CONTROLE NA GERAÇÃO VERSUS DESCARTE CONVENCIONAL: AVALIAÇÃO DOS IMPACTOS SANITÁRIOS E AMBIENTAIS DOS FLUIDOS CORPÓREOS HOSPITALARES NO SISTEMA DE ESGOTO URBANO

Alfeu Cabral
Engenheiro Mecânico, formado em 1983, empresário.
Tales Reis
Publicitário, com ênfase em Marketing pela PUC-Campinas. Especializado no segmento em Marketing Hospitalar.
Alessandra Silva
Química Industrial, com especialização em Sistema de Gestão Integrado e MBA em Gestão de Resíduos.
Vitor Silva
Gestor Ambiental, Consultor em Inovação e Tecnologia, ESG e Gestão de Resíduos Hospitalares.

Rua Quintino Bocaiúva, 181 - Americana – São Paulo - CEP: 13.466-300 - Basil - Tel: +55 (19) 98108-6000 - e-mail: alfeucabral58@gmail.com.

RESUMO

Este trabalho analisa o impacto ambiental e sanitário do descarte de fluidos biológicos provenientes de hospitais e clínicas. Atualmente, o método convencional baseia-se no despejo direto em expurgos/pias e na higienização de frascos retornáveis, prática que impõe alta carga orgânica (DQO/DBO) às redes de esgoto e expõe profissionais a riscos ocupacionais. A partir da análise de dados de mercado e do cenário de saneamento brasileiro, este estudo avalia as consequências da gestão atual, evidenciando o volume crítico gerado anualmente. Os resultados indicam que a solidificação na geração reduz o descarte hídrico, convertendo o efluente em resíduo sólido e viabilizando a logística de descarte conforme a RDC 222/2018. Em escala hospitalar, a prática tem o potencial de reter milhões de litros de fluidos que deixariam de ser lançados na rede de esgoto. Conclui-se que a solidificação atua como uma barreira física que reduz o descarte hídrico de fluidos biológicos, contribuindo para a redução da disseminação de microrganismos multirresistentes e promovendo a necessária resiliência da infraestrutura de saneamento ambiental, contribuindo para a gestão de resíduos de serviços de saúde e a biossegurança ocupacional.

PALAVRAS-CHAVE: Solidificação, Sustentabilidade, Esgoto hospitalar.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de saneamento urbano nas cidades contemporâneas desempenham um papel que ultrapassa a mera coleta de águas residuárias, configurando-se como barreiras sanitárias fundamentais para a manutenção da saúde pública e a preservação dos ecossistemas hídricos. No entanto, a eficiência operacional e a resiliência dessas infraestruturas são constantemente colocadas à prova pela introdução de efluentes de alta complexidade e toxicidade. Entre os geradores mais críticos desses efluentes destacam-se os Estabelecimentos de Assistência à Saúde (EAS). Embora os hospitais sejam centros dedicados à cura e ao bem-estar humano, a gestão interna de seus resíduos líquidos, especificamente os fluidos corporais e secreções provenientes de sistemas de aspiração, impõe uma carga significativa ao sistema de saneamento municipal, em razão da carga microbiológica e química neles contida.

Para fins de delimitação do recorte metodológico deste trabalho, estabelece-se que a análise se restringe exclusivamente aos fluidos corpóreos e secreções líquidas provenientes de sistemas de aspiração de ambientes hospitalares de média e alta complexidade, como Blocos Cirúrgicos e UTIs. Portanto, não são considerados no escopo deste estudo outros tipos de fluidos biológicos ou efluentes específicos, tais como os gerados em clínicas odontológicas, estúdios de tatuagem e procedimentos de tamponamento de necrotérios.

1.1 O PANORAMA ESTRUTURAL DO SANEAMENTO NACIONAL E A VULNERABILIDADE DOS CORPOS D'ÁGUA

Para compreender a magnitude do impacto do efluente hospitalar nas redes coletoras urbanas, faz-se indispensável analisar o cenário estrutural em que o saneamento básico brasileiro está inserido. Conforme os dados mais recentes consolidados no Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA 2024, ano-base 2023, Ministério das Cidades), que substituiu o antigo SNIS, o país ainda enfrenta sérios gargalos no que tange à universalização dos serviços de coleta e tratamento de esgoto. O panorama setorial aponta que cerca de 53,5% dos domicílios brasileiros dispõem de acesso à coleta de esgoto. O cenário adquire contornos ainda mais alarmantes quando avaliado o índice de tratamento: apenas cerca de 49% de todo o esgoto gerado no país recebe o devido processamento biológico ou químico antes de ser restituído à natureza.

Em termos absolutos, esse déficit estrutural implica que aproximadamente 90 milhões de brasileiros não contam com serviços integrados de coleta e tratamento de efluentes. Sob a perspectiva do impacto ambiental diário, estima-se que o volume de esgoto bruto e sem qualquer tipo de mitigação lançado diretamente nos corpos d'água superficiais e subterrâneos seja superior ao equivalente a 5.200 piscinas olímpicas. É precisamente no interior dessa malha de infraestrutura deficitária que os efluentes hospitalares são inseridos.

Quando uma instituição de saúde adota a prática convencional de descartar fluidos corpóreos puros diretamente na rede pública através dos expurgos, esses poluentes críticos passam a trafegar por um sistema que, estatisticamente, falha em tratar metade de seu volume total. Como consequência direta, patógenos e compostos químicos de alta periculosidade contornam os sistemas de tratamento municipais ou são despejados "crus" nos mananciais receptores, comprometendo a segurança hídrica das populações situadas a jusante desses pontos de lançamento.

1.2 O IMPACTO DOS FLUIDOS DE ASPIRAÇÃO E A DINÂMICA DO EXPURGO HOSPITALAR

No cotidiano das unidades hospitalares, os setores de alta complexidade, tais como Blocos Cirúrgicos, Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e Centros de Pronto Atendimento, geram volumes substanciais de fluidos biológicos provenientes de procedimentos de aspiração clínica. Sangue, secreções respiratórias, vômitos, fluidos gástricos e cavitários são rotineiramente acumulados em sistemas de frascos de sucção para posterior descarte. Tradicionalmente, a destinação final desses resíduos líquidos ocorre no expurgo hospitalar, ambiente onde o operador realiza a abertura dos frascos e o consequente despejo do conteúdo diretamente na rede de drenagem hídrica da instituição.

