AVALIAÇÃO DA VIABILIDADE ECONÔMICA DA LAVAGEM PREVENTIVA DE REDES COLETORAS DE ESGOTO: ESTUDO DE CASO NA ÁREA OESTE/SUL NO DISTRITO FEDERAL

Bruno Araújo Albuquerque([1])

Engenheiro Civil pela Universidade do Distrito Federal (UDF), com especialização em Saneamento Ambiental e Ciência de Dados. Possui 10 anos de experiência no setor de saneamento básico. Tem experiência em análises geoespaciais com QGIS, ArcGIS e ferramentas de BI. Atualmente integra a equipe de planejamento dos sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário da CAESB. Atua na otimização da infraestrutura e da operação dos sistemas por meio de análises e gestão de projetos.

Felipe Albuquerque Carvalho([2])

Graduando em Engenharia Ambiental e Ciências Ambientais pela Universidade de Brasília (UnB) e atua como Técnico em Edificações pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB). Possui experiência em geoprocessamento, sensoriamento remoto e modelagem aplicada ao saneamento, com foco na automação de rotinas e análise espacial utilizando linguagem de programação Python. Participa de projetos de pesquisa e extensão nas áreas de recursos hídricos, saneamento e geotecnologias.

Diogo Correia Marques dos Santos([3])

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Brasília (UnB). Atua como Técnico em Edificações na Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), desenvolvendo projetos de redes de água e esgoto, análises e modelagem hidráulica. Possui proficiência em geoprocessamento (QGIS e ArcGIS Pro) e na criação de dashboards em Power BI para monitoramento de indicadores operacionais, suporte à otimização e operação de sistemas de saneamento.

Iuri Cesar Campos([4])

Engenheiro Civil pela Universidade do Distrito Federal (UDF), com especialização em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos. Possui 20 anos de experiência no setor de saneamento básico. Atualmente, atua como Superintendente do Departamento de Operação e Manutenção de Redes de Água e Esgoto da CAESB, no Distrito Federal.

Bruno Cabral Neves([5])

Engenheiro Florestal pela Universidade de Brasília (UnB) e pós-graduado com especialização em Gestão Ambiental pela Universidade Paulista (UNIP). Atua no setor de saneamento ambiental na elaboração de projetos de redes de água e esgoto além de análises de modelagem hidráulica, com ampla vivência em QGIS, ArcGIS e Power BI na produção de mapas, georreferenciamento e dashboards. Atualmente atua como Técnico em Edificações Pleno pela Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB).

Endereço: SIND QI 1 - Gama - DF - CEP: 72445-010 - Brasil - Tel: +55 (61) 99226-4198 - e-mail: al-bruno@outlook.com.

RESUMO

A manutenção corretiva de redes coletoras de esgoto consome parcela relevante dos recursos operacionais das companhias de saneamento. Este trabalho avalia a viabilidade econômica da lavagem preventiva (hidrojateamento) de tubulações de esgoto a partir de estudo de caso em algumas localidades do Distrito Federal, contemplando sistemas convencional e condominial. Foram comparados os quantitativos de ordens de serviço de desobstrução seis meses antes e seis meses após as lavagens, caracterizadas as patologias por vídeo inspeção robotizada e correlacionada sua incidência com a redução das desobstruções. As lavagens reduziram as desobstruções entre 40,9% e 85,2%, com ciclo de retorno médio de 17 meses. Entretanto, o investimento preventivo superou em 350% a 635% a economia estimada com serviços corretivos, resultando em payback negativo em todos os cenários. Propõe-se uma equação de apoio à decisão que condiciona a programação das

lavagens à relação custo-benefício por zona de controle de esgoto, e um fluxo de planejamento que prioriza trechos críticos. Conclui-se que a lavagem é tecnicamente eficaz, porém sua aplicação e recorrência deve ser seletiva e orientada por critérios econômicos e pelas patologias predominantes, maximizando a eficiência global dos gastos com manutenção.

Palavras-chave: Manutenção preventiva, Lavagem de redes de esgoto, Viabilidade econômica.

INTRODUÇÃO

O sistema de esgotamento sanitário é constituído por unidades interdependentes destinadas à coleta, ao transporte e ao tratamento dos esgotos. Dentre elas, as redes coletoras destacam-se como o conjunto de canalizações que recebe e conduz os efluentes das edificações (TSUTIYA; ALEM SOBRINHO, 2011). O funcionamento adequado dessas redes é condição indispensável para a prestação do serviço, sendo frequente, contudo, a ocorrência de obstruções provocadas por areia, gordura, resíduos sólidos e outros materiais intrusos, que demandam intervenção operacional (LOPES, 2019).

