNS) SISTEMA NORMATIVO DA SANEPAR. Formulário tipo *check list* para vistoria técnica operacional de efluentes não domésticos. IA/OPE/1504. Site interno. Curitiba, 2014b.

(SANEPAR/SNS) SISTEMA NORMATIVO DA SANEPAR. Modelo de Formulário de Tipologia Industrial. IA/OPE/1498. Site interno. Curitiba, 2014c.

SCHUSTER, Z. L. L. SANEPAR Ano 30: Resgate da memória do saneamento básico do Paraná. 1ª Ed. 249p. Curitiba. 1994.

(SEMPLA) Secretaria Municipal de Planejamento. Olhar São Paulo – Violência e criminalidade. São Paulo. SRGráfica. 54p. 2008.

SHERWIN WILLIAMS. **Corante líquido Xadrez**. Taboão da Serra. [20--].

SHERWIN WILLIAMS. Ficha de informação de segurança de produto químico: corante líquido Xadrez. 2011. Disponível em: <<http://www.sherwin-williams.com.br/imagens/produto/fispq/FISPQ-3130-Corante-Liquido-Xadrez.pdf>>. Acesso em 15.ago.2014.

SKROCH, J. **Gestão da rede coletora de esgoto: Revitalização de rios urbanos.** Premio Nacional da Qualidade em Saneamento – PNQS. Inovação da Gestão em Saneamento – IGS. IX Seminário da Inovação em Gestão do Saneamento. Fortaleza. 2012.

SKROCH, J. **Monitoramento de coletores de esgoto sanitário em áreas de reservatório de água para abastecimento público.** Curso de Capacitação de Facilitadores para Qualidade. PUC, Curitiba. 2013.

SKROCH, J. **Procedimentos e conceitos do Programa de Revitalização de Rios Urbanos.** [Mensagem pessoal]. Mensagem recebida por: <lpenido@sanepar.com.br> em: 15/5/2014

SOLIZ, N. **Vida volta ao Reno.** Deutsche Welle. Berlim. 2003. Disponível em: <<http://www.dw.de/vida-volta-ao-rio-reno/a-913125>>. Acesso em 29/05/2014.

SOUZA, P. A. B. F.; MARQUES JUNIOR, S. A importância da Educação Ambiental na formação de profissionais de engenharia relacionado ao setor de transportes urbanos. Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia. 2001.

SPILLER, P. T.; SAVEDOFF, W. D. **Government opportunism and the provision of water.** In: SAVEDOFF, W. D.; SPILLER, P. T. (Eds.) Spilled Water: Institutional commitment in the provision of water services. Washington, D. C.: Inter-American Development Bank. 1999.

(SUDERHSA) SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO. **Plano diretor de drenagem urbana para a bacia do Rio Iguaçu na Região Metropolitana de Curitiba** – relatório final. Curitiba, 2002.

TOMAZELA, J. M. Crise hídrica leva cidades a buscar água em rios poluídos. **O Estado de São Paulo.** São Paulo, 13 agosto 2014. Disponível em: <<http://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,crise-hidrica-leva-cidades-a-buscar-agua-em-rios-poluidos,1543351>>. Acesso em 13/8/2014.

TONETTI, E. L. **Potencialidades de adensamento populacional por verticalização das edificações e qualidade ambiental urbana no município de Paranaguá, Paraná, Brasil.** 235 p. Tese (Doutorado em Geografia). Setor de Ciências da Terra, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

(TRATABRASIL) INSTITUTO TRATABRASIL. Saneamento no Brasil. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. 2012. Acesso em 15.mai.14.

(TRATABRASIL) INSTITUTO TRATABRASIL. Diagnóstico da situação dos Planos Municipais de Saneamento Básico e da regulação dos serviços nas 100 maiores cidades brasileiras. Disponível em: <<http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/diagnostico/book.pdf>>. 2014. Acesso em 13.out.14.

TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. **Coleta e transporte de esgoto sanitário.** 3. ed. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2011.

TUCCI, C. E. M. **Água no meio urbano**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas. UFRGS. Livro Água Doce, cap 14. 1997.

_____. **Drenagem urbana**: gerenciamento, simulação, controle. Ed.3. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Vol3. Série Estudos e Pesquisas. 203p. 1998.