Esta prática, amplamente disseminada na hotelaria e no setor de *facilities* hospitalares, carrega consigo riscos ocupacionais e sanitários relevantes, muitas vezes pouco percebidos. O ato físico de verter fluidos viscosos e biológicos em uma tubulação aberta promove o fenômeno da aerolização instantânea. Gotículas e bioaerossóis microscópicos contaminados entram em suspensão no ar ambiente do expurgo, criando uma via imediata de transmissão aérea de patógenos para os profissionais de higiene e apoio operacional. Esse é um dos pontos da cadeia assistencial mais expostos a riscos de contaminação cruzada.

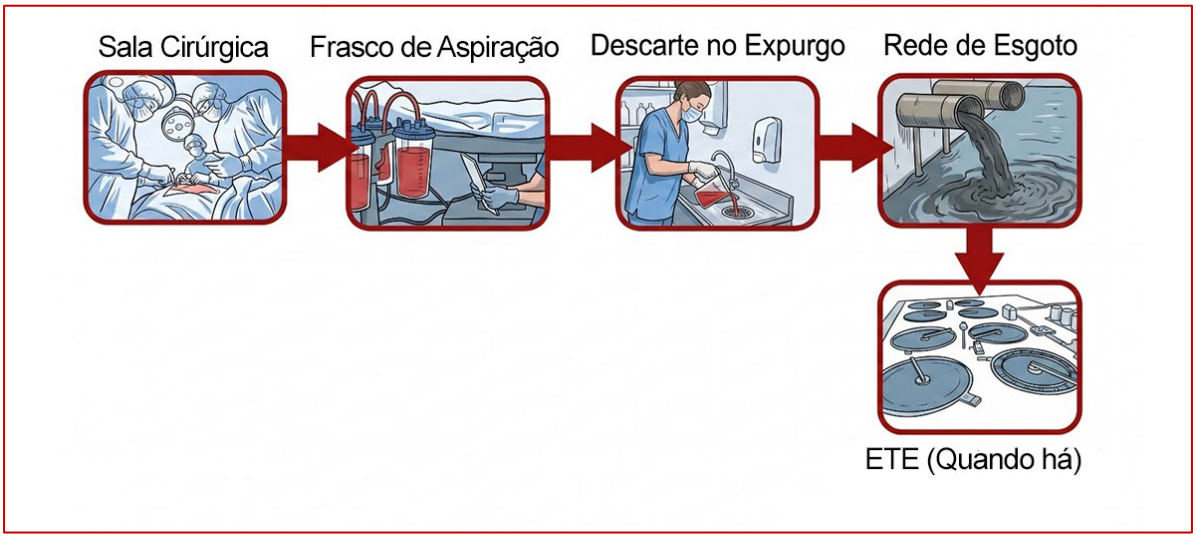


Imagem 1: Fluxograma da Geração Fluídos Corpóreos no Centro Cirúrgico até o Tratamento.

1.3 RISCOS MICROBIOLÓGICOS: O HOSPITAL COMO INCUBADORA DE SUPERBACTÉRIAS NA REDE URBANA

A gravidade do descarte hídrico de secreções hospitalares em redes de esgoto ganha relevo científico crítico ao se analisar o perfil microbiológico dessas matrizes. Diferentemente do esgoto doméstico convencional, o efluente gerado em Estabelecimentos de Assistência à Saúde carrega microrganismos que já sofreram severa pressão seletiva decorrente do uso intensivo de antimicrobianos no ambiente clínico. A literatura científica nacional de referência confirma que o esgoto hospitalar bruto atua como um vetor primário de disseminação de determinantes de resistência a antibióticos na infraestrutura urbana.

Estudos fundamentais conduzidos pelo Laboratório de Pesquisa em Infecção Hospitalar da Fundação Oswaldo Cruz (FIOCRUZ) identificaram uma prevalência elevada de bactérias Gram-negativas multirresistentes, especificamente cepas de *Klebsiella pneumoniae* produtoras de carbapenemase (KPC-2), em amostras de esgoto bruto hospitalar coletadas antes do ingresso na rede pública. Essas bactérias apresentam resistência consolidada a antibióticos de última linha da classe dos carbapenêmicos (como imipenem e meropenem), os quais representam as principais defesas da medicina moderna contra infecções sistêmicas graves.

A introdução contínua de fluidos de aspiração ricos em tais patógenos no sistema de esgotamento sanitário estabelece um ambiente de alta densidade celular e estresse químico que favorece a Transferência Horizontal de Genes (HGT). Através de mecanismos de conjugação bacteriana, plasmídeos contendo genes de resistência (como o gene *blaKPC-2*) são transferidos de bactérias estritamente hospitalares para microrganismos saprófitas e comumente presentes no esgoto urbano.

Somado a isso, pesquisas conduzidas no Instituto de Ciências Básicas da Saúde da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) reiteram a ocorrência persistente de resíduos químicos de antimicrobianos (como fluoroquinolonas, beta-lactâmicos e sulfonamidas) e de genes de resistência antimicrobiana (ARGs) em corpos d'água superficiais no Brasil. A pesquisa indica que as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) urbanas convencionais, baseadas majoritariamente em processos biológicos secundários, como lodos ativados ou filtros biológicos, não foram projetadas e não possuem capacidade técnica para remover ou degradar resíduos químicos diluídos e material genético bacteriano de resistência.

O risco é exacerbado pela biologia de patógenos oportunistas como a *Pseudomonas aeruginosa*. Pesquisas interdisciplinares publicadas pela Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC) enfatizam a notável capacidade desta espécie bacteriana de colonizar superfícies úmidas e formar biofilmes altamente estruturados em matrizes poliméricas extracelulares. Quando as secreções e o sangue provenientes de frascos de aspiração contendo *Pseudomonas aeruginosa* são lançados continuamente no expurgo, o microrganismo adere às paredes internas das tubulações prediais e dos coletores públicos de esgoto. O biofilme ali estabelecido atua como um reservatório persistente, protegendo os patógenos da ação de agentes desinfetantes e de flutuações hidráulicas e

favorecendo o desprendimento e a dispersão contínua de microrganismos multirresistentes ao longo de toda a malha de saneamento urbano.

1.4 A MUDANÇA DE PARADIGMA: CONTROLE NA GERAÇÃO VIA IMOBILIZAÇÃO FÍSICA E SOLIDIFICAÇÃO

Diante da ineficiência das plantas de tratamento urbanas em mitigar a carga genética de superbactérias e a toxicidade química dos efluentes de EAS, recomenda-se uma mudança estrutural no modelo de gerenciamento de fluidos corpóreos. A abordagem reativa tradicional de "coletar, diluir e tratar no fim da linha" (*end-of-pipe*) mostra-se ambientalmente insustentável e sanitariamente perigosa para as redes de esgotamento das cidades.