Segundo a NBR 5462 (ABNT, 1994), manutenção é a combinação de ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou recolocar um item em estado no qual possa desempenhar a função requerida. No contexto das redes coletoras, classificam-se as manutenções em preventivas (lavagem de coletores, vistorias em poços de visita), corretivas (substituições, reformas e melhoramentos) e emergenciais (remoção de obstruções e reparo de rupturas) (MEDEIROS FILHO, 2003). A manutenção exclusivamente reativa tende a perpetuar um estado de mitigação de sintomas, com decréscimo de eficiência e retrabalhos, ao passo que a manutenção preventiva, executada com recursos humanos qualificados e equipamentos adequados, reduz significativamente as intervenções emergenciais e corretivas (RECESA, 2008).

O custo é um dos principais indicadores da atividade de manutenção, englobando os recursos de intervenção, os custos internos das equipes e as perdas associadas à indisponibilidade (ZEN, 2008). A NBR 15575-1 (ABNT, 2013) reforça que a manutenção é economicamente relevante no custo global do empreendimento e não pode ser conduzida de modo improvisado. Nesse cenário, duas tecnologias são centrais para a gestão preventiva das redes: o hidrojateamento, que promove a limpeza e a desobstrução por jato d'água de alta pressão, e a vídeo inspeção robotizada, que registra a real situação estrutural e operacional das tubulações, identificando anomalias e sua metragem exata (SILVA, 2013). A Figura 1 ilustra ambas as técnicas.

Figura 1 - Técnicas de manutenção preventiva e diagnóstico empregadas



(a) Hidrojateamento (b) Vídeo inspeção robotizada

Fonte: CAESB (2017).

Embora a eficácia técnica da lavagem seja reconhecida, a literatura nacional carece de avaliações sistemáticas de sua viabilidade econômica em escala de zona de controle de esgoto. Este trabalho contribui para preencher essa lacuna, integrando dados históricos de contratos de lavagem/vídeo inspeção, análise espacial e correlação com patologias, e propondo um instrumento quantitativo de apoio ao planejamento preventivo.

OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a viabilidade econômica das lavagens preventivas em tubulações de esgoto, visando à otimização dos custos de manutenção do sistema coletor. São objetivos específicos:

- determinar amostragem diversificada para o estudo de caso, contemplando sistemas (convencional e condominial) e níveis de complexidade distintos;
- verificar o impacto da lavagem preventiva no quantitativo de serviços de desobstrução;
- caracterizar os cenários amostrados por meio das patologias identificadas em vídeo inspeção robotizada e verificar suas correlações com o efeito das lavagens;
- formular e propor uma equação que incorpore o fator financeiro ao planejamento das demandas preventivas.

METODOLOGIA UTILIZADA

O estudo seguiu abordagem quantitativa, retrospectiva e comparativa, estruturada em sete etapas: (i) comparação do quantitativo anual de desobstruções e lavagens no período de 2015 a 2020; (ii) análise espacial de densidade (estimador de kernel) das desobstruções, comparando 12 meses antes e 12 meses após as lavagens; (iii) quantificação das desobstruções por conjunto habitacional, comparando janelas de 6 meses antes e depois da lavagem; (iv) cálculo do ciclo médio de retorno das desobstruções; (v) aplicação da equação proposta para avaliação do payback; (vi) categorização das patologias identificadas por vídeo inspeção robotizada; e (vii) correlação entre a redução das desobstruções e a incidência de cada patologia.

Os dados internos foram obtidos do contrato de lavagem/vídeo inspeção robotizada nº 8603/2016, do sistema comercial (GCOM) e do cadastro técnico (ESET) da CAESB. Foram consultados os códigos de serviço 8102008021040 (desobstrução com varetas ou arame) e 8102008021070 (desobstrução com caminhão hidrojato), com valor unitário contratual de R$ 78,13 por desobstrução (com desoneração).

A seleção das áreas de estudo buscou diversidade de localidade, tipo de sistema, idade e material das redes, conforme a Tabela 1. Ressalta-se que as patologias identificadas por vídeo inspeção não foram corrigidas durante o período de análise, o que permitiu avaliar o efeito da lavagem de forma isolada.

Tabela 1 - Caracterização das áreas de estudo

Característica	Samambaia QR 323	Ceilândia QNM 06	Recanto das Emas Q 803	Santa Maria QR 318
Tipo de sistema	Condominial	Convencional	Condominial	Convencional
Idade da rede (anos)	20 a 22	43	22	23
Material predominante	PVC (72%)	MBV (100%)	PVC (95%)	PVC (92,1%)
Diâmetro predominante (mm)	100 (72%)	150 (94%)	100 (94,3%)	100 (92%)
Extensão de rede (m)	4.763,8	5.375,8	9.590,0	4.176,7
População estimada (hab.)	1.589	2.975	3.318	1.495

Fonte: elaboração própria a partir do cadastro técnico da CAESB (2021).

