

**A RELEVÂNCIA DO  
ESGOTAMENTO SANITÁRIO  
DESCENTRALIZADO  
E SISTEMAS BASEADOS NO  
MANEJO DO LODO FECAL**

**CAMINHOS PARA O SANEAMENTO  
INCLUSIVO NO BRASIL**

### VERSÃO BETA

Esta publicação traz conceitos e estudos que colaboram para a atuação do Instituto Água e Saneamento com saneamento inclusivo. Trata-se de um documento com fluxo de desenvolvimento contínuo, com a previsão de aprimoramento a partir de experiências com novos projetos, análises e discussões. Esta constitui uma versão inicial do documento, que deverá ser complementada e revisada periodicamente.

## A RELEVÂNCIA DO ESGOTAMENTO SANITÁRIO DESCENTRALIZADO E SISTEMAS BASEADOS NO MANEJO DO LODO FECAL

## CAMINHOS PARA O SANEAMENTO INCLUSIVO NO BRASIL

TOMAZ GREGORI KIPNIS  
PAULO BERNARDO NEVES E CASTRO

## 1. APRESENTAÇÃO

6

## 2. GESTÃO DO ESGOTO SANITÁRIO: OBJETIVOS FINAIS, ETAPAS BÁSICAS E MODELOS

12

2.1. Os objetivos finais dos sistemas de esgoto e a escada de evolução

13

2.2. As etapas básicas da cadeia de manejo de esgoto sanitário

16

2.3. As diferentes formas de efetivar o manejo de esgoto sanitário

19

2.4. Um breve retrato sobre o manejo do lodo feca dos sistemas descentralizados

24

## 3. A RELEVÂNCIA DOS DIFERENTES MODELOS DE ATENDIMENTO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

28

3.1. Questões técnicas sobre as limitações dos sistemas centralizados para atendimento de comunidades isoladas, e o potencial dos sistemas descentralizados para a universalização

29

3.2. Um panorama dos custos de sistemas centralizados e descentralizados para diferentes condições de densidade

34

## 4. SISTEMAS DESCENTRALIZADOS NO BRASIL. RELEVÂNCIA E PERSPECTIVAS

44

4.1. A relevância dos sistemas descentralizados no panorama atual do saneamento brasileiro

46

4.2. Algumas análises sobre o nível de preparo no Brasil para a gestão adequada dos sistemas descentralizados de esgoto e do manejo do lodo fecal

51

## 5. CASOS DE APLICAÇÃO. AMPLIANDO O HORIZONTE DE FORMAS DE ATENDIMENTO

60

5.1. Casos de políticas públicas e medidas de planejamento

61

5.2. Modelos para prestação de serviço

65

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

74

REFERÊNCIAS

78

GRÁFICOS, FIGURAS E TABELAS

88

LISTA DE SIGLAS

90

1.

## APRESENTAÇÃO

Os elevados déficits de atendimento de esgoto sanitário pelo Brasil estão intimamente relacionados a como se aborda a questão e como se resolve o problema. Os sistemas convencionais centralizados de esgoto não se mostram tecnicamente viáveis em todos os contextos de ocupação no país e, em muitos casos, envolvem custos e infraestruturas pouco compatíveis com as condições locais. Ao mesmo tempo, existe um amplo e diversificado repertório de soluções para cumprir o propósito do manejo de esgotos, que pode, de forma complementar aos sistemas centralizados, tornar mais viável o atendimento em determinados contextos. Este é o caso dos sistemas descentralizados e baseados no manejo de lodo fecal, que envolvem formas de implementação e operação bastante adaptáveis às condições locais, e com complexidade e custos potencialmente mais baixos do que soluções convencionais. No entanto, historicamente pouco foi desenvolvido e aprimorado em termos de prestação de serviço e regulação para saneamento descentralizado no Brasil, havendo um entendimento predominante de que o saneamento adequado depende de redes de coleta e grandes estações de tratamento (Mejía et al., 2016; Figueiredo et al., 2019; Melo, 2019).

Neste sentido, na busca de se atingir as metas de universalização do sanea-

mento básico em prazos coerentes com a urgência da questão, torna-se essencial fundamental, desenvolver e consolidar novas formas de se implementar e operar o saneamento. Essa é a motivação central para a elaboração deste artigo: (i) trazer conceitos, abordagens e possibilidades para o saneamento inclusivo; e (ii) apresentar uma análise crítica com relação à relevância e potencial dos sistemas descentralizados e baseados no manejo do lodo fecal para a universalização do tratamento do esgoto doméstico no Brasil. A perspectiva aqui elaborada é de que a polarização sistemática do foco para o manejo do esgoto doméstico por um arranjo estritamente associado a sistemas centralizados acaba por contribuir para os insuficientes índices de cobertura pelo país. Pela mesma perspectiva, ter um repertório diversificado de soluções e técnicas, de forma complementar aos sistemas centralizados, pode potencializar o atendimento de populações frequentemente desassistidas.

Saneamento básico adequado é primordial para a dignidade humana, para a preservação ambiental e para a construção de uma sociedade sustentável. Sob esta ótica, a universalização dos serviços de abastecimento de água potável e de esgotamento sanitário foram incluídas nos objetivos da agenda da Organização das Nações Unidas (ONU) para o desenvolvimento sustentável (ONU, 2015). O

contexto brasileiro, conforme retratado pelo Plano Nacional de Saneamento Básico (PlanSab) lançado para consulta pública em 2019, apresenta atrasos substanciais em relação a estes objetivos. Ainda que com relação ao abastecimento de água adequado a situação também seja crítica, o déficit referente aos serviços de esgotamento é significativamente maior, com apenas 48% dos domicílios com acesso a coleta e tratamento de esgoto ou soluções individuais apropriadas de tratamento (Brasil, 2019a).

Analisando a situação de atendimento por esgotamento sanitário pelo país, pode-se observar três principais pontos deficitários: o atendimento a pequenos municípios, o atendimento a localidades com população dispersa (como zonas periurbanas e/ou rurais) e o atendimento a assentamentos e ocupações urbanas precárias e/ou não planejados. Com base nos dados levantados pelo AtlasEsgotos publicado em 2017 pela Agência Nacional das Águas (ANA), em 2013, 34% dos municípios Brasileiros não possuíam qualquer rede de coleta, sendo que mais de 90% destes casos são localidades com menos de 20.000 habitantes em suas sedes urbanas. Localidades periurbanas de centros em rápido processo de expansão também apresentam falhas na cobertura por sistemas de esgotamento sanitário, uma vez que o ritmo de avanço das redes de coleta convencionais mui-

tas vezes não acompanham o da ocupação (Yang et al., 2010). Zonas rurais, com menores densidades de ocupação, propiciam menores capacidade de arrecadação por extensão de infraestrutura para coleta e tratamento de esgoto, tornando inviável, em muitos casos, a sustentabilidade financeira dos serviços. E em áreas de ocupação irregular, muitas vezes não possibilitam as intervenções necessárias à implementação de tais redes, devido a limitações da infraestrutura local e configuração das ocupações e sistema viário (Pacheco et al., 2015; Kansime, 2015; Tiffany, Narayanan, e Cheng, 2018).

Ainda que estes contextos de ocupação sejam diversos entre si, com diferenças socioculturais, econômicas e ambientais, eles representam localidades para os quais os modelos convencionais de esgotamento são menos adaptados e viáveis. Se referindo aos diferentes contextos recorrentemente não acessados pelos serviços públicos de esgotamento sanitário, a Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de São Paulo (ABES-SP) definiu o termo “comunidades isoladas”. Este conceito se aplica aos contextos rurais, assentamentos urbanos precários, áreas periurbanas, podendo inclusive se referir a áreas urbanas regulares que, por algum motivo, possuem restrições para o atendimento centralizado. Os fatores que trazem limitações para o atendimento conven-

cional podem ser de natureza técnica, financeira ou política, e estão comumente relacionados a: distância de núcleos urbanos; baixa densidade de ocupação e/ou populacional; condições precárias de infraestrutura local e condições fundiárias irregulares (Tonetti et al., 2018).

A natureza da problemática relacionada à dificuldade em atender essas localidades aponta majoritariamente para os elevados custos e complexidade de implementação dos sistemas convencionais, em grande parte referente à instalação da rede de coleta e transporte dos esgotos. Estes sistemas comumente dependem de extensas redes de via hidráulica que conduzem por gravidade os esgotos até uma estação de tratamento, normalmente no exutório (ou em pontos mais a jusante) da bacia atendida. Estes sistemas com frequência envolvem elevados custos de implementação devido às atividades de escavação, grande quantidade de conduítes e a necessidade de se instalar estações elevatórias de esgoto. Como consequência, para viabilidade ou sustentabilidade financeira do serviço, comumente o atendimento de esgoto por este meio é condicionado à um faturamento mínimo arrecadado por extensão da estrutura implementada. Mais especificamente, à quantidade de domicílios conectadas à rede e pagando pelos serviços de coleta e tratamento (Odey

et al., 2017; Strande et al., 2018).

Conforme levantado por Guimarães (2015), a marcante heterogeneidade nas formas de uso e ocupação do solo no Brasil, em conjunto com a intensa e rápida concentração populacional nos centros urbanos, demandam soluções ágeis para a universalização do saneamento e adequadas à realidade local. Em resposta à criticidade dessa situação de desatendimento, muito comum nos países em desenvolvimento e subdesenvolvidos, diferentes abordagens e soluções vêm sendo desenvolvidas. Internacionalmente, uma grande variedade de conceitos, abordagens e soluções, vêm sendo propostos, trazendo formas de atendimento de esgoto adaptáveis aos diversos contextos de ocupação. A variedade de soluções e sistemas que fazem parte deste repertório é de grande relevância para se prover soluções mais adequadas e sensíveis às peculiaridades locais. Estas abordagens, ou conjuntos de soluções (destoantes da abordagem limitada aos sistemas centralizado convencionais), são expressas por diferentes terminologias, com variadas aplicações pelo mundo e no Brasil. Diante da variedade de termos existentes, as principais denominações utilizadas neste estudo são saneamento descentralizado (e semicentralizado), manejo de lodos fecais e saneamento inclusivo, sendo que cada uma tem es-

copos e abrangências específicas.

O termo “saneamento inclusivo” é utilizado aqui no intuito referir aos diferentes sistemas descentralizados e semicentralizados que permitem, por sua maior adaptabilidade aos contextos locais, atendimento aos contextos sem tratamento adequado de esgoto. Além das aplicações deste termo internacionalmente (em inglês), já há algumas aplicações no Brasil, como por exemplo nos estudos de Guimarães (2015) para modelos que atendam à população em situação vulnerável e no Programa Saneamento Sustentável e Inclusivo da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp). O termo “manejo de lodos fecais” se refere às ações e soluções para lidar com os materiais sépticos retidos nas soluções individuais de esgoto. Por fim, no âmbito do termo “saneamento descentralizado” ou “semicentralizado” entende-se soluções estruturais distribuídas próximas aos diferentes pontos de geração de esgoto, envolvendo nenhuma ou simplificadas redes de coleta de esgoto. Importante ressaltar que o termo “descentralizado” pode se referir à diferentes aspectos na prestação de serviços de esgoto, sejam eles relacionados ao formato de gestão, aspectos institucionais e estruturais. Aqui será abordado o aspecto relacionado à configuração dos sistemas, não implicando necessariamente na descen-

tralização das responsabilidades nos modelos de governança para a gestão pública e prestação de serviço.

Países asiáticos e africanos têm contornado a situação pela implementação de sistemas descentralizados, baseados no manejo do lodo fecal (Berendes, Sumner e Brown, 2017; Simiyu, 2017; Anastasopoulou et al., 2018; Mallory, Crapper e Holm, 2019). Mesmo em países desenvolvidos como o Japão, que possui 45% de seu atendimento por meios descentralizados, esta abordagem é de grande relevância (Gaulke, 2006; Yang et al., 2010). Tais sistemas encaram a gestão do lodo para além de um fator complementar ou temporário aos sistemas convencionais, mas como um modelo capaz de ampliar a cobertura por esgotamento sanitário adequado. Esta forma de atendimento não apenas cumpre a premissa de isolar higienicamente as fezes humanas do contato com humanos (UNICEF e WHO, 2019), mas também propicia oportunidade de recuperação de recursos do esgoto por meio de processos acessíveis. Tal visão sobre esta forma de atendimento, sendo considerada uma forma tão legítima de esgotamento sanitário quanto os sistemas centralizados, ainda é pouco elaborada no Brasil, com poucos desenvolvimentos práticos e regulatórios, a despeito da grande dependência existente por soluções individuais de esgoto

pelo país. Sem a devida atenção, grande parte dos sistemas individuais existentes são implementados e operados de forma inadequada, gerando relevantes impactos ao ambiente e saúde pública.

O uso de soluções locais mostra-se, em muitos destes cenários, uma forma de contornar a defecação e/ou o escoamento de esgoto a céu aberto. Tais soluções podem alcançar níveis adequados de proteção à saúde e de manutenção da qualidade ambiental, desde que bem planejados, estruturados e sujeitos à gestão adequada - sendo a gestão o parâmetro mais deficitário no caso brasileiro. No Brasil, soluções individuais de esgoto são utilizados por 30,5% dos domicílios. Grande parte destes casos, no entanto, contam com estruturas inadequadas de contenção, que não propiciam tratamento satisfatório dos efluentes antes do lançamento (Brasil 2019). Para além de soluções individuais impróprias, a falta de sistemas eficientes e acessíveis de manejo do lodo fecal faz com que grande parte da carga poluidora gerada chegue ao ambiente sem tratamento adequado. Dados do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (ProSab), de 2009, estimam a geração diária de 80 mil metros cúbicos de lodo úmido, proveniente de soluções individuais de esgoto pelo país, demonstrando a relevância de se prever sistemas apropriados para evitar a contaminação

ambiental e exposição de pessoas ao material fecal. Da parcela que passa por tratamento, a maioria é encaminhada para Estações de Tratamento de Esgotos convencionais (ETEs), conforme disposto na resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 375/2006, acarretando variadas disfunções operacionais, uma vez que muitas dessas estações não foram projetadas para comportar a carga adicional (Andreoli, 2009; Monayna, Vasconcelos e Carvalho, 2016; Chernicharo et al., 2018). Sendo assim, tratar de forma adequada o lodo faz-se uma condição indispensável do quadro de saneamento no Brasil, seja pelo volume quanto pela natureza dos lodos e das ETEs instaladas no país.