Uma alternativa alinhada aos preceitos de Produção Mais Limpa (P+L) e ecoeficiência, já aplicada ao gerenciamento de resíduos hospitalares (XAVIER, 2023), baseia-se no conceito de **Controle na Geração**. Este princípio preconiza que a mitigação do impacto poluidor deve ocorrer de forma imediata no ponto exato de geração do resíduo, impedindo que o contaminante ingresse na fase líquida e se disperse pelo ecossistema hídrico do município. No contexto dos fluidos de aspiração hospitalar, o controle na geração viabiliza-se por meio da aplicação da tecnologia da solidificação deste tipo de fluidos.

Esta metodologia fundamenta-se na ação de solidificadores e encapsuladores que possuem a capacidade de absorver e reter volumes de fluidos aquosos centenas de vezes superiores à sua própria massa seca. Ao entrar em contato com os fluidos biológicos no interior do próprio sistema de aspiração, de preferência por meio de mecanismos que operem em circuito fechado, como cápsulas hidrossolúveis que liberam o insumo sem a necessidade de abertura do frasco, ocorre um processo de transição de fase física. O efluente líquido é instantaneamente convertido em uma massa solidificada tridimensional estável e insolúvel.

Sob o ponto de vista estritamente regulatório e sanitário, esta transmutação de estado físico altera fundamentalmente o enquadramento do resíduo, em estrita consonância com as diretrizes estabelecidas pela Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 222/2018 da ANVISA, que regulamenta as boas práticas de gerenciamento de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS). Ao converter o fluido biológico em uma matriz sólida estável, inibe-se por completo o descarte hídrico no expurgo. O resíduo, antes classificado como um efluente líquido complexo indesejável para as redes de saneamento, passa a ser gerenciado de forma segura como resíduo sólido classificado no Grupo A (infectante) ou Grupo B (químico, a depender dos componentes associados), sendo direcionado diretamente para as rotas regulamentadas de tratamento térmico (autoclavagem, micro-ondas ou incineração), seguindo de descaracterização e posterior disposição final segura em aterros sanitários licenciados já inerte.

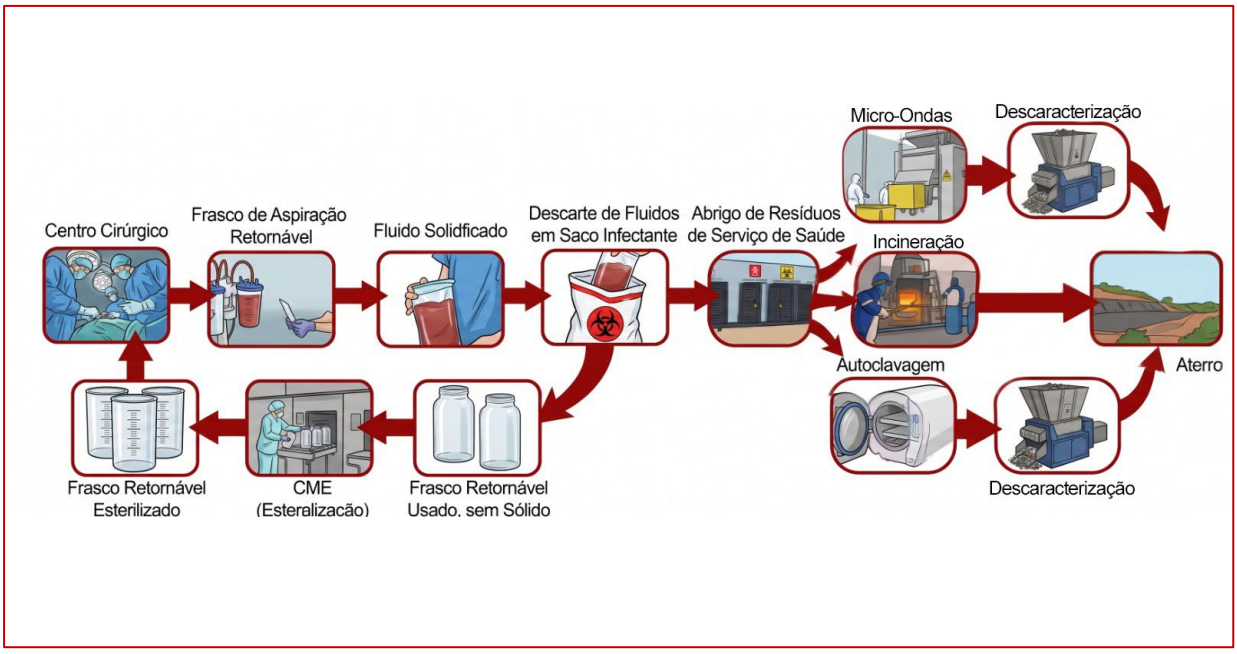


Imagem2: Fluxograma da Geração de Fluídos Corpóreos no Centro Cirúrgico, com a solidificação e consequente tratamento, descaracterização e disposição final em Aterros.

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

Frente a este cenário, o presente trabalho tem como objetivo geral avaliar a eficácia técnica, os impactos hídrico-ambientais e os benefícios sanitários decorrentes da substituição do método de descarte hídrico convencional de fluidos de aspiração no expurgo hospitalar pela metodologia de imobilização física e solidificação na geração.

Como objetivos específicos, o estudo busca:

- Quantificar, por meio de uma análise cruzada de ciclo de vida e balanço de massa, o volume de efluentes biológicos e químicos que deixam de ser aportados na rede de saneamento urbano a partir da aplicação da tecnologia de solidificação em uma unidade hospitalar.

- Discutir, com base nas evidências microbiológicas e epidemiológicas apresentadas na literatura nacional, o papel da imobilização física na geração como uma barreira sanitária ativa para a proteção das redes coletoras contra a proliferação de biofilmes de *Pseudomonas aeruginosa* e a disseminação de microrganismos produtores de carbapenemase (KPC-2).

Através desta abordagem, o estudo pretende fornecer subsídios técnicos e científicos que demonstrem como a engenharia sanitária aplicada ao ambiente intra-hospitalar pode promover a resiliência da infraestrutura hídrica urbana, alinhando a operação dos estabelecimentos de saúde às metas contemporâneas de sustentabilidade ambiental, governança e equidade laboral.