Para a avaliação econômica, foi modelada a Equação (1), que condiciona a programação da lavagem à relação entre o custo do investimento preventivo e a economia esperada com a supressão de serviços corretivos ao longo do ciclo de retorno. Quanto mais o resultado se aproximar de 100%, mais eficiente é o investimento; valores inferiores a 100% caracterizam o cenário em que a lavagem se paga integralmente.

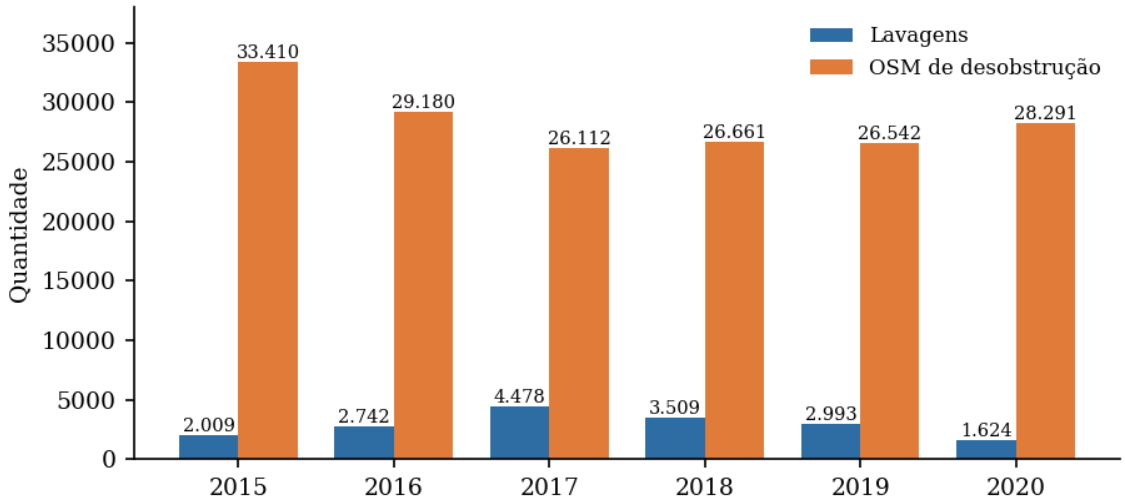
$$[(V_L \cdot M_R + M_O) / (Q_{desob} \cdot V_D \cdot C_{med} \cdot E_{med})] \cdot 100 \leq 100\% \qquad \text{equação (1)}$$

em que: VL é o valor unitário da lavagem (R$/m, contrato vigente ou mais recente); MR é o quantitativo, em metros, dos trechos de esgoto (cadastro técnico); MO é o preço médio da mão de obra (contrato de manutenção); Qdesob é a quantidade de desobstruções no pico mais recente que antecede a lavagem planejada; VD é o valor unitário da desobstrução (contrato de manutenção); Cmed é o ciclo médio de retorno das desobstruções (meses); e Emed é a eficiência média de redução observada nas amostras.

RESULTADOS OBTIDOS

A análise do histórico, evidenciou relação inversamente proporcional entre lavagens e desobstruções (Figura 2). O período de maior intensidade de lavagens, sob vigência do contrato de lavagem/vídeo inspeção robotizada, coincidiu com quedas consecutivas no número de desobstruções, de 33.410 OSM em 2015 para 26.112 OSM em 2017 (redução de 21,8%). Após o encerramento do contrato, as lavagens passaram a ser executadas exclusivamente por equipes próprias, com estabilização das desobstruções e leve retomada de crescimento em 2020, ano em que a pandemia restringiu a continuidade do programa preventivo.