_____. **Urban drainage in humid tropics**. In: Urban drainage in specific climates. Technical Documents in Hydrology. International Hydrological Programme. v.1. n.40. UNESCO, Paris. 2001.

TUCCI, C. E. M.; MENDES, C. A. **Avaliação ambiental integrada de bacia hidrográfica**. 302p. Ministério do Meio Ambiente. Projeto de Instrumentos de Gestão Ambiental PROGESTÃO. 2006.

(USGS) United States Geological Survey. **Office of Water Quality Technical Memorandum 2011.03**. 13p. 2011.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Princípios do tratamento biológico das águas residuárias. v.1, 6ª ed. UFMG. 452p. Belo Horizonte. 2009.

ZAHED FILHO, K. MARTINS, J. R. S., PORTO, M. F. A. **Soluções para o controle da poluição difusa em áreas urbanas**. USP. São Paulo. Edusp. 21p. 2011.

WETZEL, R. G. **Limnology. Lake and river ecosystems**. 3 ed. Academic Press. San Diego. 1006p. 2001.

APÊNDICES

APÊNDICE A - DOCUMENTO PARA NOTIFICAÇÃO DE PONTO FRÁGIL À MANUTENÇÃO.....	118
APÊNDICE B - BASE DE DADOS DO PRRU, PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO BELÉM.....	119

Apêndice A - Documento para notificação de ponto frágil à manutenção

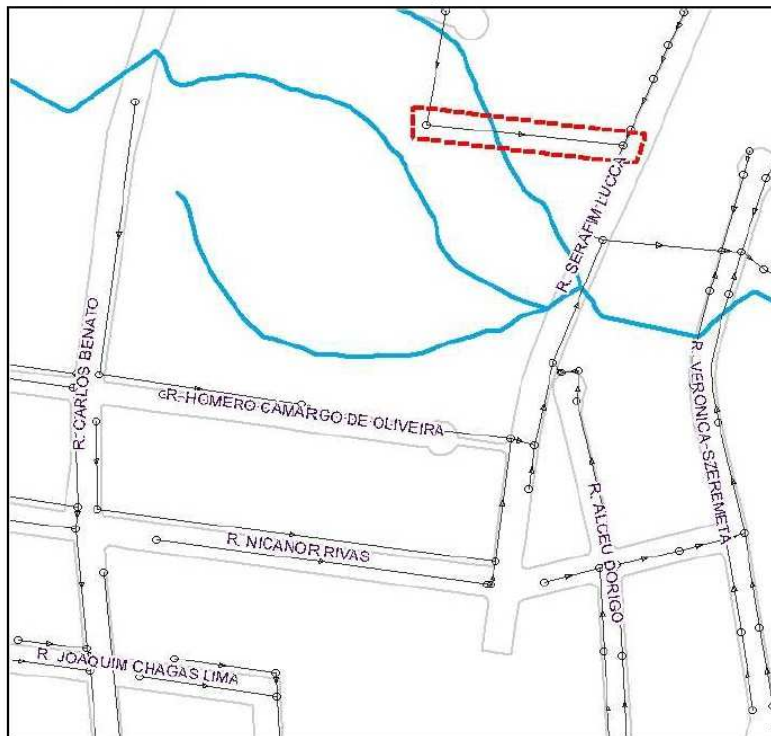
A notificação de pontos frágeis às equipes de manutenção se dá mediante croquis como o da Figura 62, com informações que visam orientar a rápida atuação. O documento retorna ao PRRU com indicações da obra corretiva no quadro do canto inferior esquerdo. No quadro à direita, consta o respectivo valor de OD medido no rio, a partir do qual se pôde identificar o ponto frágil.

Projeto de Revitalização de Rios Urbanos

Croqui nº: 010/2011

Bacia: Barigui

Sub-bacia: Rio Uvu



Entrada do condomínio.



Resultado na GAP de corante jogado na RCE.

Diretoria de Meio Ambiente e Ação Social

problema localizado em: 13/05/2011

Responsável: Jefferson Skroch

Enviado à DO em: 16/05/2011

OD indicador: 2,2

Comentários:

Provável rompimento da RCE no trecho destacado.
Corantes lançados na RCE com reflexos na GAP.
Problemas na ligação do condomínio Jardim Vergínia IX com a RCE.

Diretoria de Operações

problema recebido em:

Protocolo Serviço:

Responsável:

*Previsão conserto:

Conserto efetuado em:

Custo Obra:

Comentários:

*quando não houver recurso disponível.