3. METODOLOGIA

A formulação das diretrizes e análises apresentadas neste documento baseia-se em uma abordagem multidisciplinar, estruturada em três eixos principais: análise regulatória integrada, validação físico-química laboratorial e avaliação do fluxo operacional intra-hospitalar.

3.1 REVISÃO REGULATÓRIA E NORMATIVA

O embasamento técnico-legal foi estruturado através do cruzamento das exigências sanitárias, ambientais e de segurança do trabalho vigentes no Brasil. A premissa operacional baseia-se estritamente nas diretrizes da RDC nº 222/2018 (ANVISA), que regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde (RSS), da Resolução CONAMA nº 358/2005, que dispõe sobre o tratamento e a disposição final ambientalmente adequada dos RSS, estabelecendo critérios para minimizar impactos ao meio ambiente e à saúde pública, e na Norma Regulamentadora nº 32 (NR-32), que estabelece os parâmetros compulsórios para a mitigação de riscos biológicos aos trabalhadores da saúde.

3.2 VALIDAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA

A avaliação do desempenho da solidificação e imobilização física em meios líquidos apoia-se em protocolos padronizados de estabilização por solidificação (E/S) descritos na literatura técnica (BRITO, 2007; CAVALCANTE, 2021). As análises físico-químicas dos solidificadores adotaram como referência os princípios das Boas Práticas de Laboratório (BPL), fundamentados nas diretrizes internacionais da OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development — Principles of Good Laboratory Practice).

3.3 ENGENHARIA DE PROCESSOS E AVALIAÇÃO DE RISCO OPERACIONAL

A validação prática contemplou o mapeamento dos pontos críticos de geração, transporte e descarte de fluidos biológicos no ambiente clínico, abrangendo Centros Cirúrgicos, Unidades de Terapia Intensiva (UTIs) e Centrais de Material e Esterilização (CME). A avaliação de risco focou primariamente na eficácia da supressão física da aerossolização durante a manipulação no expurgo e na neutralização dos riscos de derramamento na instituição,

além do deslocamento até o tratamento final, estabelecendo o comparativo técnico entre o estado fluido e o encapsulado.

4. ANÁLISE DO CAMINHO DO FLUÍDO CORPÓREO

4.1 MAPEAMENTO DO FLUXO OPERACIONAL E A ALTA PRODUTIVIDADE CIRÚRGICA

O entendimento do impacto dos resíduos hídricos de saúde sobre as redes de saneamento urbano exige o rastreamento do ciclo de vida intra-hospitalar dos fluidos biológicos. O circuito convencional de manejo de fluidos corpóreos gerados em procedimentos cirúrgicos e de terapia intensiva obedece a um fluxo em sua totalidade manual e hidráulico.

Durante os procedimentos de alta complexidade, os fluidos (compostos por sangue total, plasma, secreções purulentas, líquidos cavitários e soluções de irrigação química) são extraídos do campo operatório por sistemas de vácuo e acumulados em frascos de sucção mecânica (MA HOSPITALAR, 2023). A dinâmica dos centros cirúrgicos modernos opera sob regimes de altíssima produtividade e rotatividade de leitos. Relatos setoriais publicados pelos *Seminários Folha* (2015) demonstram que, em cenários de alta demanda e otimização de recursos, cirurgiões chegam a realizar até 15 procedimentos operatórios em uma única jornada diária.

Quando essa escala individual é expandida para a estrutura de um bloco cirúrgico central de um hospital de grande porte, composto por múltiplas salas operatórias integradas, o volume de procedimentos aumenta expressivamente. Mutirões de saúde pública e contratualizações assistenciais de grande escala, como os mapeados pela Secretaria de Saúde (DF SAÚDE, 2023), ilustram a concentração de cirurgias em curtos intervalos cronológicos dentro de redes hospitalares de média e alta complexidade.

Uma vez finalizado cada procedimento, os frascos cheios são transportados até a sala de expurgo/pia. Neste ambiente, o operador realiza a abertura manual do sistema e verte o conteúdo líquido diretamente no vaso de expurgo/pia sanitário, interligado à rede coletora municipal. Este ponto da cadeia operacional constitui o elo de maior vulnerabilidade do sistema, caracterizando-se pela aerolização instantânea de patógenos no ar do expurgo/pia e pelo descarte de uma carga orgânica densa na rede pública (ANVISA, 2018).

4.2 MODELAGEM QUANTITATIVA: A ESCALA DE UMA UNIDADE HOSPITALAR INDIVIDUAL

Para dimensionar o volume real de esgoto crítico lançado nas redes urbanas, estabeleceu-se um modelo de balanço de massa fundamentado na literatura epidemiológica e em dados de engenharia clínica. A literatura sobre manejo de fluidos em procedimentos cirúrgicos (AGUILAR-NASCIMENTO et al., 2007; WANG; CAO; ZHAO, 2018) reporta volumes de fluido infundido/manejado da ordem de 2 a 5 litros por procedimento, a depender da especialidade. Como essas referências tratam de volume infundido ou manejado, e não diretamente do volume aspirado e retido no frasco de sucção, na ausência de série consolidada de volume aspirado adotou-se, como estimativa de engenharia, a média de 3,5 litros por cirurgia. Para avaliar a sensibilidade do modelo a essa premissa, consideram-se três cenários: conservador (2,0 L), médio (3,5 L) e alto (5,0 L) por cirurgia.

Ajustando o perfil amostral para a realidade prática de um hospital geral de grande porte e alta complexidade, dotado de um centro cirúrgico ativo que realize uma média de 80 procedimentos cirúrgicos diários, o balanço de geração hídrica individual desenha-se sob a seguinte equação. Ressalta-se que esse valor de 80 cirurgias/dia é um cenário ilustrativo de um hospital de grande porte (bem acima da média nacional, da ordem de 6 cirurgias/dia por hospital) e, portanto, não deve ser multiplicado pelo total de hospitais; o cálculo nacional (Equação 3) baseia-se no total de cirurgias do país, e não em 80 × número de hospitais:

Geração Diária Individual = 80 procedimentos X 3,5 Litros = 280 Litros/dia **(equação 1)**

Geração Anual Individual = 280 Litros/dia x 365 dias = 102.200 Litros/ano **(equação 2)**

Sob o modelo tradicional de descarte hídrico, este único estabelecimento de saúde verte anualmente nas tubulações municipais **102.200 litros (102,2 m³) de fluidos biológicos puros**. Trata-se de um volume massivo de material infectante concentrado em um único ponto de lançamento predial urbano.