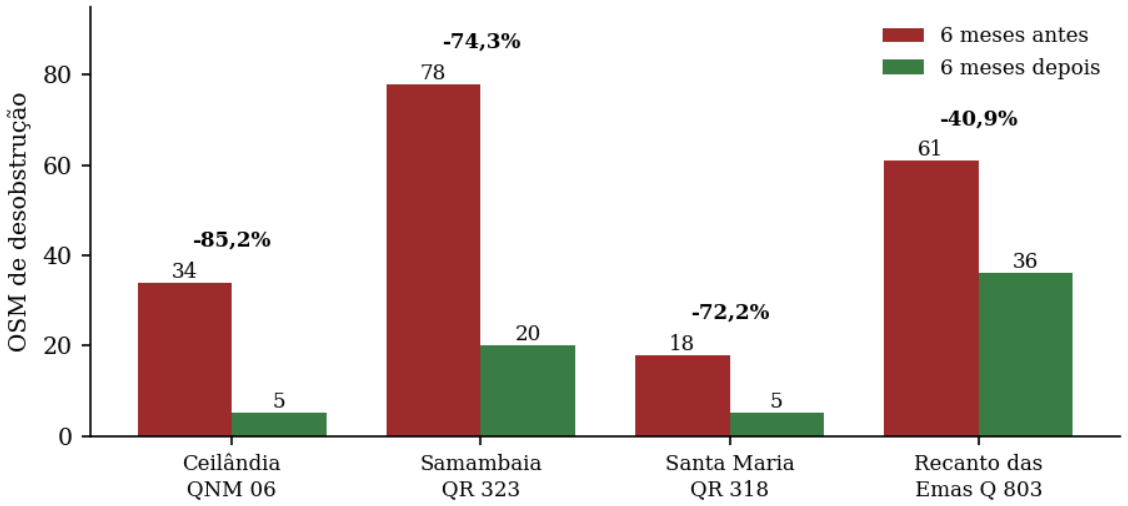
Figura 2 - Histórico anual de lavagens e ordens de serviço de desobstrução (2015-2020)



Fonte: elaboração própria a partir de dados do GCOM/CAESB (2021).

Na escala local, a comparação das janelas de seis meses antes e depois das lavagens demonstrou redução expressiva das desobstruções em todas as amostras (Figura 3 e Tabela 2). A análise espacial de densidade (kernel) confirmou visualmente o arrefecimento da concentração geográfica das ocorrências após as intervenções. Destaca-se, contudo, elevada heterogeneidade intra-amostral: na Ceilândia QNM 06, o conjunto K reduziu de 14 para 0 OSM, ao passo que o conjunto P permaneceu com 0 OSM antes e depois, indicando que parte dos trechos poderia ter sido poupada do planejamento sem prejuízo operacional.

Figura 3 - Desobstruções 6 meses antes e 6 meses após a lavagem, por localidade



Fonte: elaboração própria (2021).

Tabela 2 - Síntese do efeito das lavagens sobre as desobstruções

Localidade	Período da lavagem	OSM 6 meses antes	OSM 6 meses depois	Redução (%)
Ceilândia QNM 06	out./nov. 2016	34	5	85,2
Samambaia QR 323	ago./set. 2016	78	20	74,3
Santa Maria QR 318	jan./fev. 2018	18	5	72,2
Recanto das Emas Q 803	out./nov. 2017	61	36	40,9

Fonte: elaboração própria a partir de dados do GCOM/CAESB (2021).

Os gráficos mensais de OSM revelaram padrão característico: queda acentuada imediatamente após a lavagem, seguida de elevação gradativa até patamares semelhantes aos anteriores, em função do uso natural do sistema. O ciclo de retorno oscilou entre 9 e 23 meses, com média aproximada de 17 meses. Como referência internacional, a cidade de Placentia, Califórnia/EUA, adota limpeza sistemática a cada 24 meses, com inspeção de 14% a 20% do sistema ao ano (PLACENTIA, 2020), valor adotado como ciclo ajustado (Cmed = 24 meses) no cálculo econômico.

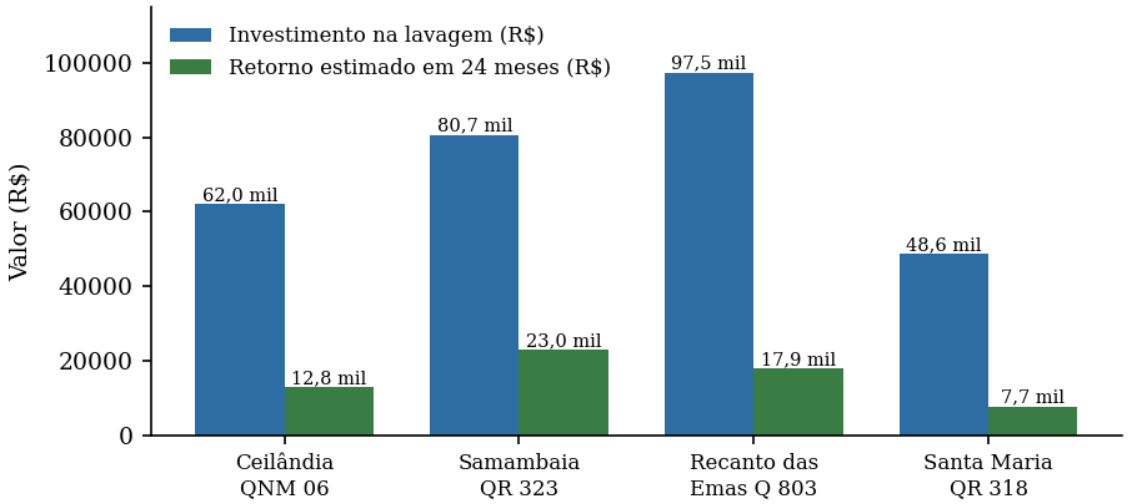
Aplicando-se a Equação (1) com VD = R$ 78,13, Cmed = 24 meses e eficiência média Emed = 68,15%, obtiveram-se os resultados da Tabela 3 e da Figura 4: em todos os cenários o investimento preventivo superou substancialmente a economia estimada com a supressão de serviços corretivos, resultando em payback negativo.