Observações

FIGURA 61 – CROQUI PARA NOTIFICAÇÃO DE PONTO FRÁGIL À MANUTENÇÃO
FONTE: SANEPAR (2014d)

Apêndice B - Base de dados do PRRU, para a bacia hidrográfica do Rio Belém

Rio Belém													
Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Vazão específica (L/s/km ²)	Vazão estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)		
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores	
69	674.166	7.194.796	0,07	29/10/2010	2,05	34,4	0,002	15,0	22,3	29,0	-	0,2	
				06/02/2011	5,17	498,7	0,036	20,0	22,4	28,0	2,8	1,0	
70	674.188	7.194.434	0,57	04/10/2010	3,01	149,8	0,085	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4	
				13/12/2011	4,50	32,1	0,018	18,0	22,7	27,0	-	0,2	
				03/09/2012	2,19	29,9	0,017	14,0	15,8	18,0	-	-	
				29/11/2012	3,61	46,0	0,026	17,0	23,3	28,0	-	16,6	
				30/11/2012	4,49	41,3	0,023	18,0	19,3	21,0	-	16,2	
				06/02/2013	5,49	34,4	0,019	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
				18/04/2013	6,59	37,9	0,021	13,0	17,8	22,0	-	-	
71	674.270	7.194.279	0,69	06/02/2013	5,84	34,4	0,024	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
				19/02/2014	5,58	32,1	0,022	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2	
72	674.305	7.193.947	1,03	04/10/2010	2,09	149,8	0,154	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4	
				13/12/2011	2,09	32,1	0,033	18,0	22,7	27,0	-	0,2	
				03/09/2012	2,42	29,9	0,031	14,0	15,8	18,0	-	-	
				06/02/2013	6,07	34,4	0,035	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
				04/08/2013	1,90	26,5	0,027	14,0	19,7	24,0	-	-	
73	674.272	7.193.779	1,15	17/03/2014	4,73	35,7	0,037	19,0	24,9	30,0	-	-	
				04/10/2010	1,17	149,8	0,172	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4	
				13/12/2011	1,40	32,1	0,037	18,0	22,7	27,0	-	0,2	
				29/11/2012	4,49	46,0	0,053	17,0	23,3	28,0	-	16,6	
				06/02/2013	6,09	34,4	0,040	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
74	674.371	7.193.282	1,50	18/04/2013	6,20	37,9	0,044	13,0	17,8	22,0	-	-	
				19/02/2014	4,00	32,1	0,037	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2	
				04/10/2010	1,84	149,8	0,225	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4	
				13/12/2011	1,78	32,1	0,048	18,0	22,7	27,0	-	0,2	
				29/11/2012	1,79	46,0	0,069	17,0	23,3	28,0	-	16,6	
				30/11/2012	1,79	41,3	0,062	18,0	19,3	21,0	-	16,2	
				06/02/2013	5,06	34,4	0,052	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
75	674.414	7.193.008	2,30	18/04/2013	4,93	37,9	0,057	13,0	17,8	22,0	-	-	
				04/08/2013	1,77	26,5	0,040	14,0	19,7	24,0	-	-	
				14/10/2013	4,48	22,0	0,033	18,0	24,7	30,0	-	0,4	
				17/03/2014	4,81	35,7	0,054	19,0	24,9	30,0	-	-	
				13/12/2011	4,17	32,1	0,074	18,0	22,7	27,0	-	0,2	
				29/11/2012	1,90	46,0	0,106	17,0	23,3	28,0	-	16,6	
				06/02/2013	5,14	34,4	0,079	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
76	674.416	7.192.889	2,43	06/02/2013	5,14	34,4	0,079	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
				04/10/2010	4,17	149,8	0,364	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4	
				13/12/2011	3,31	32,1	0,078	18,0	22,7	27,0	-	0,2	
				29/11/2012	2,91	46,0	0,112	17,0	23,3	28,0	-	16,6	
				06/02/2013	5,61	34,4	0,084	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
				18/04/2013	5,98	37,9	0,092	13,0	17,8	22,0	-	-	
				19/02/2014	3,82	32,1	0,078	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2	
77	674.383	7.192.054	3,12	17/03/2014	4,60	35,7	0,087	19,0	24,9	30,0	-	-	
				06/02/2013	7,17	34,4	0,108	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
				02/05/2013	6,57	22,0	0,069	19,0	22,6	27,0	-	-	
78	674.429	7.191.689	3,66	19/02/2014	5,57	32,1	0,100	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2	
				04/10/2010	5,03	149,8	0,549	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4	
				13/12/2011	0,55	32,1	0,118	18,0	22,7	27,0	-	0,2	
				29/11/2012	2,92	46,0	0,168	17,0	23,3	28,0	-	16,6	
				06/02/2013	5,86	34,4	0,126	17,0	20,4	23,0	-	15,0	
				18/04/2013	5,42	37,9	0,139	13,0	17,8	22,0	-	-	
				02/05/2013	3,68	22,0	0,081	19,0	22,6	27,0	-	-	
				14/10/2013	5,85	22,0	0,081	18,0	24,7	30,0	-	0,4	
				19/02/2014	3,76	32,1	0,118	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2	
				17/03/2014	5,37	35,7	0,131	19,0	24,9	30,0	-	-	
05/05/2014	5,89	31,6	0,116	16,0	19,6	23,0	-	-					