Um exemplo prático é a região da Avenida Paulista, em São Paulo, que constitui um divisor de águas entre as bacias dos rios Tietê e Pinheiros e concentra grande número de hospitais de alta complexidade (como Sírio-Libanês, Santa Catarina, Beneficência Portuguesa e Oswaldo Cruz). Os efluentes gerados na vertente que drena para o rio Pinheiros somam-se à carga que, historicamente lançada in natura em seus afluentes, motivou o Programa Novo Rio Pinheiros (Sabesp, 2019), o qual passou a interceptar esses esgotos e encaminhá-los à Estação de Tratamento de Esgotos de Barueri.

4.3 O PANORAMA MACROECONÔMICO: A ESCALA DA MALHA HOSPITALAR NACIONAL

A real dimensão do problema sanitário emerge quando a análise deixa de focar na unidade isolada e projeta os dados sobre a totalidade da malha assistencial brasileira. Para estabelecer esse cenário macroeconômico, faz-se necessário cruzar o indicador unitário de geração hídrica com o universo total de instituições de saúde ativas no país.

De acordo com o banco de dados oficial do **Cadastro Nacional de Estabelecimentos de Saúde (CNES)**, processado em conjunto com os relatórios analíticos da **Federação Brasileira de Hospitais (Cenário dos Hospitais no Brasil 2024, FBH/CNSaúde), o território nacional conta com uma infraestrutura de 7.191 hospitais ativos (dado contextual, que não integra o cálculo da Equação 3)**. Essa rede engloba hospitais gerais, especializados, públicos, privados com fins lucrativos e filantrópicos de variados portes.

Quando essa malha total de estabelecimentos é acionada, o volume de procedimentos operatórios atinge magnitude nacional expressiva. Conforme o Ministério da Saúde, em 2025 o SUS realizou aproximadamente 14,7 milhões de cirurgias eletivas, o maior número já registrado, ante 13,66 milhões em 2024. Esse valor refere-se exclusivamente às cirurgias eletivas do SUS e não inclui as urgências/emergências nem o setor de saúde suplementar; o total nacional, somando esses componentes, seria substancialmente maior.

Considerando apenas as cirurgias eletivas do SUS em 2025 (um piso conservador, pois não inclui urgências nem o setor de saúde suplementar) e aplicando o balanço de massa (fator de 3,5 litros por procedimento) sobre o número de cirurgias (e não sobre o número de hospitais, que figura apenas como contexto da magnitude da rede), a escala estimada do descarte hídrico nacional é:

Geração Anual Estimada (piso) = 14.700.000 cirurgias X 3,5 Litros = 51.450.000 Litros/ano (equação 3)

A malha hospitalar brasileira gera e descarta anualmente nos expurgos/pias o montante cumulativo estimado de 51.450.000 de litros (51.450 m³) de efluentes biológic**os**.

Sob a ótica da engenharia sanitária, esse volume equivale à injeção contínua e concentrada de mais de 51 milhões de litros de sangue, secreções e microrganismos multirresistentes de origem hospitalar (FIOCRUZ, 2011) diretamente nas redes coletoras públicas das concessionárias de saneamento. Diante dos indicadores do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA 2024, ano-base 2023, Ministério das Cidades), que apontam que apenas cerca de 49% do esgoto gerado no país é efetivamente tratado, ou seja, cerca de metade contorna as Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) ou é lançada sem o processamento adequado, conclui-se que dezenas de milhões de litros desse efluente crítico hospitalar chegam "crus" e sem mitigação aos corpos receptores e mananciais brasileiros todos os anos, configurando um passivo ambiental relevante e pouco percebido.

5. A ENGENHARIA DA SOLIDIFICAÇÃO COMO BARREIRA SANITÁRIA

5.1 TRANSIÇÃO DE FASE FÍSICA E A DINÂMICA DA IMOBILIZAÇÃO

Para neutralizar o impacto ambiental descrito no balanço de massa hídrico da malha hospitalar, a intervenção tecnológica avaliada consistiu na aplicação do controle na geração por meio de solidificador de base polimérica e mineral. O ensaio baseou-se na introdução prévia do agente solidificador encapsulado no interior dos frascos de aspiração cirúrgica, de configuração retornável, antes do início do processo cirúrgico.

A classe de tecnologia avaliada baseia-se em agentes solidificadores à base de polímeros e cargas minerais, que podem ser dosados no interior do frasco de aspiração. O mecanismo de ação revela-se autônomo e imediato: ao entrar em contato progressivo com os fluidos corpóreos aspirados durante o ato operatório, o agente é liberado diretamente no meio aquoso. A partir deste ponto, inicia-se a transição de fase física, na qual o solidificador encapsula as moléculas de água, imobilizando os contaminantes biológicos tridimensionalmente com extrema resistência mecânica, sem líquidos livres.

Nos ensaios, a relação de dosagem observada foi da ordem de 20 g do agente solidificador por litro de fluido, sendo capaz de solidificar e estabilizar secreções e fluidos biológicos complexos. É fundamental ressaltar, sob a ótica da engenharia química, que essa transmutação reverte exclusivamente o estado físico do resíduo (de líquido para um gel sólido), sem induzir ou promover qualquer alteração na natureza química intrínseca dos líquidos encapsulados.

5.2 SUPRESSÃO DA AEROLIZAÇÃO E CONTROLE OCUPACIONAL NO BLOCO CIRÚRGICO

A imobilização dos fluidos na geração tem reflexos na segurança operacional das equipes assistenciais. Durante os procedimentos de alta complexidade, observou-se que a aglutinação dos fluidos contribuiu para o controle dos odores voláteis que habitualmente saturam o ar ambiente das salas cirúrgicas.

O benefício sanitário mais expressivo, contudo, é observado na logística de retaguarda. Ao garantir que o fluido corpóreo atinja uma consistência sólida com alta integridade mecânica antes mesmo da cirurgia ser finalizada, elimina-se a necessidade de o operador verter o material infectante no expurgo.

O resíduo biológico encontra-se fisicamente imobilizado, anulando as chances de derramamentos acidentais no trajeto interno, respingos oculares nos profissionais e, principalmente, bloqueando a geração de bioaerossóis contaminados no ambiente predial.

Um cenário crítico de risco ocupacional é quando pode ocorrer a queda ou ruptura acidental do frasco de aspiração durante o transporte ou o manuseio pelo colaborador. No estado líquido, esse evento provoca o espalhamento do material biológico pelo piso e a formação de respingos e aerossóis, expondo o profissional a contato direto com fluidos potencialmente infectantes e exigindo procedimentos de descontaminação da área. Com o conteúdo previamente solidificado, uma eventual queda não resulta em derramamento ou dispersão: o resíduo permanece contido como massa sólida, reduzindo a probabilidade de acidentes de trabalho e a gravidade de suas consequências.