Tabela 3 - Avaliação econômica das lavagens por localidade

Localidade	Extensão lavada (m)	Custo da lavagem (R$)	Pico de OSM pré-lavagem	Retorno estimado (R$)	Investimento / retorno (%)
Samambaia QR 323	4.694,63	80.700,69	18 (ago./2016)	23.002,10	350,84
Ceilândia QNM 06	3.606,85	62.001,75	10 (set./2016)	12.778,94	485,19
Recanto das Emas Q 803	5.670,90	97.482,77	14 (set./2017)	17.890,52	544,89
Santa Maria QR 318	2.830,10	48.649,42	6 (out./2017)	7.667,37	634,50

Fonte: elaboração própria (2021).

Figura 4 - Investimento na lavagem versus retorno estimado em 24 meses



Fonte: elaboração própria (2021).

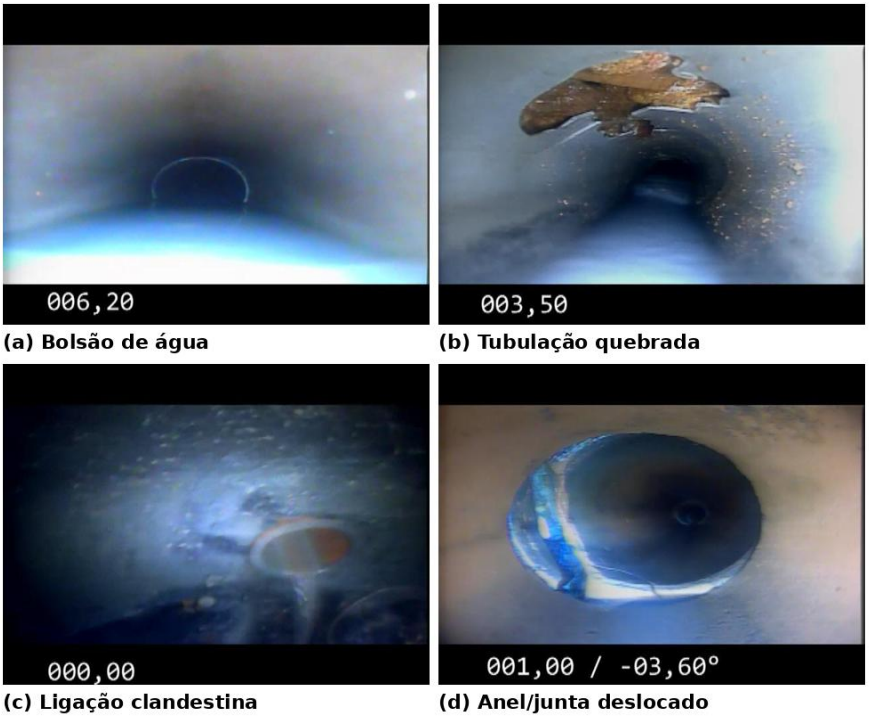
A vídeo inspeção robotizada permitiu categorizar 921 patologias nas quatro localidades (Tabela 4), sendo as mais frequentes a tubulação quebrada/rachada (281 ocorrências) e o bolsão de água (280 ocorrências). A Figura 5 ilustra as principais patologias registradas. Entre 70% e 80% dos entupimentos em redes coletoras têm origem nas instalações internas das edificações, em decorrência do mau uso; os 20% a 30% restantes decorrem de recalques, rupturas por esforços externos, abrasão e intrusão de raízes (MEDEIROS FILHO, 2003).

Tabela 4 - Patologias identificadas por vídeo inspeção robotizada, por localidade

Tipo de patologia	Samambaia	Ceilândia	Recanto das Emas	Santa Maria	Total
Tubulação quebrada/rachada	135	44	56	46	281
Bolsão de água	47	47	134	52	280
Ligação clandestina	94	6	6	1	107
Canaleta/almofada	68	8	16	6	98
Junta/anel de vedação	10	20	44	7	81
Outros	26	41	3	4	74
Total	380	166	259	116	921

Fonte: elaboração própria a partir de relatórios de vídeo inspeção (2021).