Levando em conta o contexto descrito, este trabalho tem como objetivo fundamentar a importância e validade desses outros modelos (descentralizados e baseados no manejo do lodo fecal) para os tão necessários avanços em relação aos serviços de esgoto no Brasil. Os conteúdos resultantes deste trabalho poderão servir para que gestores municipais, sociedade civil organizada e profissionais da área que atuam na prestação de serviço de esgoto, compreendam a relevância desses modelos e sua viabilidade para locais ainda sem atendimento adequado (pequenos municípios, áreas rurais, periurbanas e urbanas precárias).

# GESTÃO DO ESGOTO SANITÁRIO

## 2.

OBJETIVOS FINAIS,  
ETAPAS BÁSICAS E  
MODELOS

Para abordar as diferentes formas de atendimento do esgotamento sanitário é importante esclarecer o propósito e os objetivos com relação ao manejo dos efluentes, quais as etapas essenciais para efetivação desse propósito e ressaltar que há uma grande diversidade de configurações e modelos para cumprir estas etapas. Conforme ressaltado na apresentação deste trabalho, a falta de compreensão ou sensibilidade com relação a esses fundamentos pode ser um fator significativo para o avanço insuficiente que tem sido observado frente a universalização do saneamento no Brasil. Este capítulo aborda estes aspectos fundamentais a fim de embasar as análises e discussões com relação à importância de se considerar diferentes formas de atendimento de esgoto para lidar com as diversidades brasileiras.

### 2.1 OS OBJETIVOS FINAIS DOS SISTEMAS DE ESGOTO E A ESCADA DE EVOLUÇÃO

O propósito dos sistemas de esgotamento sanitário pode ser dinâmico, intimamente conectado com o nível de desenvolvimento das localidades. Em essência estes sistemas devem evitar o contato de contaminantes com a população e o meio ambiente, podendo também serem vistos como fontes de recursos naturais (água, nutrientes e energia). Os poluentes presentes no

esgoto podem causar efeitos em diferentes níveis de intensidade, seja via contato direto dos efluentes com humanos ou indiretamente por meio da poluição de corpos hídricos. Enquanto em alguns contextos o foco deve ser apenas no afastamento imediato das fezes geradas com humanos, em outros a preocupação se estende para a remoção de determinados poluentes do esgoto antes de lançá-los no meio ambiente e, em outros ainda, no uso dos componentes removidos do esgoto para processos produtivos.

Conforme definido pela UNICEF e WHO (2019), o propósito básico dos sistemas de esgotamento sanitário é o afastamento higiênico entre humanos e suas fezes. Essa premissa básica se direciona principalmente aos cenários mais precários de ocupação. À medida que se superam estes estágios mais vulneráveis, outros propósitos ganham destaque, buscando-se evitar também problemas menos imediatos, como os diferentes poluentes no esgoto e seus níveis de contato com pessoas e o meio ambiente. Nesse sentido, tanto os poluentes abordados quanto os respectivos padrões de qualidade são determinantes para o que constitui “manejo adequado” dos efluentes, de forma que as disposições legais variam expressivamente de acordo com o tempo e com o local.

Para a realidade brasileira, observando a evolução das regulamentações de lançamento de efluentes, dentre eles os esgotos domésticos, nota-se que somente se estabeleceu um limite para o lançamento de material orgânico na última resolução (Resolução CONAMA nº430 de 2011). Em contrapartida, para além das diretivas nacionais, muitos dos entes federativos (16 dos 27) apresentam normas próprias e mais restritivas do que as nacionais (Morais e Santos, 2019).

Analisando as normas e diretrizes definidas em outros países, nota-se que grande parte das nações desenvolvidas possuem definições mais exigentes do que as encontradas no Brasil, se estendendo de forma generalizada para mais parâmetros, como nitrogênio total e fósforo, e com menores concentrações limites. O que é comum a todos os contextos, é que o objetivo apontado pelas normas não é a posse ou não de um sistema específico, mas sim impedir o contato de determinados poluentes, em determinadas concentrações, com a população e o meio ambiente. E assim, em essência, possuir atendimento não significa necessariamente ter acesso à rede de coleta e estação centralizada de tratamento, mas sim qualquer alternativa adequada que evite a poluição ambiental e riscos à saúde pública.

Outro ponto relevante demonstrado por estes aspectos é que o propósi-

to central dos sistemas de esgoto não é algo estático, mas sim gradual e evolutivo, conforme as condições locais. A própria composição dos esgotos está intimamente relacionada às características socioeconômicas e culturais da população que os geram, alterando-se conforme mudanças globais nos hábitos dos indivíduos. De forma ampla, conforme uma sociedade aumenta seu poder aquisitivo pode-se esperar um esgoto mais rico em matéria orgânica e nutrientes; ao passo que em situações mais precárias é comum, por exemplo, maiores quantidades de sólidos grosseiros, devido ao uso indevido do sistema de esgotamento sanitário para a disposição de resíduos sólidos (Von-Sperling, 2014). O consumo de água de abastecimento também é um fator determinante para a caracterização do esgoto, uma vez que pelo porte da comunidade diferentes coeficientes de consumo *per capita* são observados.

A gradualidade observada associa-se tanto ao histórico local de entendimento sobre como manejar os efluentes domésticos, quanto à forma com que se vem implementando e aprimorando o saneamento pelo mundo. Tal evolução é também inerente aos processos que se relacionam à universalização dos serviços públicos de saneamento básico (Guimarães, Malheiros e Marques, 2016). Esses diferentes níveis de desenvolvimento são alcançados ao



Figura 1: Escada do saneamento, adaptado de WHO/UNICEF - 2008

longo do tempo pelas localidades, sendo amplamente presente também no retrato de desigualdades pelo mundo. Enquanto algumas localidades ainda lidam com questões relacionadas à defecação a céu aberto, outras estudam como tornar suas estações de tratamento mais eficientes, capazes de recuperar recursos a partir do esgoto, como fertilizantes e celulose (Ashley, Cordell e Mavinic, 2011; Ruiken et al., 2013; Solon et al., 2019). Essa evolução pode ser expressa pela escada do saneamento (acrônimo na língua inglesa "Sanitation ladder") (WHO e UNICEF, 2008; Exley et al., 2015). Adaptando os conceitos apresentados, acrescentando inclusive o próximo passo já vivenciado em países desenvolvidos, tem-se as etapas apresentadas na Figura 1.

Nota-se que o nível de tratamento varia drasticamente conforme se avança nos degraus dessa escada. Os déficits de atendimento no Brasil fazem com que se foque principalmente no degraus iniciais, onde as preocupações centrais são: (i) o combate aos prejuízos à saúde causados pelo não afastamento dos esgotos da população; e (ii) a redução da carga orgânica lançada nos corpos hídricos, que é um dos principais constituintes do esgoto doméstico (ANA 2019, 2017). Porém, à medida que essas etapas iniciais são amplamente servidas à população, há uma tendência ao aprimoramento contínuo dos sistemas, que passam então a refinar seu tratamento para atender níveis mais restritos de lançamentos, como a atenção aos níveis de nutrientes, especialmente nitrogênio e fósforo, à re-

moção de organismos patogênicos, e até mesmo à recuperação de materiais desses efluentes (Shannon et al., 2008).

**2.2. AS ETAPAS BÁSICAS DA CADEIA DE MANEJO DE ESGOTO SANITÁRIO**

Pensando a questão do saneamento pela perspectiva do alcance de um objetivo, para além da forma como este objetivo será cumprido, quais seriam então as etapas necessárias para garantir tal propósito? Sendo o objetivo básico dos sistemas de esgotamento sanitário evitar o contato entre os poluentes do esgoto, população e meio ambiente (podendo se estender também à recuperação de recursos a partir dos efluentes domésticos), identificam-se as cinco etapas elementares do manejo de esgotos apresentadas na Figura 2: ponto de geração; coleta e/ou tratamento local; transporte; tratamento semicentralizado; recuperação de recursos ou disposição final (WHO e UNICEF, 2008; Brasil, 2010; Bassan et al., 2014; Exley et al., 2015). Esta estratificação e escopo é congruente em sua maior parte com o entendimento da legislação brasileira, através de seu marco regulatório, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007).

Pautando-se nas etapas descritas anteriormente, há uma variedade de sistemas aptos a cumpri-las adequa-

damente, seja por meio de grandes estruturas que recebem o esgoto de uma cidade inteira, seja por meio de sistemas de menor porte para sub-bacias de esgotamento ou até mesmo sistemas unifamiliares. Essa diversidade se aplica tanto à escala e configuração geral do sistema quanto às diferentes soluções disponíveis para cada etapa básica indicada (Bassan et al., 2014). Tais etapas podem ser cumpridas por uma diversidade de composições, as quais devem ser selecionadas mediante as condições locais observadas.

Em centros urbanos adensados e condições regulares de ocupação, por exemplo, pode fazer mais sentido encaminhar os efluentes meio de redes de coleta e tratamento afastado do ponto de geração, sendo, como exemplo: a etapa de contenção realizada pela conexão de esgoto do domicílio na rede de coleta, a etapa de transporte por meia da rede de coleta e o tratamento em ETEs centralizadas ou semi-centralizadas. Em contrapartida, o atendimento de aglomerados menos adensada pode ser mais viável com etapas de tratamento no local, contando apenas com o transporte do lodo retido por meio de veículos até uma estação de tratamento, sendo, como exemplo: a etapa contenção realizada por meio de uma solução individual de esgoto (assim como uma fossa séptica), a etapa

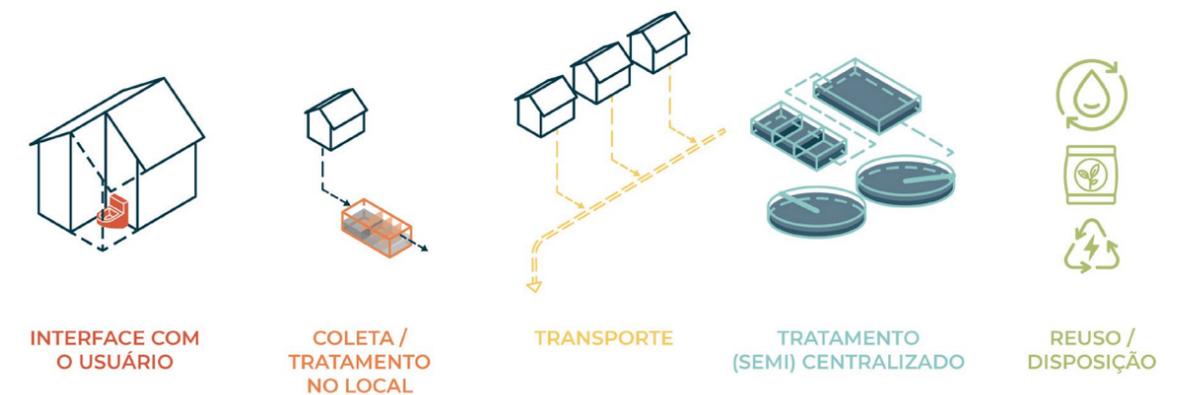


Figura 2: Etapas básicas dos sistemas de esgoto

CONTENÇÃO	COLETA	TRANSPORTE	TRATAMENTO	REUSO/DISP
Tem a função de receber os efluentes dos pontos de geração, evitando o contato dos mesmos com a população e ambiente local. Esta etapa pode ser efetivada por meio da conexão segura do esgoto com os sistemas de transporte (no caso de sistemas centralizados ou semi-centralizados), ou constituir por si só uma parte do tratamento dos efluentes (sistemas descentralizados).	Etapa específica aos sistemas descentralizados, referente à atividade e/ou sistema de remoção do lodo fecal dos sistemas de contenção. Pode ser efetivada por meio de diferentes mecanismos, como bombeamento (semi-mecanizado ou mecanizado), coleta direta (com pás e baldes); ou diferença hidrostática no sistema de contenção. Em sistemas centralizados o efluente passa diretamente para etapa de transporte.	Etapa em que o esgoto ou lodo fecal contido é encaminhado de forma segura ao tratamento. Esta etapa pode ser propiciada por meio de redes de coleta (convencionais, condominiais ou livres de sólido) ou por meios de veículos com recipientes próprio para o material (caminhões, trator, motocicletas, carretas etc.)	Etapa responsável pelo processamento do esgoto ou do LF a fim de diminuir seu potencial de prejudicar o meio ambiente e a saúde humana. Deve garantir atendimento às exigências locais para disposição final ou reuso dos subprodutos. O tratamento deve atentar às frações líquidas, sólidas e gasosas envolvidas no processo, e com frequência envolve linhas específicas de processamento.	Etapa em que o esgoto ou do LF, devidamente tratado, é retornado ao ambiente, por meio da disposição final segura, ou ao aproveitamento dos mesmos em processos produtivos ou de manutenção - como geração de energia, agricultura, limpeza, construção civil, entre outros.

de coleta e transporte por meio de um serviço de limpa fossa; e o tratamento em ETEs centralizadas ou semi-centralizadas. Para ilustrar as alternativas por etapa do processo, a Figura 2 traz alguns exemplos de soluções.