5.3 REDIRECIONAMENTO DA ROTA DE DESCARTE E MITIGAÇÃO DO PASSIVO HÍDRICO-AMBIENTAL

Ao converter os 3,5 litros de efluente médio por cirurgia em um composto sólido estruturado, o hospital realiza uma ruptura no ciclo de poluição hídrica urbana. O fluido biológico que tradicionalmente alimentaria a estatística estimada de 51,45 milhões de litros anuais lançados na rede coletora brasileira é sumariamente retirado da matriz de esgoto.

Em total conformidade normativa com o artigo 49 da RDC 222/2018 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária, a solidificação permite que a rota de destinação do resíduo seja severamente alterada. Uma vez encapsulado no frasco, o resíduo perde sua fluidez e sua capacidade de infiltração. Consequentemente, todo o conteúdo do recipiente, agora caracterizado como resíduo infectante sólido, pode ser descartado diretamente em sacos plásticos infectantes para resíduos do Grupo A, seguindo a legislação vigente que a instituição adota.

Este redirecionamento metodológico garante que o passivo microbiológico (incluindo as cepas multirresistentes e patógenos como a *Pseudomonas aeruginosa*) não seja mais diluído na ineficiente malha de saneamento público. Em contrapartida, o resíduo estabilizado é conduzido integralmente para tratamentos térmicos rigorosos, recomendados pela ANVISA, (autoclavagem, micro-ondas ou incineração), submetendo o resíduo a tratamento térmico antes da disposição final em aterros sanitários. Através desta transição físico-química, as unidades de saúde deixam de atuar como incubadoras passivas de resistência antimicrobiana nas tubulações municipais, convertendo-se em atores ativos na preservação da segurança hídrica e da resiliência das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE).

6. ENQUADRAMENTO REGULATÓRIO E TRANSIÇÃO DA MATRIZ DE DESCARTE (RDC ANVISA Nº 222/2018)

6.1 A BASE NORMATIVA COMO INDUTORA DE BIOSSEGURANÇA

A mitigação do risco biológico associado ao efluente hospitalar exige estrita aderência aos marcos regulatórios nacionais, sendo a Resolução da Diretoria Colegiada (RDC) nº 222, de 28 de março de 2018, da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), o principal instrumento de padronização do manejo de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS). Historicamente, o descarte de volumes líquidos aspirados em procedimentos cirúrgicos representava um gargalo crítico nas instituições, esbarrando na proibição de lançamento de fluidos contendo carga biológica e secreções diretamente na rede coletora de esgoto sem tratamento prévio, conforme as diretrizes de proteção aos recursos hídricos.

6.2 ASPECTOS REGULATÓRIOS DO MANEJO DE RESÍDUOS DO GRUPO A E A ROTA DE IMOBILIZAÇÃO NA GERAÇÃO (ART. 49 DA RDC 222/2018)

O Artigo 49 da Resolução da Diretoria Colegiada RDC nº 222/2018 estabelece com clareza que os recipientes e materiais resultantes do processo de assistência à saúde que contenham sangue ou líquidos corpóreos na forma livre devem ser submetidos a tratamento antes de sua disposição final ambientalmente adequada. Embora o § 1º faculte o descarte direto de sobras de amostras laboratoriais no sistema de esgotos, desde que haja o tratamento anterior em ETE, seguindo as diretrizes dos órgãos ambientais e das concessionárias de saneamento locais, a gestão de grandes volumes hídricos gerados em unidades críticas, como os efluentes de sistemas de aspiração de blocos cirúrgicos e Unidades de Terapia Intensiva (UTI), impõe desafios complexos à infraestrutura urbana.

Caso o gerador opte pela terceirização do tratamento fora da unidade assistencial, o § 2º determina critérios rigorosos de acondicionamento em sacos vermelhos e transporte em recipientes rígidos, impermeáveis e resistentes a puncturas e vazamentos. É precisamente nesse gargalo logístico que a rota tecnológica da solidificação atua como medida de segurança e controle de engenharia na geração.

Ao promover a transição do estado físico do efluente biológico de líquido livre para uma matriz sólida de alta resistência mecânica, o processo realiza o encapsulamento físico do contaminante sem alterar sua natureza química. Essa imobilização imediata elimina a fluidez do resíduo dentro dos frascos coletores descartáveis ou retornáveis, anulando o risco de derramamentos acidentais durante as etapas de manejo interno, armazenamento temporário e transporte definitivo, mitigando de forma robusta o risco de acidentes por exposição ocupacional a patógenos de relevância epidemiológica.

6.3 O PRECEDENTE DO GRUPO B COMO MODELO DE GESTÃO DE RISCOS PARA FLUIDOS CORPÓREOS (GRUPO A)

A consolidação da rota tecnológica de solidificação no ambiente assistencial encontra seu exemplo mais maduro nas diretrizes regulatórias aplicadas aos resíduos químicos do Grupo B. Conforme preconizam os Artigos 57 e 58 da RDC 222/2018 da ANVISA, existe uma proibição expressa quanto ao encaminhamento de resíduos na forma líquida para disposição final em aterros, validando formalmente a solidificação como metodologia de tratamento e imobilização física do contaminante. Esse cenário transformou a gestão de rejeitos químicos em uma operação seca, controlada e de baixo custo logístico.

O sucesso dessa abordagem regulatória serve como o modelo ideal de engenharia reversa de riscos para o manejo de fluidos corpóreos (Grupo A), como as secreções e sangues gerados em abundância em Centros Cirúrgicos, Unidades de Terapia Intensiva (UTI) e setores de drenagem.
Embora a legislação ofereça caminhos distintos para o Grupo A, o princípio de segurança deve ser o mesmo: a eliminação da fase líquida livre na geração. Transportar ou manipular frascos de aspiração repletos de efluentes biológicos no estado líquido representa um gargalo crítico para a hotelaria hospitalar e para a segurança

ocupacional, expondo a equipe a riscos severos de derramamentos, borbulhas e contaminação por patógenos de alta virulência.

Ao espelhar o rigor e a eficiência que os Artigos 57 e 58 impuseram aos resíduos químicos, as instituições de saúde que adotam a solidificação para o Grupo A elevam o seu padrão de hotelaria e CME. A transformação do líquido livre em uma massa sólida e estável deixa de ser uma exclusividade dos laboratórios químicos e constitui uma estratégia de controle de engenharia aplicável aos fluidos do Grupo A.