Figura 5 - Registros de vídeo inspeção das principais patologias



(a) Bolsão de água (b) Tubulação quebrada

(c) Ligação clandestina (d) Anel/junta deslocado

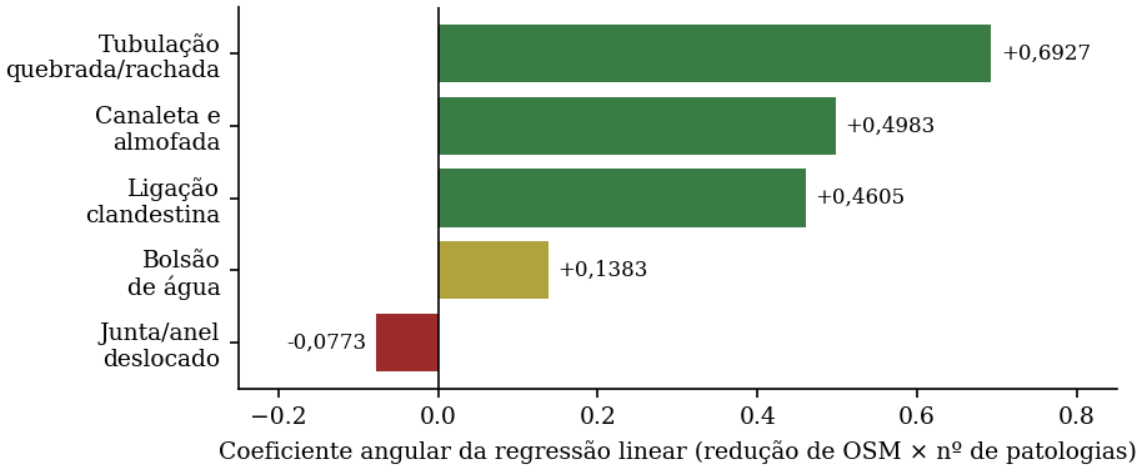
Fonte: CAESB (2017).

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A correlação entre a redução das desobstruções pós-lavagem e a incidência de cada patologia, sintetizada pelos coeficientes angulares das regressões lineares (Figura 6), permitiu hierarquizar os cenários mais favoráveis à intervenção preventiva. As tubulações quebradas/rachadas apresentaram a influência positiva mais intensa (coeficiente +0,6927), possivelmente pelo atrito imposto ao efluente e por constituírem pontos de infiltração e acúmulo. A canaleta/almofada danificada (+0,4983) e a ligação clandestina (+0,4605) também exibiram influência positiva, esta última associada ao aporte de efluentes fora de padrão, que favorece o acúmulo precoce de resíduos na parede interna da tubulação.

Em contrapartida, o bolsão de água apresentou influência praticamente neutra (+0,1383) e a junta/anel deslocado, influência levemente negativa (-0,0773). Em ambos os casos, trata-se de alterações físicas da estrutura ou do assentamento que a lavagem não é capaz de modificar, o que explica a baixa resposta das desobstruções nesses cenários. Esses resultados indicam que a vídeo inspeção deve preceder e orientar a programação das lavagens: trechos dominados por patologias estruturais demandam manutenção corretiva (substituição ou reabilitação), e não limpeza recorrente.

Figura 6 - Coeficientes angulares da correlação entre redução de desobstruções e patologias