Rio Belém (continuação)

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km²)	Data	OD	Vazão específica (L/s/km²)	Vazão estimada (m³/s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
80	674.419	7.190.727	0,14	04/10/2010	3,29	149,8	0,021	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4
				19/02/2014	2,08	32,1	0,004	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2
81	674.385	7.190.627	5,80	04/10/2010	3,90	149,8	0,869	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4
				13/12/2011	4,41	32,1	0,186	18,0	22,7	27,0	-	0,2
				29/11/2012	4,39	46,0	0,267	17,0	23,3	28,0	-	16,6
				06/02/2013	6,20	34,4	0,200	17,0	20,4	23,0	-	15,0
				18/04/2013	6,73	37,9	0,220	13,0	17,8	22,0	-	-
19/02/2014	3,82	32,1	0,186	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2				
82	674.048	7.190.186	6,23	19/02/2014	3,82	32,1	0,200	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2
84	673.986	7.189.932	8,02	04/10/2010	4,26	149,8	1,201	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4
				13/12/2011	4,35	32,1	0,258	18,0	22,7	27,0	-	0,2
				29/11/2012	3,70	46,0	0,368	17,0	23,3	28,0	-	16,6
				06/02/2013	6,60	34,4	0,276	17,0	20,4	23,0	-	15,0
				18/04/2013	6,60	37,9	0,303	13,0	17,8	22,0	-	-
17/03/2014	5,26	35,7	0,286	19,0	24,9	30,0	-	-				
86	674.064	7.189.120	0,22	18/10/2012	5,00	24,3	0,005	17,0	23,4	30,0	-	-
87	674.033	7.188.889	10,21	04/10/2010	8,64	149,8	1,529	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4
				13/12/2011	5,61	32,1	0,328	18,0	22,7	27,0	-	0,2
				29/11/2012	7,45	46,0	0,469	17,0	23,3	28,0	-	16,6
				06/02/2013	7,98	34,4	0,351	17,0	20,4	23,0	-	15,0
				18/04/2013	7,56	37,9	0,387	13,0	17,8	22,0	-	-
17/03/2014	6,24	35,7	0,365	19,0	24,9	30,0	-	-				
88	674.032	7.188.373	10,72	04/10/2010	7,21	149,8	1,606	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4
				17/03/2014	5,92	35,7	0,383	19,0	24,9	30,0	-	-
91	674.119	7.187.420	15,42	04/10/2010	1,17	149,8	2,309	10,0	12,6	14,0	14,2	29,4
				13/12/2011	2,00	32,1	0,496	18,0	22,7	27,0	-	0,2
				29/11/2012	1,02	46,0	0,708	17,0	23,3	28,0	-	16,6
				18/04/2013	7,29	37,9	0,584	13,0	17,8	22,0	-	-
				06/06/2013	5,58	39,0	0,602	12,0	18,6	23,0	-	-
17/03/2014	5,32	35,7	0,550	19,0	24,9	30,0	-	-				
114	674.221	7.194.804	0,21	13/12/2011	6,08	32,1	0,007	18,0	22,7	27,0	-	0,2
				04/10/2012	5,61	34,4	0,007	17,0	18,7	21,0	-	12,4
				30/11/2012	5,69	41,3	0,009	18,0	19,3	21,0	-	16,2
				17/03/2014	4,36	35,7	0,007	19,0	24,9	30,0	-	-
119	674.268	7.194.229	0,72	03/09/2012	2,73	29,9	0,021	14,0	15,8	18,0	-	-
120	674.303	7.194.081	0,80	03/09/2012	3,18	29,9	0,024	14,0	15,8	18,0	-	-
				14/10/2013	6,37	22,0	0,018	18,0	24,7	30,0	-	0,4
				17/03/2014	4,49	35,7	0,029	19,0	24,9	30,0	-	-
389	674.441	7.192.407	0,07	14/10/2013	1,39	22,0	0,002	18,0	24,7	30,0	-	0,4
390	674.460	7.192.367	0,12	14/10/2013	2,78	22,0	0,003	18,0	24,7	30,0	-	0,4
392	674.351	7.192.649	2,58	14/10/2013	4,99	22,0	0,057	18,0	24,7	30,0	-	0,4
				19/02/2014	3,69	32,1	0,083	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2
393	674.313	7.191.897	0,34	14/10/2013	6,45	22,0	0,008	18,0	24,7	30,0	-	0,4
394	674.033	7.191.976	0,16	14/10/2013	3,49	22,0	0,003	18,0	24,7	30,0	-	0,4
520	674.296	7.193.525	1,29	19/02/2014	3,82	32,1	0,041	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2
				17/03/2014	4,97	35,7	0,046	19,0	24,9	30,0	-	-
521	674.009	7.189.796	9,28	19/02/2014	4,09	32,1	0,298	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2
522	674.042	7.189.701	9,29	17/03/2014	5,21	35,7	0,332	19,0	24,9	30,0	-	-
523	674.079	7.189.393	9,64	17/03/2014	5,55	35,7	0,344	19,0	24,9	30,0	-	-