7. ANÁLISE DE IMPACTO: A SOLIDIFICAÇÃO COMO BARREIRA SANITÁRIA NA GERAÇÃO

7.1 RACIONAL TÉCNICO DA MITIGAÇÃO DE CARGA ORGÂNICA

A disposição convencional de fluidos corporais aspirados, ricos em hemoglobina, proteínas, lipídios e patógenos multirresistentes, no sistema de esgoto predial e público representa um vetor crítico de contaminação e sobrecarga de Estações de Tratamento de Esgoto (ETE). O método de imobilização por solidificador na geração propõe uma mudança de paradigma: a transição física do resíduo de estado líquido para uma matriz sólida, impedindo a injeção de carga orgânica concentrada na rede coletora.

7.2 METODOLOGIA DE CÁLCULO DE RETENÇÃO

A eficácia da medida profilática é mensurada pela capacidade volumétrica de contenção. O modelo de cálculo baseia-se na relação entre a unidade de solidificador aplicada e o volume e massa de fluido retido, em linha com os protocolos de balanço de massa adotados na avaliação de processos de estabilização por solidificação (BRITO, 2007; CAVALCANTE, 2021), conforme as seguintes expressões:

Volume total de fluido imobilizado no ano (litros) = Litros de Fluídos gerados em um Hospital por ano= 102.200 Litros/ano (equação 4)

Massa específica adotada (densidade do sangue): 1,05 kg/L (adotada como aproximação superior (simplificação conservadora), uma vez que o resíduo é mistura de sangue, secreções e soluções de irrigação, cuja densidade é próxima de 1,0 kg/L) (equação 5)

Peso total de fluidos gerados em um Hospital no ano = 102.200 L/ano X 1,05 kg/L = 107.310 Kg/ano (equação 6)

Peso adicional em gramas do solidificador = 0,020 kg/L (equação 7)

Peso adicional em gramas do solidificador por ano = 102.200 L/ano X 0,020 kg = 2.044 kg/ano (equação 8)

Peso total de resíduo solidificado por ano (Peso do Fluído Gerado + Peso do Solidificador) = 107.310 kg + 2.044 kg = 109.354 kg/ano (equação 9)

Percentual de massa do solidificador em relação ao resíduo total = Peso adicional do solidificado / Peso total de resíduo solidificado por ano = 2.044 kg / 109.354 = 1,87 % (equação 10)

Esta métrica permite quantificar o volume exato que deixa de ser processado pela infraestrutura hidráulica da instituição, convertendo-o em resíduo sólido para tratamento térmico.

Ao mesmo tempo que indica o percentual de massa que o solidificador adiciona ao volume gerado, representando apenas 1,87% do total de resíduo gerado.

7.3 MATRIZ DE IMPACTO E PROTEÇÃO AMBIENTAL

A comparação entre as rotas de destinação evidencia a eficiência da tecnologia na proteção do sistema de saneamento:

Tabela 1 – Comparativo entre a Rota Convencional de Descarte e a Rota de Descarte com a Solidificação

Critério Técnico	Rota Convencional (Efluente Líquido)	Rota de Imobilização (Resíduo Sólido)
Descarte do Resíduo	Rede coletora de esgoto	Tratamento térmico (Incinerador/Autoclave/Micro-Ondas)
Destino Final	Estação de ETE	Descaracterizado e Inerte em Aterro Sanitário
Carga Orgânica na Rede	100% de aporte direto	0% (Imobilização total na Geração)
Integridade da Tubulação	Risco de incrustação e obstrução	Proteção da integridade do sistema
Estabilidade Física	Alta mobilidade em meio aquoso	Sólido estruturado (alta resistência mecânica)

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS: A CONVERGÊNCIA ENTRE BIOSSEGURANÇA E SUSTENTABILIDADE SANITÁRIA

A transição para o modelo de solidificação de fluidos biológicos na geração representa o estágio mais avançado de maturidade na gestão de Resíduos de Serviços de Saúde (RSS) e entra em acordo com as obrigações governamentais ditadas pelo CONAMA e pela ANVISA. A análise dos dados operacionais e de saneamento evidencia que a adoção desta tecnologia transcende a mera inclusão de um insumo, configurando-se como uma intervenção crítica de engenharia de processos e gestão de risco.

8.1 PROTEÇÃO AMBIENTAL E INTEGRIDADE DA INFRAESTRUTURA HÍDRICA

Sob a ótica ambiental e regulatória, a manutenção do descarte de efluentes fluidos corpóreos nas redes coletoras impõe sobrecargas orgânicas (altos índices de DQO e DBO) incompatíveis com a capacidade da maioria das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) municipais, estaduais ou privadas. ETE convencionais não possuem barreiras tecnológicas para inativar a carga microbiológica hospitalar, facilitando a dispersão de patógenos no meio ambiente. Ao promover a conversão física do resíduo de líquido para sólido no momento e local de sua geração, a solidificação elimina a etapa de despejo na rede. Esta prática protege os mananciais hídricos e garante a estrita conformidade da instituição com a transição de risco exigida pelo artigo 49 da RDC 222/2018 (ANVISA) e Resolução CONAMA nº 358/2005.

8.2 CONTROLE EPIDEMIOLÓGICO E CONTENÇÃO DE BACTÉRIAS MULTIRRESISTENTES

O cenário contemporâneo de controle de infecções exige atenção rigorosa à disseminação de microrganismos multirresistentes (como KPC, MRSA e *Acinetobacter baumannii*). O manejo e o descarte de fluidos biológicos no estado líquido configuram-se como vetores críticos para a dispersão desses patógenos, primariamente pela geração de aerossóis e respingos durante o esvaziamento de frascos. A solidificação na geração atua sobre essa vulnerabilidade. Ao converter a fase líquida em sólida, o agente imobiliza o contaminante fisicamente por meio do encapsulamento. Esse encapsulamento inibe a aerossolização e suprime a dispersão de patógenos em superfícies e no ar ambiente, estabelecendo uma barreira mecânica robusta na cadeia de transmissão de Infecções Relacionadas à Assistência à Saúde (IRAS).