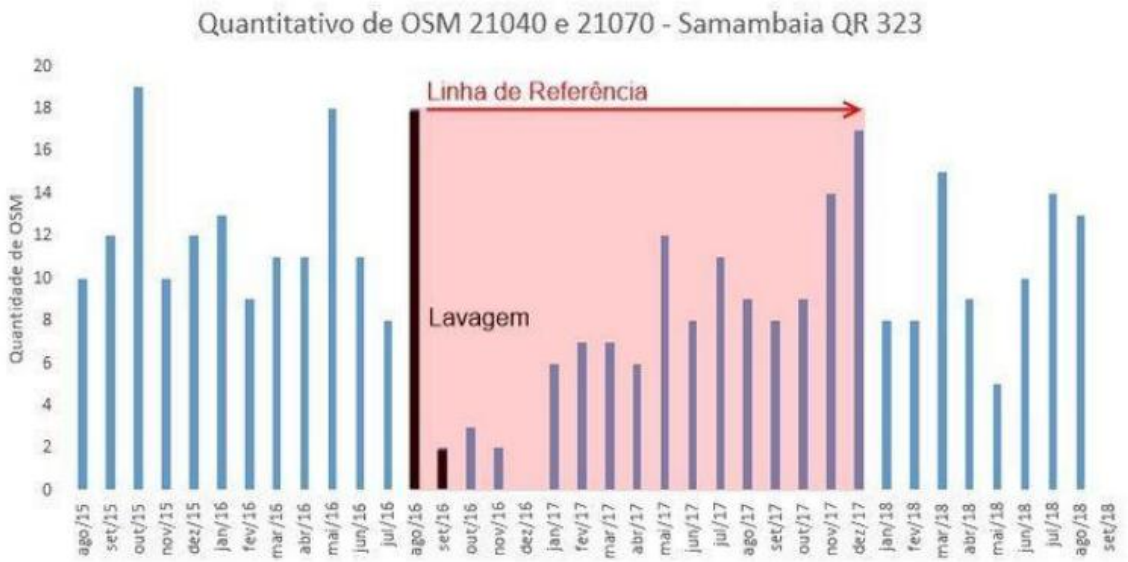
Fonte: elaboração própria (2021).

Do ponto de vista econômico, o payback negativo em todas as amostras (350,84% a 634,50% de razão investimento/retorno) não invalida a prática da lavagem, mas evidencia que sua aplicação indiscriminada, em malha completa, é financeiramente ineficiente quando avaliada apenas pela supressão de desobstruções. A heterogeneidade observada por conjunto (de reduções de 14 para 0 OSM até trechos sem qualquer ocorrência antes e depois) reforça a necessidade de seletividade: a demanda de lavagem deve ser limitada aos trechos com histórico de obstrução acima da média, última lavagem há 24 meses ou mais e patologias com resposta positiva à limpeza, conforme o fluxo de planejamento proposto (analisar quantitativo de desobstruções → verificar histórico de lavagens → avaliar payback pela Equação (1) → compatibilizar com a capacidade operacional → programar a lavagem).

Cabe ainda ponderar que a avaliação restrita ao custo evitado de desobstruções é conservadora. Benefícios não monetizados neste estudo — redução de extravasamentos e de seus passivos sanitários e ambientais, atendimento a indicadores regulatórios, satisfação dos usuários e prolongamento da vida útil dos ativos (ABNT, 2013) — tendem a melhorar a relação custo-benefício real da manutenção preventiva, alinhando-se à evolução histórica da manutenção baseada na condição e no risco da falha (OTANI; MACHADO, 2008).

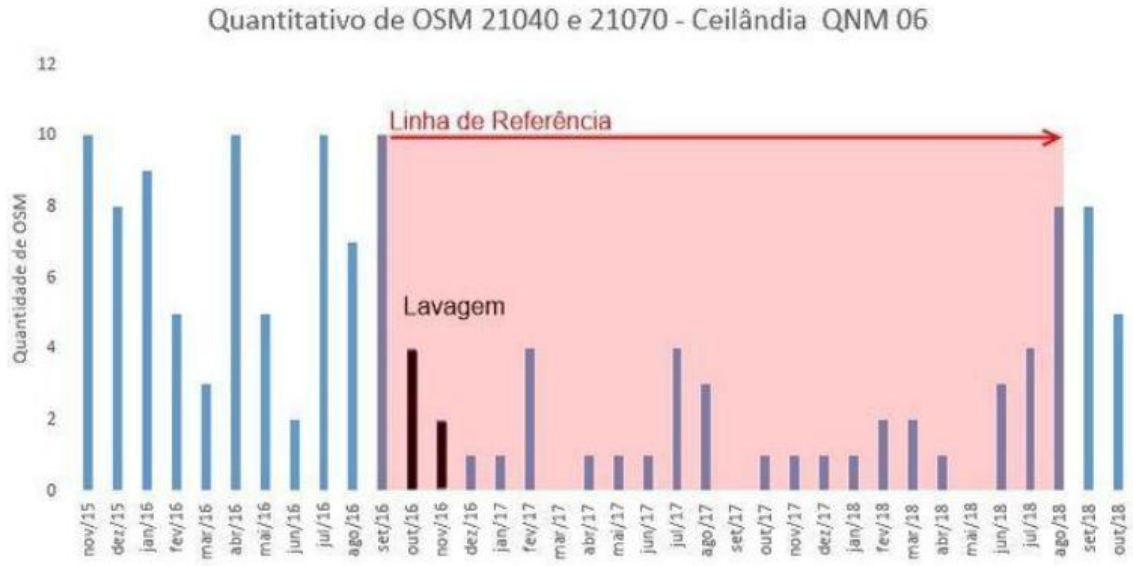
A partir da observação dos gráficos 7, 8, 9 e 10 é possível afirmar que as lavagens possuem semelhanças nos padrões dos ciclos de recorrência, sendo a escala do impacto um dos únicos fatores que diferenciam os cenários, tornando as lavagens subsequentes previsíveis. A partir dos dados levantados, o ciclo de retorno oscilou entre 9 e 23 meses, representando o período de influência das lavagens no quantitativo de serviços corretivos de desobstrução. Por fim, o ciclo de retorno médio das amostras resultou em aproximadamente 17 meses podendo ser ajustado para 24 meses conforme (PLACENTIA, 2020).