Córrego da Pedreira

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
99	673.995	7.189.814	1,19	15/05/2013	5,69	21,0	0,025	15,0	20,9	26,0	-	-
100	673.836	7.189.802	1,16	15/05/2013	5,60	21,0	0,024	15,0	20,9	26,0	-	-
101	673.585	7.189.817	1,03	15/05/2013	5,59	21,0	0,022	15,0	20,9	26,0	-	-
102	673.500	7.189.926	0,18	15/05/2013	7,63	21,0	0,004	15,0	20,9	26,0	-	-
103	673.162	7.189.851	0,65	09/10/2012	4,68	23,2	0,015	15,0	23,6	30,0	-	-
				15/05/2013	4,40	21,0	0,014	15,0	20,9	26,0	-	-
104	672.820	7.189.816	0,22	15/05/2013	6,91	21,0	0,005	15,0	20,9	26,0	-	-
105	672.838	7.189.836	0,21	15/05/2013	5,00	21,0	0,004	15,0	20,9	26,0	-	-
111	672.862	7.189.817	0,43	11/06/2013	4,53	23,2	0,010	16,0	17,7	20,0	-	-
112	673.464	7.189.878	0,77	09/10/2012	3,37	23,2	0,018	15,0	23,6	30,0	-	-
				11/06/2013	1,97	23,2	0,018	16,0	17,7	20,0	-	-

Córrego Primavera

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
83	674.061	7.190.149	0,83	13/12/2011	4,12	32,1	26,810	18,0	22,7	27,0	-	0,2
				19/02/2014	1,43	32,1	26,810	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2
				20/03/2014	0,98	51,8	43,193	18,0	20,3	24,0	-	-
536	675.060	7.189.967	0,18	24/01/2014	2,51	40,1	7,169	20,0	26,3	31,0	-	4,8
537	674.911	7.189.991	0,43	24/01/2014	2,70	40,1	17,115	20,0	26,3	31,0	-	4,8