8.3 SEGURANÇA OCUPACIONAL E OTIMIZAÇÃO DO FLUXO DE EXPURGO

No âmbito da gestão hospitalar, a solidificação atua como um indutor direto de segurança ocupacional, em total alinhamento com as diretrizes da Norma Regulamentadora 32 (NR-32). A solidificação altera o fluxo de manejo do resíduo, eliminando a etapa de vertimento. A transformação do conteúdo fluido em uma massa sólida neutraliza o risco de derramamentos durante o transporte pelos corredores e, crucialmente, elimina a aerossolização de partículas infectantes e o risco de respingos durante o descarte no expurgo. O colaborador destina a massa solidificada em sacos infectantes, conforme a RDC 222/2018 (ANVISA), aos processos de tratamentos térmicos, como Incineração, Autoclavagem, ou Micro-ondas, e posteriormente o resíduo tratado e

descaracterizado é destinado ao aterro. Assim, essa abordagem reduz o risco de exposição ocupacional associado ao manejo de fluidos biológicos.

8.4 O FUTURO DA GESTÃO DE RSS

Conclui-se que a solidificação de fluidos corporais constitui uma alternativa técnica relevante para a gestão de fluidos corpóreos em estabelecimentos assistenciais de saúde (EAS). Ao adotar esta prática, o estabelecimento pode reduzir sua contribuição para a sobrecarga do sistema de esgoto, com potenciais reflexos em sustentabilidade (ESG), segurança do trabalho e governança clínica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGÊNCIA BRASIL (EBC). SUS teve recorde com 14,7 milhões de cirurgias eletivas em 2025. Brasília, 7 fev. 2026. Disponível em: https://agenciabrasil.ebc.com.br/saude/noticia/2026-02/sus-teve-recorde-com-147-milhoes-de-cirurgias-eletivas-em-2025. Acesso em: 08 jun. 2026.

2. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). Atlas Brasil: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA, 2010.

3. AGUILAR-NASCIMENTO, J.E.; BICUDO-SALOMÃO, A.; CAPOROSSI, C.; SILVA, R.M.; CARDOSO, E.A.; SANTOS, T.P. Volume de fluído intravenoso e alta hospitalar precoce em colecistectomia aberta. Revista do Colégio Brasileiro de Cirurgiões, v. 34, n. 6, p. 381-384, nov./dez. 2007.

4. BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 222, de 28 de março de 2018. Regulamenta as Boas Práticas de Gerenciamento dos Resíduos de Serviços de Saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 29 mar. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/anvisa/pt-br/assuntos/regulamentacao/legislacao. Acesso em: 01 jun. 2026.

5. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 358, de 29 de abril de 2005. Dispõe sobre o tratamento e a disposição final dos resíduos dos serviços de saúde e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 04 maio 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=462. Acesso em: 01 jun. 2026.

6. BRASIL. Ministério das Cidades. Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA) 2024: ano-base 2023. Brasília, 2024. Disponível em: https://www.aguaesaneamento.org.br/news/novo-sistema-de-informacoes-federal-registra-aumento-de-investimentos-em-agua-e-saneamento/. Acesso em: 08 jun. 2026.

7. BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 32 (NR-32). Segurança e Saúde no Trabalho em Serviços de Saúde. Brasília, DF. Disponível em: https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp/normas-regulamentadoras/nr-32. Acesso em: 01 jun. 2026.

8. BRITO, A.L.F. Protocolo de avaliação de materiais resultantes da estabilização por solidificação de resíduos. Florianópolis, 2007. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, 2007.

9. CAVALCANTE, L.E. Tratamento de resíduos sólidos de laboratório utilizando a técnica de estabilização por solidificação. Campina Grande, 2021. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Campina Grande, 2021.

10. CHAGAS, T.P.G. Detecção de bactérias multirresistentes aos antimicrobianos em esgoto hospitalar no Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011. Dissertação (Mestrado em Medicina Tropical) – Instituto Oswaldo Cruz, Fundação Oswaldo Cruz, 2011.

11. COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP); GOVERNO DO ESTADO DE SÃO PAULO. Programa Novo Rio Pinheiros. São Paulo, 2019. Disponível em: https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/2021/01/programa-novo-rio-pinheiros-conecta-mais-de-120-mil-imoveis-a-rede-de-esgoto/. Acesso em: 08 jun. 2026.

12. CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (CNSaúde); FEDERAÇÃO BRASILEIRA DE HOSPITAIS (FBH). Cenário dos Hospitais no Brasil 2024. Brasília, 2024. Disponível em: https://indd.adobe.com/view/0c287444-2a5f-45ea-a6c8-15afc18362ec. Acesso em: 08 jun. 2026.

13. DALLANORA, F.J.; DALLANORA, L.M.F.; DALLANORA, A.F.; BOHNEBERGER, G.; D'AGOSTINI, F.M.; CARVALHO, D.; REMOR, A.P. Pseudomonas aeruginosa multirresistente em isolados de efluente hospitalar e doméstico na rede coletora pública. Revista Interdisciplinar de Estudos em Saúde, Caçador, v. 1, n. 1, p. 46-55, 2017.

14. FOLHA DE S.PAULO. Vida de médico: cirurgião faz até 15 operações por dia e fica sem almoço. São Paulo, 15 maio 2015. Disponível em: https://m.folha.uol.com.br/seminariosfolha/2015/05/1628493-vida-de-medico-cirurgiao-faz-ate-15-operacoes-por-dia-e-fica-sem-almoco.shtml. Acesso em: 01 jun. 2026.

15. MA HOSPITALAR. Como funciona o aspirador cirúrgico e qual o melhor modelo? Disponível em: https://mahospitalar.com.br/como-funciona-aspirador-cirurgico/. Acesso em: 01 jun. 2026.

16. PAZ, N.T.C. Ocorrência de antimicrobianos e genes de resistência antimicrobiana em corpos de água no Brasil. Porto Alegre, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Microbiologia Clínica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2023.

17. SECRETARIA DE ESTADO DE SAÚDE DO DISTRITO FEDERAL. Em 120 dias, hospitais privados fazem mais de 2,3 mil cirurgias do SUS. Brasília, 2023. Disponível em: https://saude.df.gov.br/w/em-120-dias-hospitais-privados-fazem-mais-de-2-3-mil-cirurgias-do-sus. Acesso em: 01 jun. 2026.

18. WANG, G.; CAO, W.G.; ZHAO, T.L. Fluid management in extensive liposuction: a retrospective review of 83 consecutive patients. Medicine, v. 97, n. 41, 2018. Disponível em: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6203531/. Acesso em: 01 jun. 2026.

19. XAVIER, R.P. Aplicação da ferramenta de Produção mais Limpa no gerenciamento de resíduos de um hospital público de Porto Alegre-RS. Porto Alegre, 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul (PUCRS), 2023.