Figura 7 - Quantitativo de OSM e lavagem totais em Samambaia QR 323



Fonte: elaboração própria (2021).

Figura 8 - Quantitativo de OSM e lavagem totais em Ceilândia QNM 06



Fonte: elaboração própria (2021).

Figura 9 - Quantitativo de OSM e lavagem totais em Recanto das Emas Q 803



Fonte: elaboração própria (2021).

Figura 10 - Quantitativo de OSM e lavagem totais em Recanto das Emas Q 803



Fonte: elaboração própria (2021).

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O estudo demonstrou que a lavagem preventiva de tubulações de esgoto é tecnicamente eficaz, reduzindo as desobstruções entre 40,9% e 85,2% nas localidades avaliadas, com comportamento inversamente proporcional entre serviços preventivos e corretivos e ciclo de retorno médio de 17 meses (ajustável a aproximadamente 24 meses, em consonância com a prática internacional em países desenvolvidos). Sob a ótica estritamente financeira da supressão de desobstruções, entretanto, o payback foi negativo em todos os cenários, com investimento preventivo de 3,5 a 6,3 vezes superior ao retorno estimado.

Recomenda-se: (i) adotar a equação proposta como ferramenta de apoio à decisão, limitando a programação preventiva aos trechos com melhor relação custo-benefício; (ii) condicionar a lavagem ao diagnóstico prévio por vídeo inspeção, priorizando cenários com patologias de resposta positiva (tubulação quebrada/rachada, canaleta/almofada e ligação clandestina) e encaminhando à manutenção corretiva os trechos dominados por defeitos estruturais (junta deslocada e bolsão de água); (iii) manter a prática de lavagem de forma constante e

ininterrupta nos trechos elegíveis, em apoio aos indicadores de qualidade exigidos pelos órgãos reguladores; e (iv) aprofundar o estudo, incorporando à análise econômica os custos evitados de extravasamentos e os benefícios socioambientais. Trata-se de estudo primário, passível de ampliação amostral e segregação temática em trabalhos futuros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e Mantenabilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575-1: Edificações habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
3. CAESB - Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal. Relatórios do contrato de lavagem e vídeo inspeção robotizada nº 8603/2016. Brasília: CAESB, 2017.
4. LOPES, A. C. Análise de riscos na atividade de desobstrução de redes coletoras de esgoto: um estudo de caso em Florianópolis, SC. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho). Florianópolis, 2019.
5. MEDEIROS FILHO, C. F. Manutenção de sistemas de esgotos. In: Esgotos sanitários. 1. ed. João Pessoa: Universitária, 2003. cap. 17, p. 377-382.
6. MIRANDA, A. A.; AISSE, M. M. Gestão de redes de esgoto: aplicação do método PDCA em estudo de caso no bairro do Sítio Cercado (ETE Padilha), Curitiba/PR. In: XVIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2009.
7. OTANI, M.; MACHADO, W. V. A proposta de desenvolvimento de gestão da manutenção industrial na busca da excelência ou classe mundial. Revista Gestão Industrial, Manaus, 2008.
8. PLACENTIA. City of Placentia Sewer System Management Plan. California State Water Resources Control Board, EUA, 2020.
9. RECESA. Esgotamento sanitário: operação e manutenção de redes coletoras de esgoto. Brasília: Ministério das Cidades, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2008.
10. SILVA, A. D. Manutenções de redes coletoras de esgoto. In: XIX Exposição de Experiências Municipais em Saneamento, Poços de Caldas, 2015.
11. SILVA, P. M. D. A. D. Avaliação do sistema de esgotamento sanitário da região administrativa de Sobradinho I. Brasília: Faculdades Integradas Promove, 2013.
12. TSUTIYA, M. T.; ALEM SOBRINHO, P. Coleta e transporte de esgoto sanitário. 3. ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
13. ZEN, M. A. G. Indicadores de manutenção. Disponível em: http://www.mantenimientomundial.com/sites/mmnew/bib/notas/indicadoresBR.pdf. Acesso em: ago. 2021.