Com relação às variações para cada etapa dos sistemas, a diversidade se refere aos diferentes tipos de soluções e tecnologias para cumprir determinada função. Os pontos de geração constituem basicamente as instalações nos domicílios e estabelecimentos a partir dos quais a água consumida é convertido em efluente (banheiros, cozinhas, lavanderias, processos produtivos etc.). O fluxo gerado, também chamado de efluente, é então encaminhado para fora dos estabelecimentos por meio das instalações sanitárias prediais, chegando à etapa de contenção. Esta etapa é constituída tanto por soluções individuais de tratamento (como fossa séptica, biodigestor, vermifiltro, bacia de evapotranspiração, entre outros), no caso de sistemas descentralizados, como pela conexão da rede predial à rede pública de coleta, no caso dos sistemas centralizados e semicentralizados (Bassan et al. 2014; Blackett et al. 2014).

A etapa de coleta e transporte, aqui entendida como o encaminhamento adequado dos efluentes para tratamento, pode ser efetivada por meio diferentes sistemas, seja por redes convencio-

nais de coleta e transporte de esgoto, por redes não convencionais ou por meio de veículos mecânicos dedicados ao seu transporte (como é recorrente no caso de efluentes industriais) ou de lodo fecal (caso dos caminhões limpa fossa). A dimensão e configuração destes sistemas variam consideravelmente, de acordo com as condições locais e localização das estações de tratamento do sistema (Bassan et al. 2014; Tilley et al. 2014).

A etapa seguinte, tratamento, é responsável pelo processamento do esgoto ou lodo fecal transportados, até atingir níveis adequados para reuso ou disposição no ambiente de seus subprodutos. Esses processos comumente envolvem uma série de etapas, a fim de reduzir as concentrações de alguns constituintes do esgoto, por meio de rotas físicas, químicas e/ou biológicas. Como resultado, além do efluente tratado, é comum a sistemas de tratamento de esgoto outras duas linhas de subprodutos, uma sólida (recorrentemente denominada de biossólido, em processos biológicos de tratamento) e uma gasosa, composta principalmente por gás carbônico, metano entre outros. Esses materiais podem, em sistemas complementares de tratamento, serem processados de formas específicas para viabilizar seu aproveitamento ou reuso, ou, simplesmente, para encaminhamento a destinação fi-

nal (Bassan et al. 2014; Tilley et al. 2014).

A etapa final da cadeia de manejo do esgoto é referente ao encaminhamento desses efluentes à disposição final (descarte) ou reuso. Isso pode se dar tanto no local de geração dos efluentes, no caso de disposições descentralizadas, ou a partir de estações centralizadas de tratamento. A configuração dessa etapa depende de condições locais, e da demanda pelos recursos gerados, podendo ser realizada tanto por sistemas intensivos e onerosos como por processos de baixa complexidade e custo. Respeitando-se os padrões de qualidade para cada caso, a fração líquida pode ser lançada em corpos hídricos, infiltrada no solo, aplicada em produções agrícolas, reutilizada nas edificações, aproveitada em processos industriais, entre outros. Quanto à fração sólida, pode-se aplicar o material, devidamente tratado, como composto e condicionante de solo, como substrato para produção de proteína animal, entre outros; ou fazer sua disposição final em aterros sanitários. Para os gases, quando o tratamento produzir substâncias perigosas ou danosas ao meio ambiente em seus processos, como o metano gerado em processos anaeróbios, deve ser previsto sistema de tratamento adequado (von Sperling, 2014; Bassan et al. 2014; Tilley et al. 2014). A recuperação de recursos pode constituir um importante estímulo

para a replicação dos sistemas adequados de saneamento. Assim como apontado por Rao (2017), ainda que o saneamento seja comumente considerado um negócio social, as possibilidades de recuperação de recurso permitem enquadrar estes serviços como modelos de negócios produtivos, o que pode estimular a expansão dos índices de cobertura e geração de emprego e renda.

### 2.3 AS DIFERENTES FORMAS DE EFETIVAR O MANEJO DO ESGOTO SANITÁRIO

A configuração do sistema de atendimento de esgoto doméstico pode variar desde a descentralização plena, com as unidades locais cumprindo todas etapas de manejo (incluindo reuso/disposição final), até a total centralização do tratamento, em que a vazão de esgoto gerada em uma cidade ou região é direcionada por meio de redes de coleta e transporte até uma única ETE (Hophmayer Tokich, 2000; Massoud, Tarhini, e Nasr, 2009; Obermann e Sattler, 2013; Tonetti et al., 2018; Figueiredo et al., 2019).

As definições acerca do que constitui sistemas centralizados e descentralizados possuem diferentes entendimentos na literatura e na prática, bem como são reconhecidos sob diferentes denominações. Um aspecto consensual é que estes não são conceitos estáticos e que há uma enorme diversidade

de disposições entre a descentralização total e a centralização total. Tomando como base as diferentes definições e estratificação apresentados por Obermann e Sattler (2013), Bueno (2017) e Melo (2019), Figura 3, serão considerados aqui três escalas de sistemas:

**Descentralizado:** sistemas unifamiliares ou individuais (que atendem a um ou mais domicílios próximos, ou pequenos estabelecimentos, com capacidade máxima para 20 pessoas), sistemas semi coletivos (que atendem à conjuntos de domicílios, quadras, e pequenos agrupamentos de estabelecimentos) e aglomerado local (comunitários, escolas, hospitais, centros comunitários e pequenos condomínios);

**Semicentralizado:** aqueles de dimensões variadas (entre dezenas e milhares de pessoas atendidas) e que possuem um traçado pelo território diferente de um sistema central único de coleta e tratamento. Estão dentro desta categoria sistemas atendendo bairros, comunidades, pequenos distritos, vilarejos e condomínios.

**Centralizado:** compreendidos por sistemas com elevada taxa de conexão, atendendo a maiores contingentes populacionais, envolvendo redes de coleta e alta capacidade para operação

e manutenção. Nesta categoria são considerados os sistemas que atendem municípios inteiros, conjunto de bairros e distritos.

Cada uma destas disposições de esgotamento sanitário aborda as diferentes etapas do saneamento por uma ótica diferente, envolvendo diferentes configurações, estruturas, tecnologias e dinâmicas operacionais. Por isso, a concepção do sistema de esgoto sanitário deve sempre possuir uma etapa inicial de consideração das condições locais, como uso e ocupação do solo, topografia, custo e disponibilidade de materiais e mão de obra, de forma a garantir a solução de maior adequabilidade (Além Sobrinho e Tsutiya, 1999; Bassan et al., 2014; Eggimann, Truffer e Maurer 2016). Conforme hipotetizado na apresentação, a ausência desta etapa para definição de soluções adaptadas, ou um foco predominante em modelos centralizados de serviço, parece contribuir para a insuficiência dos índices de atendimento, principalmente em áreas urbanas precárias e/ou de baixa densidade populacional. No próximo capítulo, a aplicabilidade de sistemas descentralizados é discutida como estratégia de apoio e ampliação dos índices de atendimento adequada de esgoto sanitário.

Observar como cada um desses sistemas lida com as diferentes etapas

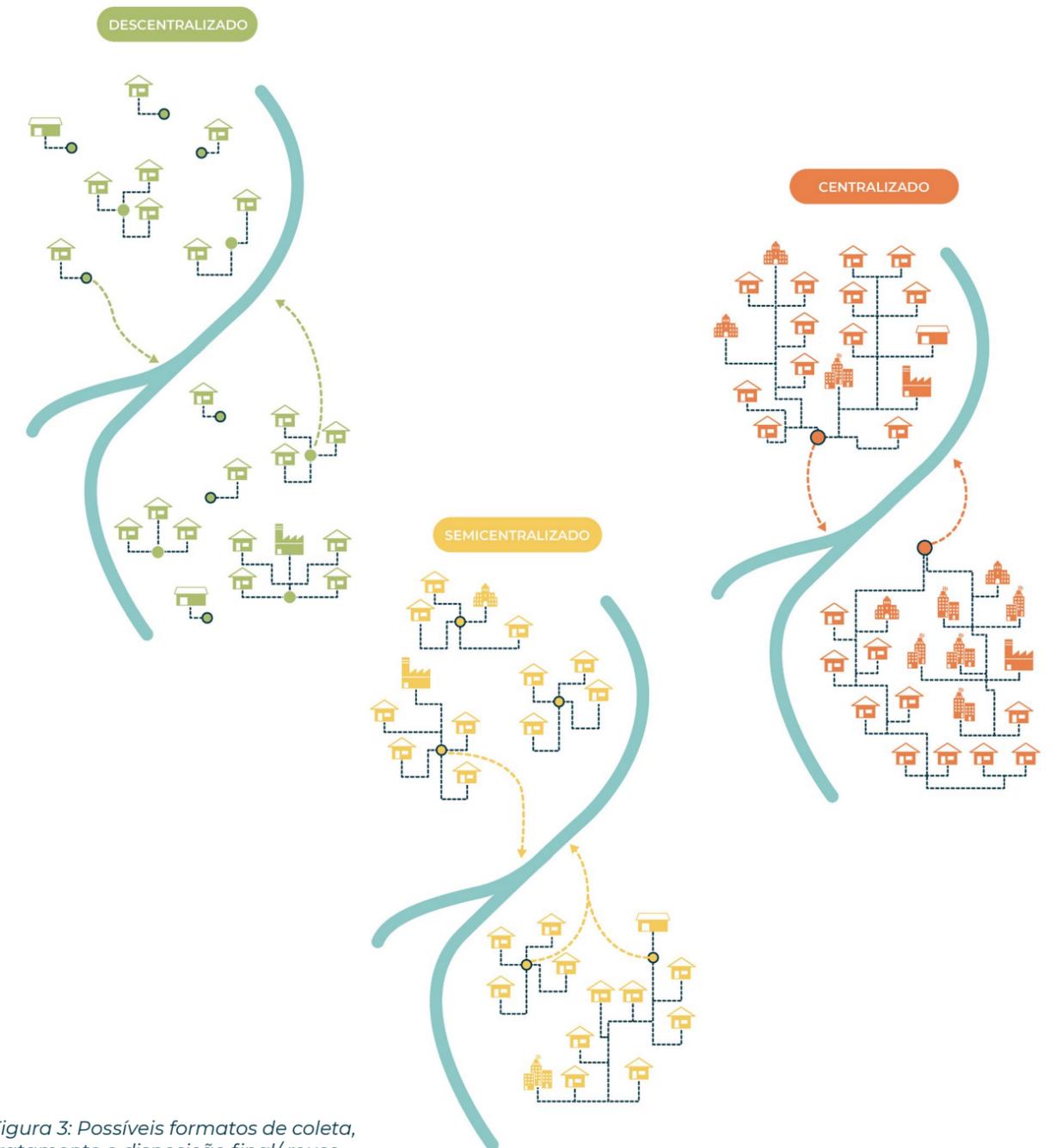


Figura 3: Possíveis formatos de coleta, tratamento e disposição final/reuso (Adaptado de Tonetti et al., 2018)

que compõem o esgotamento sanitário possibilita uma compreensão inicial da capacidade de adaptação do mesmo a um determinado contexto. Modelos de sistemas centralizados lidam com o ponto de geração através das ligações prediais de esgoto, e esta linha está diretamente ligada à rede coletora implantada em logradouros públicos. Dessa forma, o esgoto gerado nas residências é imediatamente encaminhado para o sistema de coleta. As etapas de coleta e transporte são interligadas, já que ambas as linhas constituem as redes convencionais de esgoto, usualmente denominadas 'redes de coleta e transporte' (Além Sobrinho e Tsutiya, 1999). O objetivo desta rede é conduzir e concentrar os esgotos da região atendida em um ponto central, normalmente próximo ao exutório da bacia hidrográfica atendida. Neste ponto, localiza-se a próxima etapa do sistema: a estação de tratamento do esgoto (ETE). Esta, na maioria dos casos, é caracterizada por seu grande porte, tendo em vista o maior número de conexões associadas à rede de coleta e transporte (Santos, 2018).

Sistemas centralizados são extremamente adequados e adaptados para lidar com grandes adensamentos populacionais que apresentem uma boa e planejada infraestrutura urbana, além de condições geomorfológicas propícias. Os principais elementos que irão

influenciar esse modelo de sistema estão relacionados à implementação da rede de coleta e transporte, uma vez que essa se torna muito onerosa quando se depara com condições adversas de: ocupação do solo (modelo e formato dos arruamentos); topografia do terreno (muito acidentado ou demasiado plano); baixa concentração de domicílios contribuintes da rede; entre outros (Além Sobrinho e Tsutiya, 1999; Yang et al., 2010; Eggimann, Truffer e Maurer, 2016).

Um estudo de Hophmayer-Tokich (2000) aponta que a viabilidade financeira de sistemas centralizados varia entre locais com diferentes níveis de desenvolvimento econômico local, uma vez que esses determinam o volume de recursos disponíveis para a implementação desses sistemas. Enquanto no Brasil a viabilidade se inicia em adensamentos populacionais a partir de 160 hab/ha, em países europeus a viabilidade já é apontada para ocupações muito menos densas, de 50 hab/ha.