Córrego da Rua Evaldo Wendler

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
93	674.000	7.190.038	0,90	06/12/2012	5,14	42,5	0,038	22,0	25,9	30,0	0,2	0,2
				15/05/2013	3,85	21,0	0,019	15,0	20,9	26,0	-	-
94	673.954	7.190.269	0,85	15/05/2013	5,44	21,0	0,018	15,0	20,9	26,0	-	-
95	673.771	7.190.311	0,78	06/12/2012	6,28	42,5	0,033	22,0	25,9	30,0	0,2	0,2
				15/05/2013	5,30	21,0	0,016	15,0	20,9	26,0	-	-
96	673.526	7.190.542	0,59	09/10/2012	8,00	23,2	0,014	15,0	23,6	30,0	-	-
				15/05/2013	6,72	21,0	0,012	15,0	20,9	26,0	-	-
				06/05/2014	6,69	31,6	0,019	15,0	20,0	23,0	-	-
98	673.268	7.190.620	0,22	15/05/2013	6,45	21,0	0,005	15,0	20,9	26,0	-	-
115	673.563	7.190.521	0,08	06/12/2012	3,03	42,5	0,003	22,0	25,9	30,0	0,2	0,2
				06/05/2014	4,31	31,6	0,003	15,0	20,0	23,0	-	-

Córrego do Gava

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
79	674.170	7.191.148	1,10	13/08/2010	7,88	42,5	0,047	13,0	17,3	21,0	-	-
92	673.685	7.191.551	0,43	15/05/2013	3,85	21,0	0,009	15,0	20,9	26,0	-	-
113	673.618	7.191.298	0,20	09/12/2012	5,68	45,0	0,009	20,0	21,1	23,0	14,4	0,4

Córrego Vila Diana

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
116	674.465	7.192.962	2,30	03/09/2012	4,00	29,9	0,069	14,0	15,8	18,0	-	-
				14/10/2013	3,36	22,0	0,051	18,0	24,7	30,0	-	0,4
				19/02/2014	1,46	32,1	0,074	15,0	19,6	23,0	4,2	8,2
117	674.893	7.193.218	0,12	03/09/2012	2,99	29,9	0,004	14,0	15,8	18,0	-	-
				30/11/2012	3,60	41,3	0,005	18,0	19,3	21,0	-	16,2

Pilarzinho

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
90	673.996	7.187.940	3,76	17/03/2014	3,64	35,7	0,134	19,0	24,9	30,0	-	-

Pilarzinho, braço Sul

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
48	673.175	7.188.293	1,73	10/10/2012	2,30	21,0	0,036	20,0	22,5	26,0	-	-
49	672.854	7.188.033	1,09	10/10/2012	1,49	21,0	0,023	20,0	22,5	26,0	-	-
50	672.663	7.187.825	0,91	10/10/2012	1,26	21,0	0,019	20,0	22,5	26,0	-	-
51	672.542	7.187.761	0,84	10/10/2012	3,03	21,0	0,018	20,0	22,5	26,0	-	-
52	672.455	7.187.672	0,70	10/10/2012	2,89	21,0	0,015	20,0	22,5	26,0	-	-
53	672.083	7.187.499	0,40	10/10/2012	3,35	21,0	0,008	20,0	22,5	26,0	-	-

Pilarzinho, braço Norte

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
54	672.643	7.188.833	0,51	10/10/2012	6,43	21,0	0,011	20,0	22,5	26,0	-	-
55	672.965	7.188.761	1,19	10/10/2012	5,65	21,0	0,025	20,0	22,5	26,0	-	-
56	673.049	7.188.713	0,12	10/10/2012	4,76	21,0	0,002	20,0	22,5	26,0	-	-
57	673.054	7.188.647	1,35	10/10/2012	3,57	21,0	0,028	20,0	22,5	26,0	-	-
58	673.111	7.188.561	1,42	10/10/2012	3,68	21,0	0,030	20,0	22,5	26,0	-	-
59	673.184	7.188.411	1,47	10/10/2012	3,60	21,0	0,031	20,0	22,5	26,0	-	-

Demais afluentes

Seção	Coordenada X	Coordenada Y	Área da bacia hidrográfica (km ²)	Data	OD	Q Específica (L/s/km ²)	Q estimada (m ³ /s)	Temperatura ambiente (°C)			Precipitação (mm)	
								mínima	média	máxima	no dia	nos dois dias anteriores
118	674.023	7.192.931	0,13	03/09/2012	4,73	29,9	0,004	14,0	15,8	18,0	-	-
121	674.371	7.193.986	0,20	03/09/2012	4,20	29,9	0,006	14,0	15,8	18,0	-	-
391	674.166	7.192.567	0,05	14/10/2013	7,01	22,0	0,001	18,0	24,7	30,0	-	0,4