Modelos semicentralizados de esgotamento sanitário apresentam as etapas de forma análoga aos centralizados, no entanto, podem ser mais flexíveis e adaptados às condições locais. Sua concepção envolve subdivisão estratégica de uma área de atendimento em diferentes blocos (sub-bacias, bairros, condomínios etc.) de forma a simplificar a rede de coleta e transporte. Em locais

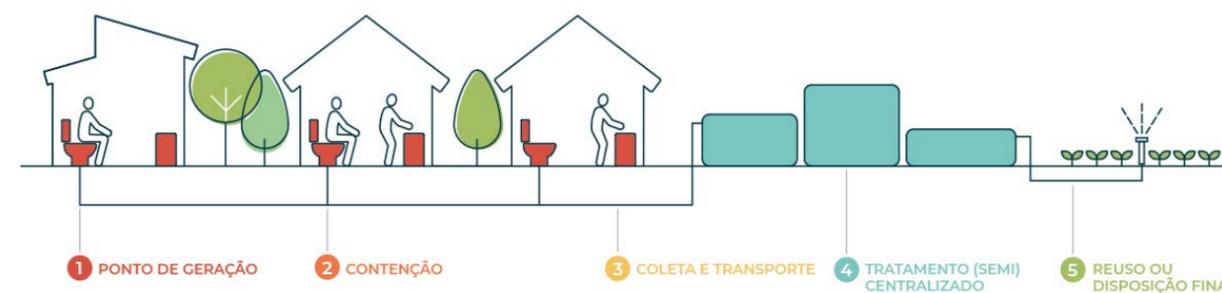


Figura 4: Possível arranjo das etapas em sistema centralizado

onde há um ou mais dos fatores adversos à implementação da rede de coleta convencionais, a exemplo de uma topografia que induza a uma maior quantidade de estações elevatórias, o modelo semicentralizado passa a ser bastante aplicável. Neste caso, as redes de coleta e transporte encaminham o esgoto para ETEs de menor porte, em comparação com sistemas centralizados, mas envolvem também uma distribuição mais difusa das estações pelo território. Esta maior quantidade de sistemas paralelos, também significa ter mais pontos de manutenção e controle, o que pode envolver maiores demandas durante a operação do sistema. Este aspecto torna essencial análises criteriosas na concepção dos sistemas. Um estudo de caso realizado em Alibag (Índia), consi-

derando-se diferentes cenários de concepção do sistema de esgotamento sanitário, mostrou que uma distribuição do sistema em cinco clusters de coleta e tratamento traria uma economia considerável em sua implementação (Tiffany, Narayanan e Cheng, 2018).

Os modelos descentralizados surgem como alternativa de grande relevância ao atendimento de ocupações onde a viabilidade técnica e/ou econômica para a implementação de rede de coleta e transporte é reduzida. Nestes casos, os efluentes gerados pelos pontos de geração demandam uma estrutura de contenção e tratamento no local. Estas estruturas podem ser constituídas por uma variedade de sistemas, que devem ser configurados de forma a propiciar níveis adequados de tratamen-

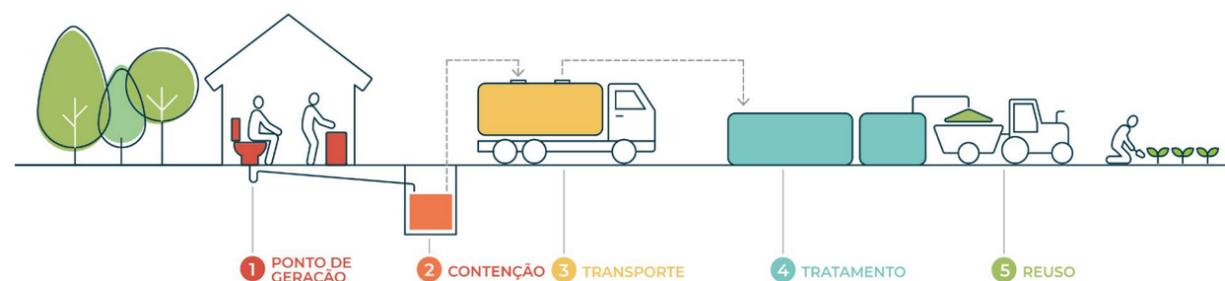


Figura 5: Possível arranjo das etapas em sistema descentralizado

to, a partir dos quais o líquido tratado pode ser descartado ou reutilizado no local. Em geral, estes sistemas, assim como outros processos de tratamento de esgoto, envolvem a retenção de uma fração sólida residual, comumente chamada de lodo fecal (reconhecida também como lodo de fossa). Este material tende a acumular nos sistemas de contenção ao longo do período de operação, o que requer a sua remoção periódica - em uma frequência proporcional à estrutura prevista e taxa de uso dos sistemas. O lodo coletado, então, precisa ser propriamente processado a fim de possibilitar seu descarte ou aproveitamento, que pode ser previsto no próprio local, ou direcionado para tratamento afastado em estações de tratamento adequadas.

#### 2.4. UM BREVE RETRATO SOBRE O MANEJO DE LODO FECAL DOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS

Dentre os resíduos sólidos dos sistemas de tratamento de esgoto sanitário, os lodos chamam a atenção, principalmente por constituírem grande volume. Nos sistemas centralizados este material é retido nas estações de tratamento de esgoto, onde geralmente há uma linha de processamento específica de lodo (estabilização, deságue e/ ou eventualmente secagem), antes do seu encaminhamento para reuso (em produções agrícolas, por exemplo) ou destinação final (considerando formas adequadas de disposição, como aterros sanitários). Já nos sistemas descentralizados, o lodo é acumulado nas soluções individuais, devendo ser

removido e manejado adequadamente no local ou em estações de tratamento adequadas (Andreoli, Sperling e Fernandes, 2007; Bassan et al., 2014).

No Brasil, no entanto, enquanto o manejo do lodo dos sistemas centralizados é comumente realizado ou controlado por prestadoras de serviço e regulamentados pelas agências competentes, o manejo do lodo dos sistemas descentralizados é amplamente negligenciado. Como ressaltado na publicação do ProSab “Lodo de fossa e tanque séptico: caracterização, tecnologias de tratamento, gerenciamento e destino final”, de 2009, a falta de gestão adequada do lodo proveniente de soluções individuais constitui uma grave questão ambiental, ainda não resolvida no Brasil (Andreoli, 2009).

Atualmente, grande parte do lodo retido nos sistemas individuais pelo Brasil não é manejada adequadamente, ou é deixada nas fossas (como é de hábito desativar fossas rudimentares cheias e cavar novos sistemas), ou é levado pelas águas nos períodos de cheia. A falta de disponibilidade e o elevado custo dos serviços de limpa fossa contribuem significativamente para esta situação, assim como a falta de conhecimento sobre o assunto, que tornam raros os casos em que o lodo é coletado e tratado adequadamente no local de geração pelos proprietários.

Quando o lodo é coletado e transportado por serviços de limpa fossa, com recorrência o material não chega às estações de tratamento ou aterros sanitários, sendo dispensados em terrenos baldios ou corpos hídricos. Sem mecanismos eficientes de fiscalização, pelas distâncias a serem percorridas com os caminhões carregados, com frequência os prestadores de serviço deixam o material coletado em locais inadequados em seu percurso (Andreoli, 2009).

Isto constitui um dos principais impedimentos para avançar com o atendimento adequado por meio de modelos descentralizados, provendo modelos de prestação de serviço que viabilizem maior controle e sustentabilidade das atividades, independente dos contextos de ocupação. A coleta programada dos lodos fecais, ao invés da usual coleta sob demanda, é um dos principais caminhos para esta evolução, conforme demonstrado em diversas experiências pela Ásia e em uma iniciativa organizada recentemente no Rio Grande do Sul pela prestadora de serviço local - e que será descrito adiante neste trabalho.

A coleta do lodo se faz necessária toda vez que o sistema de contenção e tratamento atinge sua capacidade, e este serviço pode ser realizado tanto pelos proprietários do sistema como prestadores de serviço e agentes públicos. Um aspecto importante a ser

observado diz respeito às condições de acesso dos pontos de geração pelos serviços de “limpa fossa” convencionais. Seja pela distância ou viabilidade de se acessar fisicamente o lodo das soluções individuais, esta acessibilidade é um grande desafio no contexto atual brasileiro, e leva ao manejo majoritariamente inadequado do lodo fecal pelo país. A etapa de transporte deve atentar para o uso de métodos e equipamentos que garantam o correto armazenamento do lodo durante o transporte, sendo normalmente feito em veículos de tração mecânica, mas podendo ser adaptado para veículos de menor proporção para facilitar o acesso em determinadas condições de ocupação. O material coletado deve ser encaminhado para tratamento adequado antes da disposição final ou reuso, podendo ser feito no próprio local, ou transportado para estações de tratamento. Grande parte do material coletado e encaminhado para processamento é direcionado para estações de tratamento de esgotos (ETEs) convencionais, o que não é necessariamente a forma mais eficiente e viável de se efetivar o manejo adequado dos resíduos (Andreoli, 2009).

Algo pouco desenvolvido no Brasil, mas com casos de sucesso em diferentes países pela Ásia e África, é o processamento do material coletado

em Estações Específicas de Tratamento de Lodo Fecal (ETL). Estas estações são projetadas com princípios distintos das ETEs, uma vez que as características dos materiais tratados são distintas, envolvendo geralmente etapas mais simples e acessíveis financeiramente quando comparados aos de uma ETE convencional. Além disso, as ETEs convencionais nem sempre têm capacidade para receber estas cargas e/ou propiciam remoção satisfatória dos poluentes.

As ETLs devem lidar com os mesmos três tipos de efluentes que as ETEs (gases, líquidos e sólidos), mas em proporções diferentes (Andreoli, 2009; Bassan et al., 2014; Kansime, 2015). Cada um desses sub-produtos deve ser tratado para, posteriormente, ser corretamente reutilizado ou descartado (Von-Sperling 2014). O gás pode ter três destinos finais: (1) lançado diretamente na atmosfera, (2) tratado antes de ser lançado, como ocorre cada vez mais, ou ainda (3) aproveitado (como no caso de biogás na geração de energia). O líquido, por sua vez, após alcançar parâmetros adequados, é infiltrado no solo, lançado nos corpos hídricos superficiais ou reutilizado. Já a fração sólida residual, precisam ser destinados adequadamente para não contaminarem o ambiente, sendo uma das linhas de efluentes dos esgotos mais pesquisada atualmente, devido aos potenciais e desafios para reuso na agricultura.

## 3.

## A RELEVÂNCIA DOS DIFERENTES MODELOS DE ATENDIMENTO DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

Sistemas convencionais de esgotamento sanitário nasceram das crises epidemiológicas difundidas nas crescentes cidades modernas, decorrentes de condições extremamente precárias de saneamento, fazendo com que décadas de pesquisa e desenvolvimento tecnológico o moldassem para melhor atender aos aglomerados urbanos regulares (Schultz and McShane 1978; Bartram et al. 2014). No entanto, esses sistemas não conseguem se adaptar, ao menos de forma economicamente viável, a muitos dos contextos de ocupação pelo mundo, especialmente no âmbito de países em desenvolvimento. Os vários pré-requisitos técnicos, sua complexidade e os elevados custos associados a construção das redes coletoras de esgotos, recorrentemente inviabilizam o seu uso em localidades de baixa densidade populacional, locais com condições topográficas e geológicas desfavoráveis e/ou centros urbanos com condições precárias de ocupação (Yang et al., 2010; Bassan et al., 2014; Simiyu, 2017).

Aspectos técnicos como topografia, padrão de arruamento, composição do solo, nível da água subterrânea entre outros, têm efeitos decisivos na viabilidade de implementação das redes de coleta, e com frequência justificam os exorbitantes orçamentos e prazos de execução do sistema de esgoto. E, pela grande variedade destes fatores em meio a dife-

rentes locais, depender exclusivamente de um tipo de atendimento se mostra algo muito pouco estratégico em relação à meta de universalização dos serviços de esgoto. Diante da necessidade de um maior repertório para lidar com a diversidade, os sistemas descentralizados constituem uma importante estratégia para avançar com o saneamento a nível nacional. Estas soluções não apenas apresentam menor complexidade e custo para implementação, como também apresentam maior flexibilidade para serem adaptadas às condições locais e mudanças ao longo do tempo.

Este capítulo traz um embasamento acerca das limitações e potenciais dos diferentes sistemas, e faz uma análise aplicada ao Brasil, levando em conta a viabilidade econômica de cada modelo diante de diferentes densidades de ocupação.

### 3.1 LIMITAÇÕES TÉCNICAS DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS PARA ATENDIMENTO DE COMUNIDADES ISOLADAS, E O POTENCIAL DOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS PARA A UNIVERSALIZAÇÃO

Abordar os potenciais e restrições das diferentes formas de atendimento é uma tarefa delicada, diante da complexidade dos sistemas, diversidades de fatores envolvidos e de soluções existentes. Ainda assim, alguns aspectos aparecem como chave na determinação

de sistemas mais viáveis ou adequados à determinados contextos, considerando as condições econômicas, ambientais e socioculturais locais. Alguns dos principais aspectos, a serem abordados aqui, se referem à: flexibilidade dos sistemas de se adaptar aos diferentes contextos e a demandas não previstas que surgem ao longo do tempo; dependência de fatores ambientais locais para serem viáveis; dependência da densidade de ocupação (domicílios pagantes) para sustentabilidade econômica; e praticidade de operação e condições de controle de qualidade.

Os sistemas centralizados possuem importantes vantagens operacionais relacionados tanto às redes de coleta como às estações de tratamento de esgoto (Massoud, Tarhini, e Nasr, 2009; Pacheco et al., 2015; Eggimann, Truffer e Maurer, 2015). Quanto às redes, a exceção das estações elevatórias e/ou trechos pressurizados, estes sistemas funcionam por si só - por gravidade. Assim, fora as atividades de controle das elevatórias, o dia a dia de operação envolve principalmente o monitoramento e manutenção do sistema. No âmbito dos sistemas descentralizados, a menos que o processamento do lodo seja feito integralmente nos próprios locais de geração, o encaminhamento do material para tratamento envolve transporte por meio de veículos apropriados, e

assim, custos de mão-de-obra, combustível, entre outros.

Do ponto de vista da estação de tratamento, a centralização dos processos também torna mais prática as atividades rotineiras de controle, monitoramento e manutenção. Ter menos pontos de controle pode reduzir o tempo de deslocamento para tais atividades, assim como requerer menos pessoas para as tarefas. Sistemas semi-centralizados, operados por uma mesma prestadora de serviços, por tanto, pode apresentar maior desafio neste sentido, seja para o tratamento de esgoto ou de lodo fecal. Para os sistemas descentralizados, o tratamento propiciado pelas soluções individuais são, pelo Brasil e em grande parte dos países, de responsabilidade dos domicílios e não envolvem rotinas intensas de operação. Cumprindo-se as diretrizes técnicas de instalação destes sistemas, e um monitoramento eventual com relação à vazamentos e nível de acúmulo do lodo, não é comum a implementação de dinâmicas de controle ou monitoramento de performance destes sistemas (Andreoli, 2009).

O modelo centralizado também costuma apresentar aspectos positivos para a implementação do sistema. Para as redes convencionais de coleta, a constituição de um padrão construtivo facilita a obtenção de peças, além de usufruir da economia de escala que

barateia os custos com materiais. Esta padronização, na teoria, também contribui para garantir condições apropriadas de funcionamento, definindo elementos constituintes, configurações estruturais e dimensionamentos específicos. Estas definições, no entanto, colaboram com a falta de flexibilidade e adaptabilidade destes sistemas a determinados contextos. Quanto ao sistema de tratamento de esgoto, a implementação de maiores estações de tratamento, ao invés de um maior número de estações, também pode levar a custos de implementação reduzidos, relacionados a mobilização de terrenos e construção das estruturas (materiais, logística e equipes de obra) (Além Sobrinho e Tsutiya, 1999; Bassan et al., 2014; Eggimann, Truffer e Maurer 2016).

Por outro lado, a grande escala dos sistemas centralizados implica em certos desafios que os tornam pouco viáveis a muitos dos contextos de ocupação, tanto por aspectos técnicos como econômicos. As redes de coleta e transporte dos esgotos não somente costumam ser mais longevas do que as ETEs, como também representam os maiores custos financeiros e operacionais dos sistemas centralizados (Eggimann, Truffer and Maurer, 2015). A configuração e viabilidade destas estruturas depende de uma série de fatores, e para a sua construção alguns fatores se destacam:

o perfil do solo e nível d'água; a urbanização local e a topografia do terreno. Estes aspectos também podem ter implicação na construção de ETEs, e mesmo na implantação de sistemas descentralizados, no entanto, a extensão linear das redes de coleta torna estes fatores ainda mais decisivos. Quanto mais desfavoráveis esses quesitos, maiores os empecilhos técnicos a implementação das redes (Pacheco et al., 2015; Eggimann, Truffer and Maurer, 2016; Moss, 2016). Solos pedregosos ou que necessitem de longos percursos para disposição de bota-fora; áreas muito urbanizadas sem faixas de servidão planejadas ou mapeamento de infraestrutura existente; e terrenos muito, ou muito pouco, íngremes; todos esses cenários exigem soluções técnicas complexas e/ou de alto custo de implementação e manutenção, como escavação não mecânica; sondagens e levantamento de estruturas; e instalação de sistemas de bombeamento.

Do ponto de vista de performance de tratamento dos sistemas, a questão está mais relacionado à configuração e condições operacionais do sistema do que com a escala e nível de centralização/ descentralização. Sistemas de grande porte vêm sendo aprimorados, com sistemas e regimes de operação cada vez mais rebuscados, abordando uma variedade de novos parâmetros,

	DESCENTRALIZADO	CENTRALIZADO
CONDIÇÕES PARA IMPLEMENTAÇÃO	<p>Maior adaptabilidade a processos de ocupação do território com custos, de forma geral, reduzidos</p> <p>Dependência de engajamento popular para garantia de boas práticas e maior dificuldade de fiscalização</p>	<p>Economia de escala para as redes e estações</p> <p>Vulnerabilidade, especialmente das redes de coleta, às condições locais (topografia, solo, densidade de ocupação, espaço nos logradouros etc.) para viabilidade econômica.</p>
CONDIÇÕES PARA OPERAÇÃO	<p>Sistemas simples e robustos que demandam pouca intervenção e/ou manutenção.</p> <p>Complexidade de monitoramento contínuo e maior dependência do engajamento de usuários</p>	<p>Conveniência para operação com as redes de coleta e estações centralizadas, e de controle e manutenção das estações.</p> <p>Monitoramento e manutenção das redes de coleta aterradas complexo e custoso.</p>
FLEXIBILIDADE DO SISTEMA AO LONGO DO TEMPO	<p>Altamente adaptável aos processos dinâmicos de ocupação do território</p> <p>Demanda elevada capacidade de gestão para adaptação de planos de coleta do lodo armazenado</p>	<p>Novas ligações são simples e pouco onerosas</p> <p>Vulnerabilidade à subutilização das grandes e cara estruturas feitas para projeções de ocupação, que podem não se cumprir. E vulnerabilidade a subdimensionamento, a alterações nos processos de ocupação do território, em especial a dinâmicas espontâneas, muito comuns em grandes centros urbanos</p>
PERFORMANCE DE TRATAMENTO	<p>Sistemas cada vez mais adequados de solução individual permitem performances satisfatórias de tratamento.</p> <p>Por serem sistemas difusos, sob responsabilidade dos estabelecimentos ou domicílios, há uma vulnerabilidade em relação à qualidade e efetividade de tratamento das estruturas implementadas.</p>	<p>A conveniência para monitoramento e controle de sistemas centralizados podem ser correlacionados com maior performance de tratamento</p> <p>A concentração pontual de grandes quantidades de esgotos leva a uma maior complexidade na acomodação e destino dos lodos gerados e a um impacto localizado mais severo em corpos receptores</p>

Tabela 1 - Potenciais e limitações entre centralizado convencional e descentralizado

como nutrientes. Pelo outro lado, sistemas isolados também têm recebido considerável atenção de pesquisadores e contam com designs mais eficientes e de operação robusta e confiável. (Gaulke, 2006; Eggimann, Truffer, and Maurer, 2015).

Do ponto de vista de flexibilidade de adaptação dos sistemas aos contextos e à mudanças nas condições locais de ocupação, estruturas maiores e mais caras (geralmente centralizadas) tendem a ter uma capacidade reduzida de se ajustar, a lidar, por exemplo, com o aumento ou redução populacional. Além disso, por demandarem maiores investimentos em sua implementação, os riscos de subutilização e obsolescência de tais estruturas têm maior impacto financeiro. Já as configurações descentralizadas e semicentralizadas possibilitam sistemas mais adaptados às condições locais e flexíveis a mudanças. E, se tratando da diversidade de contextos no Brasil e sua dinâmica de ocupação não planejadas, tem muito a contribuir para a universalização no país.

Em termos econômicos, os custos de implementação e operação do sistema são determinantes para a viabilidade de aplicação à determinado contexto. Para serem efetivos e sustentáveis financeiramente ao longo do tempo, é essencial que o balanço destes custos seja adaptado à realidade do local, e

que a arrecadação pelos serviços seja compatível com tais investimentos. Os sistemas centralizados, pelo elevado custo de implementação das redes de coleta, dependem de uma taxa de arrecadação mínima por extensão de rede, nos casos em que os investimentos iniciais têm de ser recuperados ao longo de determinado tempo de operação do sistema. Assim, para cada quilômetro de tubulação implementada, um número mínimo de domicílios pagantes é necessário, para que o retorno financeiro seja possível. Eggimann, Truffer, and Maurer (2015), abordam essa questão trazendo o termo “economia de densidade”, que reflete muito propriamente a realidade de tais sistemas. Este termo expressa a necessidade de uma densidade mínima populacional em determinada localidade para tornar os sistemas centralizados viáveis financeiramente. Esse termo reflete muito propriamente a realidade de tais sistemas. A próxima seção deste capítulo busca trazer essa análise para o contexto brasileiro, as curvas de custo levantadas ajudam a nortear potenciais e limitações de cada forma de atendimento, centralizado e descentralizado. Na literatura, ainda que os estudos tragam resultados muito abrangentes ou relacionados a localidades específicas, é possível extrair importantes informações para análises preliminares de viabilidade em diferentes contextos.

### 3.2 ESTUDOS DE CUSTOS E DE SISTEMAS CENTRALIZADOS E DESCENTRALIZADOS NO BRASIL EM RELAÇÃO A DENSIDADE POPULACIONAL

Dentre os muitos aspectos avaliados na concepção de sistemas de tratamento de esgoto, o custo, tanto de implementação quanto de operação e manutenção, tem um papel de destaque, sendo comumente o fator determinante na escolha da tipologia do sistema e das soluções que o compõe. Essa diretiva, do uso do custo na tomada de decisão, é compreensível, uma vez que o mesmo reflete, mesmo que indiretamente, vantagens e desvantagens técnicas, sociais e ambientais de cada configuração. Como bem exposto nas seções anteriores, há uma percepção histórica, pela difusão abrangente dos sistemas convencionais centralizados de esgotamento sanitário, de que esses devem ser buscados legando as soluções isoladas um papel paliativo; ainda, que os mesmos dependam grandemente da densidade populacional, motivo pelo qual esse último fator toma destaque em análises comparativas. O avanço das tecnologias para lidar com sistemas isolados, tanto em entendimento como em design, coloca em xeque essa percepção, trazendo a necessidade de uma nova avaliação quanto a seu uso e reconhecimento. É importante salientar, já de início, as grandes diferenças existen-

tes entre regiões do Brasil, diferenças essas que se refletem nos custos mencionados neste capítulo; dessa foram, o levantamento apresentado aqui deve ser visto como ponto inicial de ponderação e, eventualmente, balizamento metodológico para extrapolação em uma localidade específica.

Dessa forma, é muito comum a abordagem da pertinência do modelo de sistema de esgotamento sanitário a ser dotado tomar a perspectiva econômica, em especial em países em desenvolvimento, onde a escassez de recursos é mais acentuada. Diversos estudos recentes trazem uma abordagem renovada considerando esses aspectos em relação aos modelos centralizados, semi-centralizados ou descentralizados; apontando os últimos dois como um complemento estratégico, embora ainda pouco contemplado, no compêndio de soluções sanitárias para a expansão da cobertura do esgotamento sanitário (Tiffany et al., 2018; Zhou et al., 2018; Blackett and Hawkins, 2017; Ivar et al., 2017). Dodane et al. (2012), ao avaliar os custos de implementação e operação de sistemas centralizados e descentralizados em Dakar, no Senegal, conclui que o modelo descentralizado pode ser até 5 vezes menos custoso do que os centralizados no atendimento a comunidades urbanas precárias. Tiffany et al., (2018), avaliando a implementa-

ção de sistemas semi-centralizados, sob um contexto Indiano, também observa que o planejamento cuidadoso de sistemas de pequeno porte pode levar a um custo total inferior ao uso dos convencionais sistemas centralizados. Mara, 2013, afirma que a universalização do esgotamento sanitário esbarra principalmente no atendimento a localidades urbanas precárias e que o atendimento em tais contextos só será alcançado pela inclusão de tecnologias simplificadas, não-convencionais.

No contexto brasileiro algumas pesquisas pontuais apontam a importância dos sistemas descentralizados na ampliação do acesso ao esgotamento sanitário. Santos, 2015, aborda a necessidade de inclusão dos sistemas descentralizados no debate da universalização na perspectiva de localidades com baixa densidade populacional, apontando a predominante ausência de redes de coleta em regiões com menos 1 habitante por hectare; no entanto os autores extraem a densidade a partir da razão entre habitante e área total do município, o que pouco reflete a real dispersão populacional através do território. Júnior, 2013, alguns anos antes, discute o tema como uma estratégia de inclusão social ao analisar o uso sistemático de soluções isolados em projetos de complexos habitacionais do programa minha casa minha vida, que sem acesso à rede

coletora de esgotos, mas com a exigência de contemplação do esgotamento sanitário adequado, foram obrigado a recorrer a tais tecnologias. Duncan Mara e diversos colaboradores trazem inúmeras contribuições para o debate ao longo das últimas décadas; um levantamento na cidade de Natal, RN, da década de 1990, aponta a desvantagem, em termos de custo, de sistemas centralizados em localidades com densidade populacional abaixo de 160 habitantes por hectare; já estudos mais recentes abordam o papel crucial que sistemas simplificados, em especial as redes condominiais, têm tido na expansão da cobertura por esgotamento sanitário em diversos estados do país (Mara, 2013, 2006, 2005; Mara and Guimarães, 1999).

É diante da necessidade de uma referência inicial para essa ponderação entre sistemas centralizados e descentralizados que esse documento traz um levantamento de custos para ambas as configurações, tomando por base referencial a densidade populacional. A avaliação parte da determinação dos componentes de cada sistema avaliado, deixando evidente as ponderações feitas para o cada cenário apresentado. Dodane et al, (2012), propõe uma estratificação muito interessante, assim como uma metodologia para avaliação dos custos de cada componente; sendo seu racional em grande parte utilizado neste capítulo.

	DESCENTRALIZADO	CENTRALIZADO
CONTENÇÃO / TRATAMENTO LOCAL	Solução individual (fossa séptica + filtro anaeróbio + sumidouro - SINAPI IBGE)	-
COLETA E TRANSPORTE	Serviço de limpa fossa com coleta programada anualmente (SINAPI IBGE)	Rede de coleta convencional (SNIS, Pacheco et al; 2015)
TRATAMENTO	Estação de tratamento de lodo (ETL) (baseado em Dodane, Sow e Strande, 2012)	Estação de tratamento de Esgoto (PRODES ANA)

Tabela 2: Configurações consideradas para análise comparativa

Duas configurações distintas foram adotadas, como também apresenta a Tabela 2, os sistemas centralizados foram considerados como compostos pela rede de coleta e transporte de esgotos e as estações de tratamento (ETEs). Foram considerados esses dois elementos por representarem a maior parte dos gastos em sistemas convencionais, de acordo com Além Sobrinho e Tsutiya, (1999), essas estruturas representam 99% dos custos totais. Já os sistemas descentralizados foram considerados

como a unidade local atendendo até 5 pessoas; a coleta e transporte anual do lodo acumulado, proporcional ao número de usuários do sistema; e a estação de tratamento de lodo (ETL), para lidar de forma adequada com o lodo recebido. Por fim, os gastos foram relacionados a densidade populacional. Todos os valores apresentados foram ajustados para janeiro de 2020 por meio do Índice Nacional de Custo da Construção (INCC), calculado pela Instituto Brasileiro de Economia (IBRE), e convertidos em

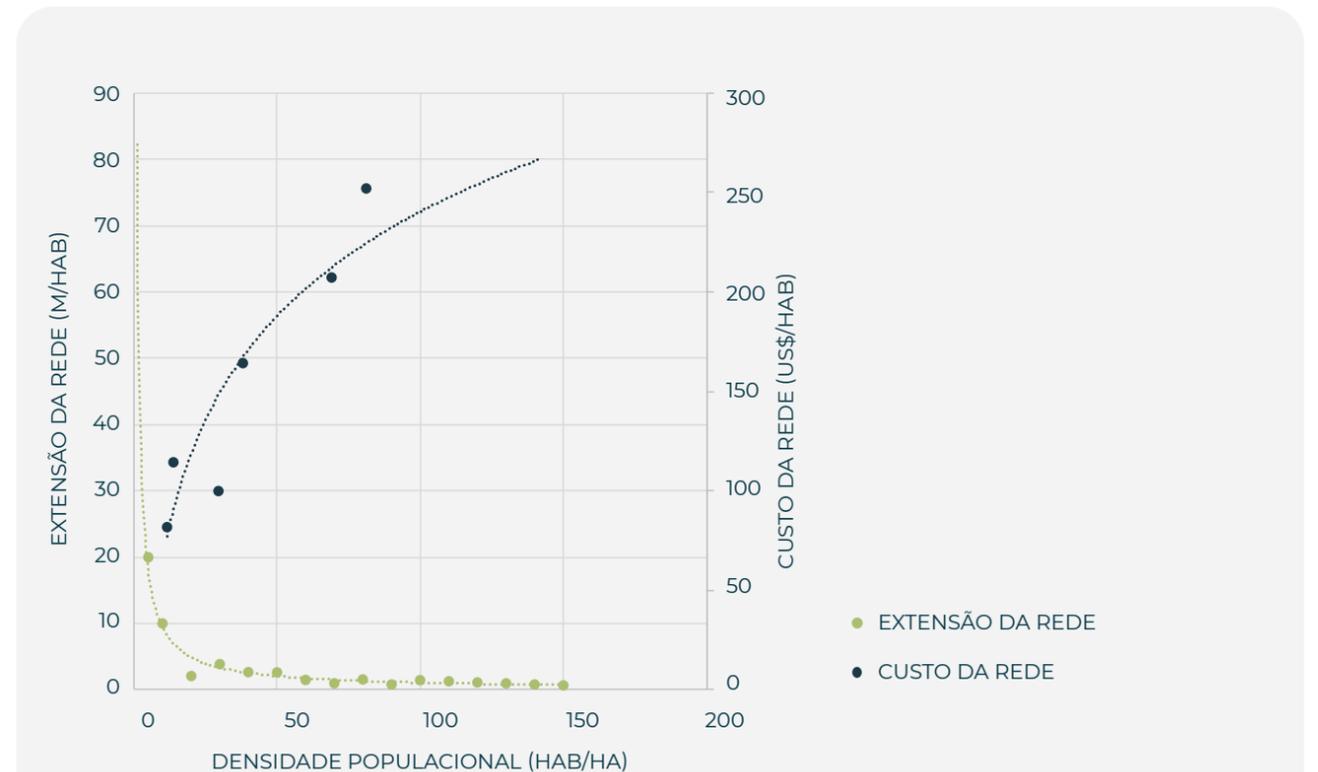


Gráfico 1: Levantamento da extensão de rede por usuário e do seu custo unitário em relação a densidade populacional atendida.

dólar americano (US\$), considerando a cotação comercial da moeda também no mês de janeiro de 2020.

A determinação dos custos da rede coletora em sistemas centralizados demanda duas abordagens, primeiro a determinação do tamanho da rede necessária para atender uma determinada ocupação, ou seja, qual a extensão de rede necessária para cada usuário conectado. Segundo, a estimativa do custo unitário da rede implementada. Para responder ao primeiro ponto, foram

analisados os dados desagregados da série histórica do SNIS, correlacionando a extensão da rede a população atendida pela mesma, Gráfico 1, essa análise alcançou as 3042 municipalidades que responderam, em algum momento, a questão ES004 (Extensão da rede de esgotos) do levantamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. A determinação do custo unitário seguiu as proposições de Pacheco et al., (2015), considerando a população total atendida para o cálculo do diâmetro de coleta-

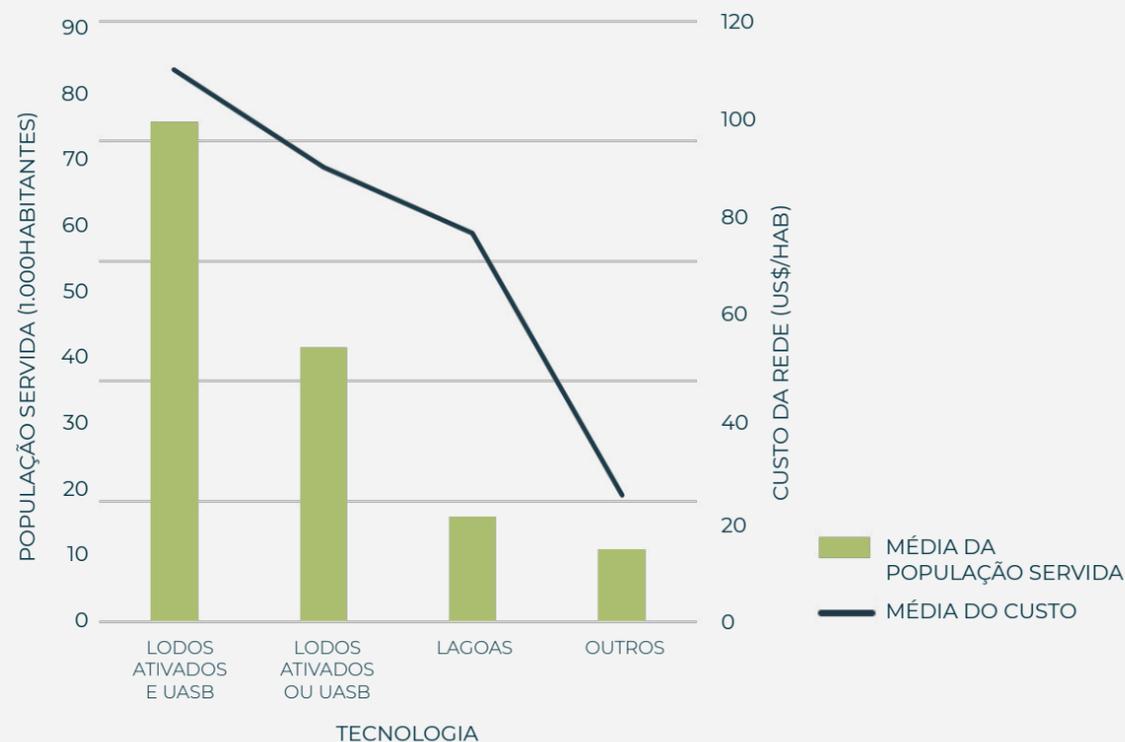


Gráfico 2: Custos médios de implementação e população média servida para ETEs de diferentes tecnologias financiadas pelo PRODES - ANA

res tronco e interceptores e a densidade populacional para a estimativa do diâmetro da rede coletora, o custo unitário também é apresentado na Gráfico 1.

Seguindo com os sistemas centralizados, a análise dos custos para a implementação das ETEs foi conduzida a partir de dados do PRODES - Programa de Despoluição de Bacias Hidrográficas (ANA, 2015). A agência apresenta, através do portal, os valores desempenhados para a construção de 80 estações de tratamento de esgoto em todo o país

entre os anos 2001 e 2015; assim como apresenta dados básicos de cada projeto. Foram extraídas informações a respeito da população servida, da tecnologia utilizada no tratamento e do custo de implementação. Os valores médios são apresentados na Gráfico 2.

Partindo para os sistemas descentralizados, que foram divididos em 3 partes (solução individual, coleta e transporte anual do lodo e tratamento do lodo); as duas primeiras tiveram seus custos levantados com base no

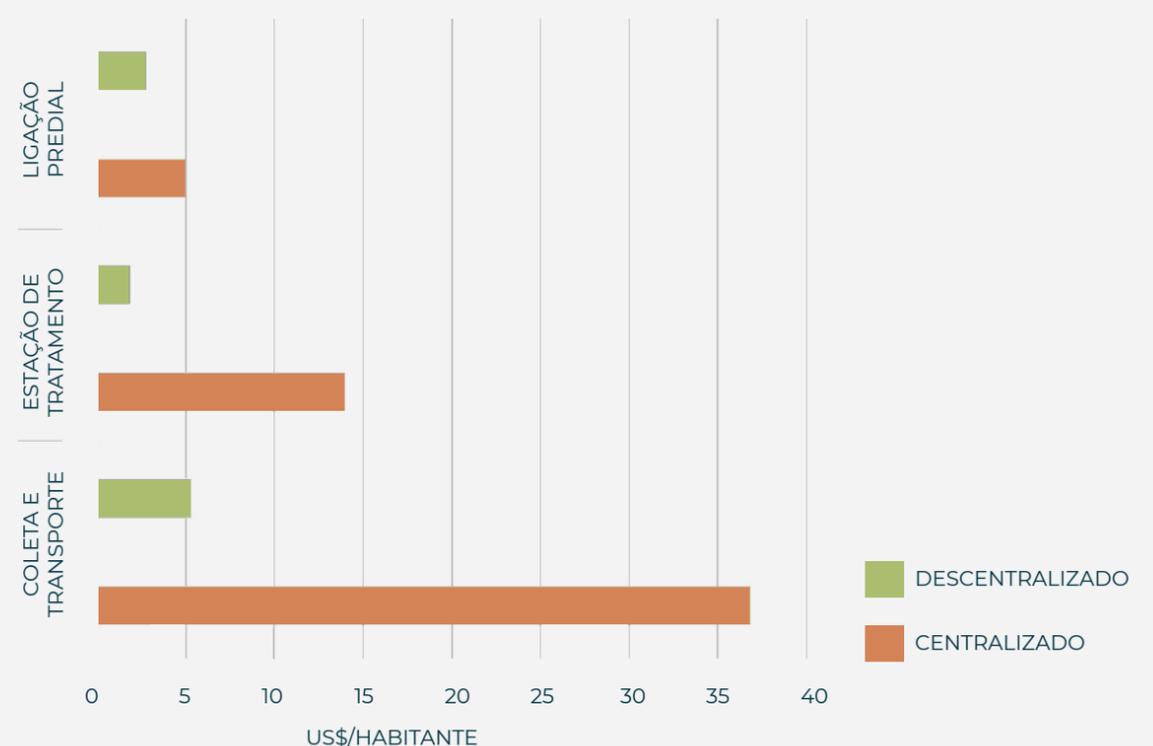


Gráfico 3: Composição de custos de sistemas centralizados e descentralizados em Dakar, Senegal (adaptado de Dodane, Sow, e Strande, 2012)

SINAPI. É importante notar nesse momento que não foram abordadas variações construtivas e/ ou tecnológicas para ambos os casos, sendo os sistemas sempre compostos por tanque séptico, filtro anaeróbio e sumidouro e a coleta realizada por caminhão para equipamento de limpeza a sucção (caminhão limpa fossa). As diversas possibilidades de abordar essas duas etapas nos sistemas descentralizados constitui um dos seus grandes diferenciais, no entanto, extrapolam a avaliação proposta nes-

te capítulo. Já a terceira componente, o tratamento do lodo em ETL, por falta de referências no contexto nacional, teve seu custo baseado no estudo de Dodane et al., 2012, apresentado no Gráfico 3. O custo total desses sistemas se consolidou em em aproximadamente US\$ 500 por habitante, discriminado do Gráfico 4. Nota-se que esse valor é válido a partir de 5 usuários (sua base estrutural), no entanto, se o mesmo é construído para atender a uma única pessoa, o custo da estrutura não é diluído pelos

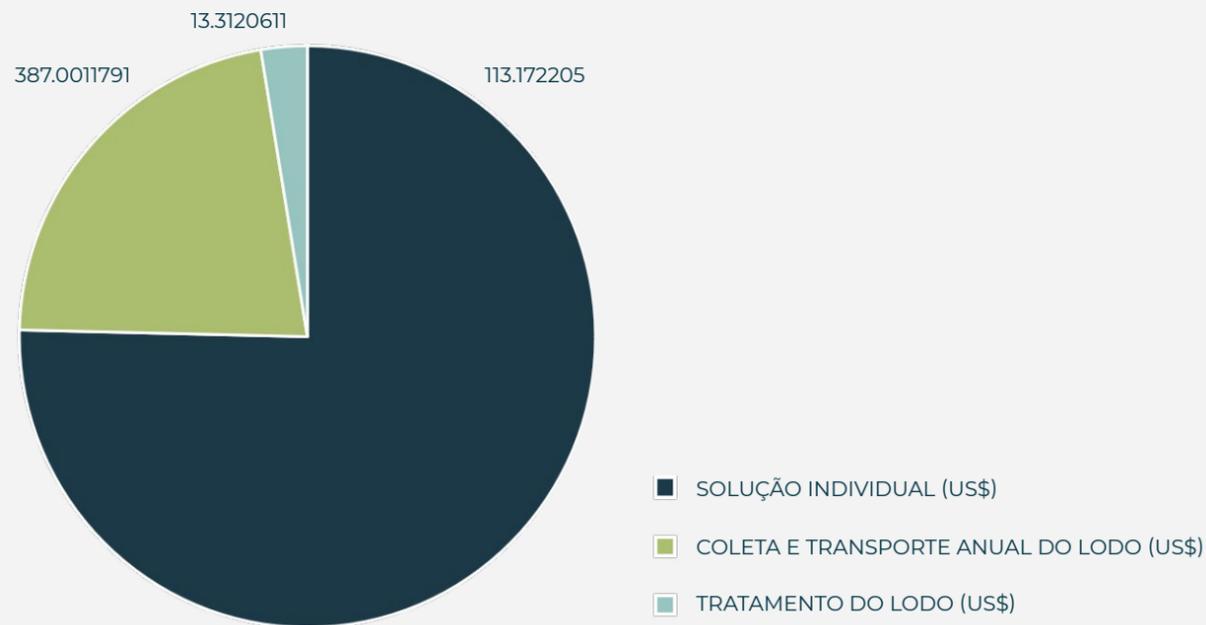


Gráfico 4: Custos de sistemas descentralizados para atender 5 pessoas, em dólares americanos, no Brasil e sua composição

demais usuários, tornando o sistema consideravelmente mais dispendioso, essa consideração também é considerada neste estudo quando da comparação entre sistemas.

Todos os custos dos sistemas centralizados e descentralizados foram então consolidados em um único gráfico, esse relacionando o valor por usuário com a densidade populacional da região atendida, Gráfico 5. Essa apresentação procura mostrar a existência de um momento de inversão nos custos com

ambos os sistemas e, até certo ponto, da tendência de maior viabilidade na implementação de um ou outro. Esse estudo chegou a uma densidade de 41 habitantes por hectare como ponto de inversão, até onde sistemas descentralizados são menos onerosos e a partir de onde sistemas centralizados passam a ter menor custo.

Por fim, procurando situar esse levantamento diante da heterogeneidade dos municípios Brasileiros, foi realizado um estudo da densidade populacional

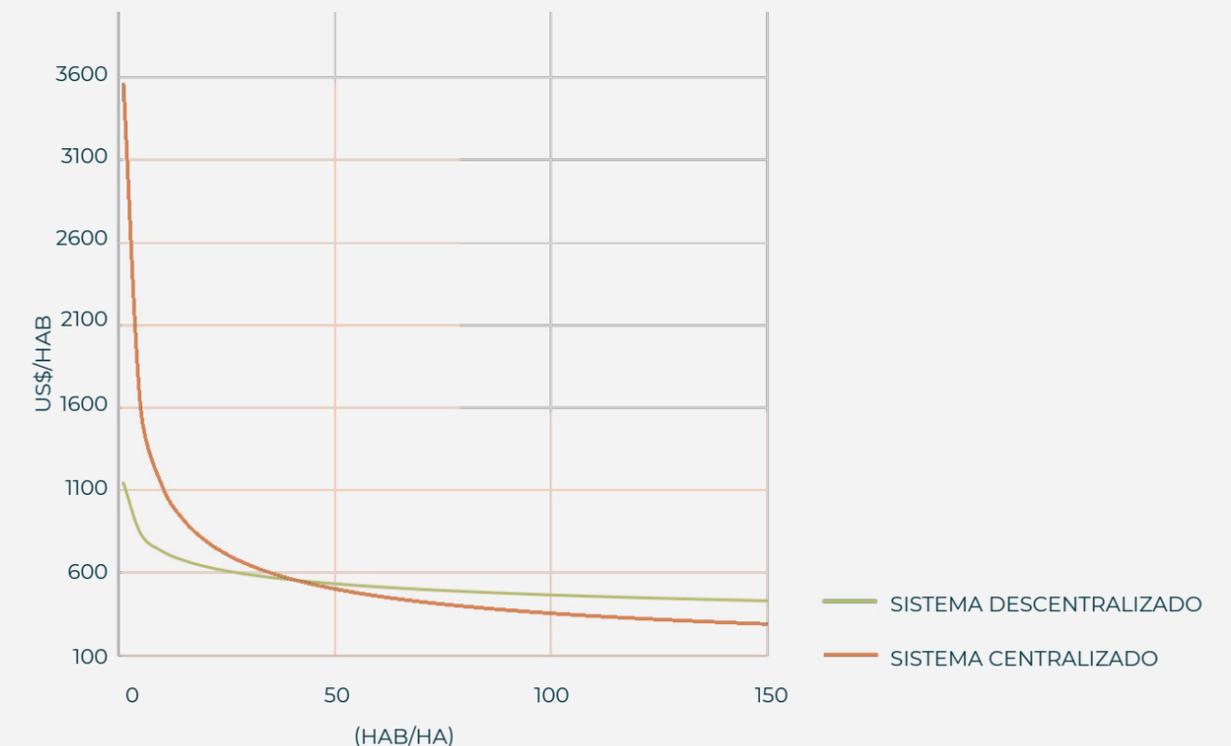


Gráfico 5: Custo per capita de sistemas descentralizados e centralizados de esgotamento sanitário no Brasil de acordo com a densidade populacional na localidade de atendimento

em centros urbanos no país. Foram considerados o levantamento de manchas urbanas do Brasil realizado pela Coordenação de Geografia do IBGE em 2015, que abrange 664 municipalidades; e dados da população urbana no mesmo ano, também do instituto brasileiro de geografia e estatística. A densidade populacional de cada mancha urbana foi obtida pela razão entre população residente e área da mancha urbana do município. As cidades foram então agrupados de acordo com sua faixa po-

pulacional de forma a permitir a percepção da variação em sua densidade populacional de acordo com a população residente, Gráfico 6.

É possível notar, a partir dessa última imagem, que os municipalidades com população até 250 mil habitantes tem sua densidade populacional mediana próxima a 40 habitantes por hectare, coincidentemente, quando observamos os dados de cobertura por esgotamento sanitário adequado no país, amplamente discutidos nesse documento, nota-

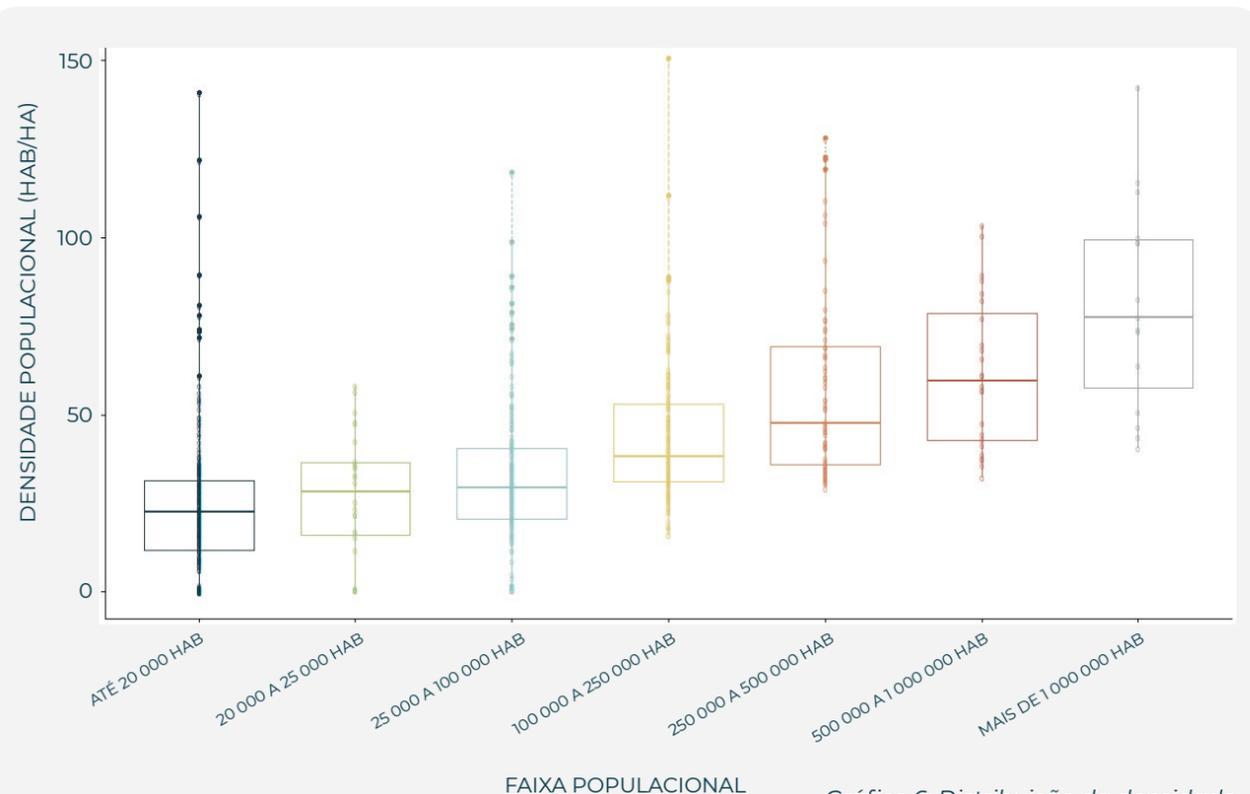


Gráfico 6: Distribuição da densidade populacional em cidades Brasileiras, com base no levantamento de manchas urbanas do IBGE de 2015

mos que são também esses os municípios com maior déficit de atendimento. O resultado encontrado na comparação de custos, 41 habitantes por hectare, traz um valor próximo, parecendo, dessa forma, apontar para uma reflexão sobre a questão. É interessante notar que mesmo variando esse valor alguns pontos percentuais, de forma a refletir os erros inerentes ao levantamento pelo seu generalismo, a faixa de densidade populacional continua refletindo municipalidades historicamente deficitárias.

Países que apresentam contextos socioeconômicos semelhantes ao brasileiro têm encontrado soluções que viabilizam a incorporação de sistemas descentralizados em seu repertório técnico. É importante ressaltarmos, mais uma vez, que a absorção de sistemas no quadro técnico é feita considerando características rigorosas de adequabilidade à premissa básica do esgotamento sanitário, que é o isolamento higiênico dos efluentes sanitários (UNICEF e WHO, 2019). Nesse cenário, devemos entender a demanda

urgente de incorporação desses sistemas no debate de soluções, que deve ser amparado além do olhar técnico, também, e talvez mais importante, por uma mudança nos contextos político-regulatórios e socioperceptivos tornando possível a implementação de tais sistemas com sucesso (McGranahan, 2015).

Importante notar, mais uma vez, que resultados apresentados aqui, não buscam, nem poderiam, refletir a realidade de todo o Brasil com toda a sua diversidade. Esses buscam primariamente demonstrar a importância de se estudar e discutir os sistemas descentralizados e baseados no manejo do lodo em nosso país, a fim de viabilizar avanços mais eficientes (em termos de investimentos e prazos) em direção à universalização. Assim, os valores encontrados apresentam-se num contexto nacional amplo, devendo ser tomados com cautela. Existe uma grande variabilidade nos custos de projetos de saneamento no Brasil, devendo ser considerados fatores extrínsecos ao processo de tratamento, na avaliação local de sua precificação, como a natureza econômica (inflação, moeda nacional e taxas de juros), produtividade e salários diferentes para a mão de obra regional; além de preços distintos de materiais e equipamentos; custos da terra e obras complementares, etc (Além Sobrinho e Tsutiya, 1999; Jordão e Pessoa, 2011; Von-Sperling, 2014).

## 4.

**SISTEMAS  
DESCENTRALIZADOS  
NO BRASIL**

## RELEVÂNCIA E PERSPECTIVAS

Sistemas descentralizados têm um grande potencial de aplicação pelo Brasil devido a uma série de fatores, relacionados à viabilidade técnica e financeira destes sistemas em contextos comumente não acessados pelos sistemas convencionais. A elevada adaptabilidade destes sistemas e os custos de implementação mais baixos do que sistemas convencionais são aspectos de grande relevância para lidar com a grande recorrência e diversidade de comunidades isoladas pelo país. Outro fator é a grande parcela dos domicílios que já possuem alguma forma de solução individual (seja ela adequada ou não), uma vez que aprimorar os sistemas existentes para o manejo adequado dos efluentes e lodo fecal envolve recursos e esforços expressivamente menores do que implementar do início um novo sistema para coleta e tratamento convencional de esgoto. Além destes pontos, a potencial simplicidade dos sistemas descentralizados com manejo de lodo fecal pode possibilitar custos operacionais apropriados e adaptados às condições locais, além de constituir uma importante oportunidade para desenvolvimento local (serviços locais e/ou comunitários).

A análise de bases de dados nacionais de saneamento (AtlasEsgotos, PNSR e PlanSab) em conjunto com o levantamento de aspectos do arcabouço legal e de governança revelam o déficit

deste setor no país e a importância de se desenvolver políticas públicas, regulamentações e modelos de serviço que avancem com os sistemas descentralizados e a gestão do lodo fecal.

Os sistemas de esgoto no Brasil, quando existem, são, via de regra, associados a redes de coleta, transporte e tratamento centralizado. E, de fato, a regulamentação e a prestação de serviço no país foca quase que exclusivamente nestes modelos de atendimento. Conforme pontuado por Tonetti et al (2018), com frequência, sistemas descentralizados são tidos como sistemas inferiores aos centralizados, que por sua vez são considerados mais modernos e eficientes. Ao mesmo tempo, conforme pautado por Andreoli (2009), a falta de atenção e preparo para os modelos descentralizados de esgoto levam a um grande contingente de domicílios sem atendimento adequado pelo Brasil. Sem legislações, políticas públicas e mecanismos de regulação específicos, as soluções individuais e o manejo do lodo das fossas são em grande parte fontes de contaminação e risco para saúde pública. Além disso, a falta destes mecanismos leva a falta de cadastros e conhecimento acerca dos sistemas existentes em uma determinada região, tornando mais desafiador lidar com o saneamento de forma mais eficiente e assertiva.

No entanto, verifica-se que uma parcela significativa da população brasileira hoje depende de formatos descentralizados de tratamento do esgoto. Nos contextos rurais e urbanos precários esses formatos não se mostram apenas expressivos, mas também tendem a ser a forma majoritária de atendimento, conforme veremos a seguir. Soma-se ainda a este montante o contingente populacional sem acesso a esgotamento sanitário, que lançam seus efluentes diretamente em corpos hídricos, e que poderiam ser eficientemente atendidos por soluções descentralizadas, aumentando o potencial de aplicação deste tipo de sistemas.

#### 4.1 A RELEVÂNCIA DOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS NO PANORAMA ATUAL DO SANEAMENTO BRASILEIRO

No que diz respeito a relevância dos sistemas descentralizados a nível internacional, Bassan et al (2014) apresenta um estudo de 2013, feito pelo Boston Consulting Group, que indica um contingente de 193 milhões de pessoas pela América Latina dependendo de sistemas descentralizados e baseados no manejo do lodo fecal. Rao et al (2017) aponta ainda que, a nível mundial, 2,7 bilhões de habitantes dependem de sistemas individuais, com a perspectiva de chegar a 4,9 bilhões em 2030.

A nível nacional, em consonância com o panorama internacional apresentado, os números acerca da parcela da população que conta com fossas sépticas e rudimentares dão um importante indício da relevância destes sistemas no Brasil. Independentemente destes sistemas se mostrarem adequados ou não em termos de execução e operação (considerando estruturas e manejo do lodo que cumpram os requisitos de tratamento), o elevado contingente de domicílios com esta solução já condiz com a maior facilidade de se resolver a questão do esgoto por meio dessa abordagem. Sabe-se que na maioria dos sistemas já existentes não há a infraestrutura e manejo adequado, de modo que é mais eficiente de se prover atendimento nestes casos adequando e complementando as soluções já existentes do que trazendo estruturas de sistemas centralizados que dependem de condições demográficas, ambientais e de infraestrutura preexistentes para serem viáveis.

É importante de se ressaltar que a análise aqui realizada não busca avaliar se as formas de atendimento são adequadas ou inadequadas, discernindo fossas sépticas de fossas rudimentares, ou se há ou não manejo dos lodos fecais. O propósito aqui é tão somente demonstrar a dependência da população atual em relação à sistemas indivi-

duais e demonstrar o potencial de aplicação dos mesmos pelo país. Uma vez compreendido que esta solução pode ser tão oficial e eficiente em termos de tratamento quanto os sistemas centralizados, fica claro que o caminho para universalização será muito mais rápido e viável se os sistemas descentralizados forem fortalecidos.

Para retratar a diversidade de realidades do cenário nacional foram levantadas, além de informações sobre o panorama geral do Brasil, dados específicos dos contextos rural, urbano e urbano precário.

#### 4.1.1 Panorama Geral

No âmbito geral, incluindo todos os contextos de ocupação pelo Brasil, os dados apresentados pelo PlanSab de 2019 indicam que aproximadamente um terço da população brasileira depende de sistemas descentralizados de esgoto. Neste retrato, 15,6% dos domicílios pelo país encaminham seus efluentes para fossas sépticas e 14,9% para fossas rudimentares. Esses percentuais (apresentados na Gráfico 7) correspondem a um montante de quase 63 milhões de habitantes, cujo encaminhamento dos efluentes doméstico geram o acúmulo de lodo fecal nos terrenos, com a necessidade de alguma forma de manejo do material retido (Brasil, 2019a).

#### 4.1.2 Contexto Rural

No âmbito rural, de acordo com os dados apresentados pelo Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) lançado em 2019, que utilizou como base os dados do Censo do IBGE de 2010, 80% da população deste contexto conta com soluções individuais de tratamento de esgoto, sendo 16% com sistemas de fossa séptica e 64% com fossas rudimentares. Considerando estes percentuais e os números absolutos de população rural apresentados, temos que quase 32 milhões de habitantes dependem de sistemas individuais de esgoto (sejam eles adequados ou não) e que, portanto, acumulam lodo e requerem alguma forma de gestão deste material. Somando-se a este contingente outros 16% dos habitantes nas áreas rurais que lançam os efluentes diretamente em corpos hídricos ou valas a céu aberto e que, com esforços moderados, poderiam ser atendidos por sistemas descentralizados, a quantidade de pessoas nas zonas rurais que dependeriam de manejo adequado de lodo fecal poderia chegar a mais de 38 milhões de habitantes. Esse montante é equivalente a 96% dos habitantes brasileiros fora de sedes e distritos urbanos pelo Brasil (e equivalente a 20% da população brasileira considerando o Censo de 2010) (Brasil, 2019b).

Importante fazer um paralelo dos

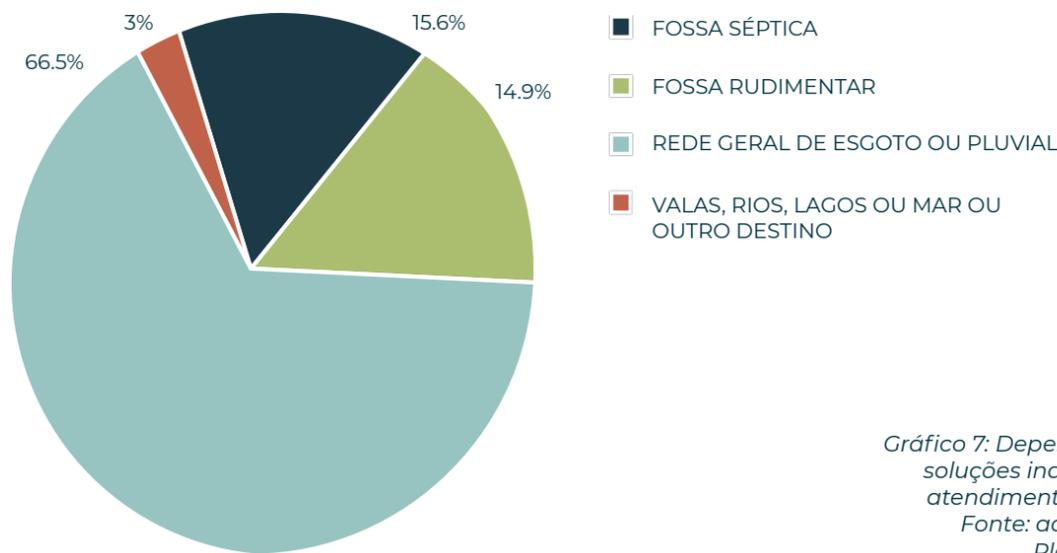


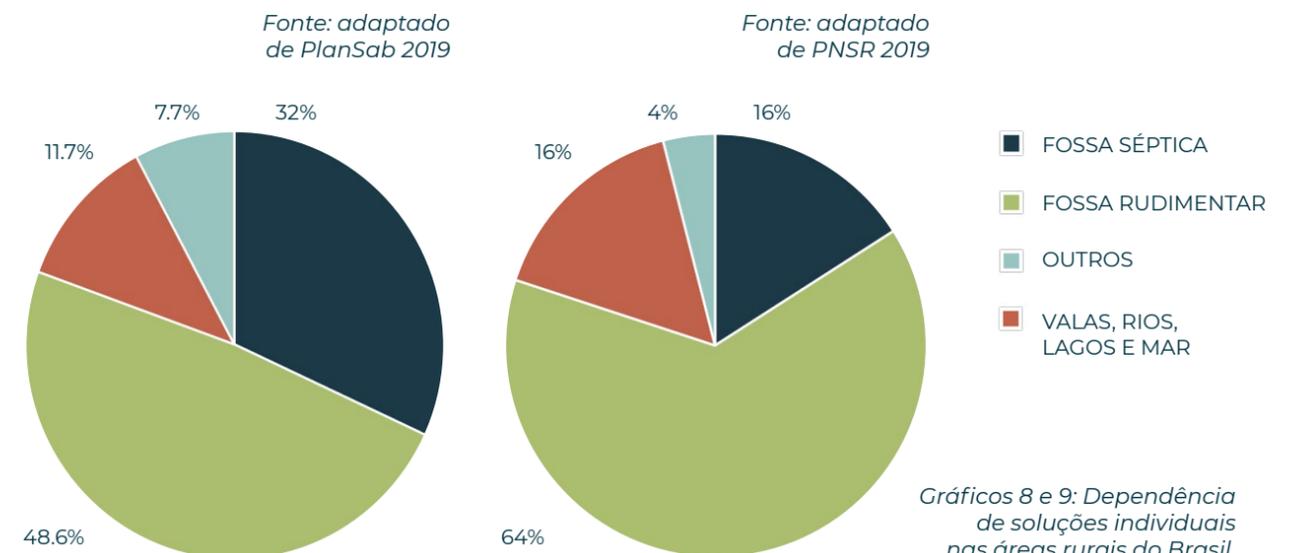
Gráfico 7: Dependência de soluções individuais de atendimento no Brasil. Fonte: adaptado de PlanSab 2019

percentuais de soluções individuais apresentados pelo PNSR com os resultados apresentados pelo PlanSab 2019, que utilizou como base os dados apresentados na Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD Contínua) de 2017. Segundo a pesquisa, o percentual de domicílios atendido por fossas sépticas é de 32% e por fossas rudimentares é de 48,6%, totalizando 80,6% da população rural que é atendida por soluções individuais. Vemos, comparando os resultados, que por mais que o atendimento por soluções individuais seja muito similar entre as fontes, há muito mais fossas sépticas no estudo do PlanSab do que no do PNSR (Brasil 2019a). Essa diferença não se atribui necessariamente a um avanço entre 2010 e 2017, sendo sempre importante

lembrar também as limitações destas pesquisas em coletar dados assertivos no que tange à classificação sobre o que constitui fossa séptica e o que constitui fossa rudimentar.

#### 4.1.3 Contexto urbano

No âmbito urbano, mesmo com a tendência aos sistemas centralizados empregados pelos municípios e prestadoras de serviço, há uma parcela significativa que atualmente conta com sistemas descentralizados de esgoto. De acordo com resultados apresentados pelo AtlasEsgotos (publicado pela ANA em 2017), que retrata especificamente a situação das sedes municipais, 12% da população brasileira nestes contextos utiliza soluções individuais de trata-



Gráficos 8 e 9: Dependência de soluções individuais nas áreas rurais do Brasil.

mento. Esta parcela corresponde a uma população maior do que 20 milhões habitantes, que atualmente demandam de alguma forma o manejo do lodo fecal. Outros 26% da população urbana não possuem qualquer sistema de contenção ou coleta de esgoto e, possivelmente, uma parcela considerável desse percentual poderia ser mais eficientemente atendida por sistemas descentralizados.

Dentro do âmbito urbano se faz essencial distinguir os diferentes contextos de ocupação. Os assentamentos precários, que representam uma importante parcela das ocupações urbanas, compreendem favelas, invasões, loteamentos irregulares entre outros. Obter informações sobre a situação do saneamento nesse nicho, incluindo as atuais condições de contenção, coleta,

transporte e tratamento dos efluentes, é ainda mais desafiador do que em relação às demais formas de ocupação devido à sua complexidade e a falta de dados assertivos.

#### 4.1.4 Contexto urbano precário

Por mais que o panorama das condições de saneamento em assentamentos precários seja limitado pela falta de informações, pode-se estimar que a dependência de sistemas descentralizados nestes casos é expressivamente maior do que nas áreas urbanas regulares. Em um trabalho publicado pelo Instituto Trata Brasil em 2016 foi realizada uma pesquisa com 296 moradores de quatro comunidades localizadas em áreas irregulares (três no estado de São Paulo e uma no

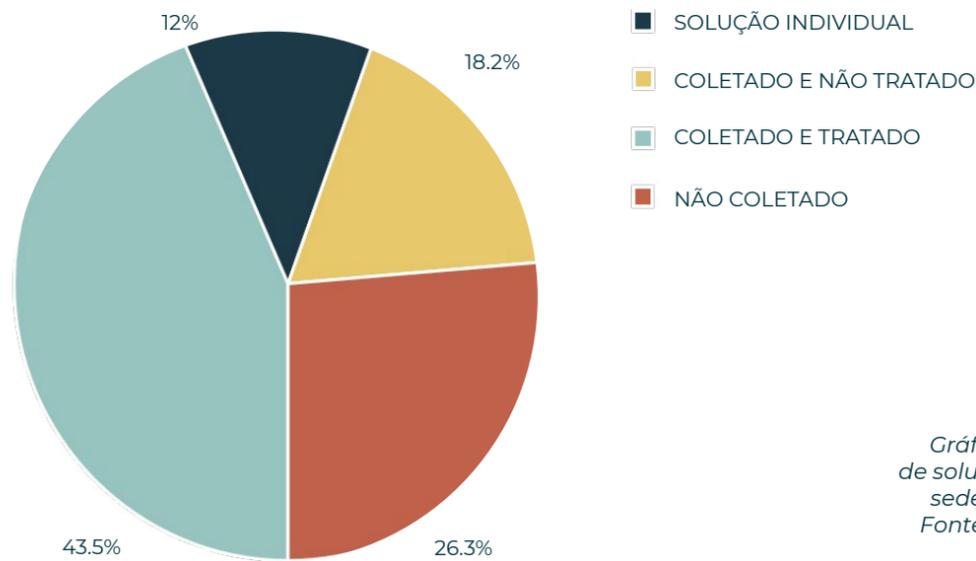


Gráfico 10: Dependência de soluções individuais nas sedes urbanas do Brasil.  
Fonte: adaptado de Atlas Esgotos 2017

Ceará). Os resultados indicam que 53,6% dos casos utilizam fossas rudimentares, 5,3% fossa séptica e sumidouro, e 32,4% da amostragem se refere à ausência de qualquer sistema de contenção ou coleta dos efluentes (Carlos, Filho e Cardoso, 2016). Esses valores evidenciam a grande relevância dos sistemas descentralizados no contexto atual brasileiro, a dimensão do acúmulo de lodo atual pelo país e a necessidade de mecanismos de gestão adequada destes sistemas para que o manejo dos efluentes domésticos sejam efetivamente adequados.

Os dados históricos apresentados pelo PNSR 2019 (sobre contexto rural) e PlanSab 2019 (sobre contexto geral) mostram os avanços restritos em termos de atendimento sanitário adequado ao longo das últimas três décadas. O PNSR

aponta que neste intervalo de 20 anos o percentual de habitantes dependendo de fossas rudimentares subiu de 59 para 64%, em contrapartida a população com fossa séptica reduziu de 26% para 16%, e a parcela que lança os efluentes diretamente em corpos hídricos aumentou de 12% para 16%. Estes resultados são condizentes com o baixo nível de avanço de políticas públicas, regulamentação e modelos de serviço para atender estes contextos (Brasil, 2019b). Complementando este panorama, os dados apresentados pelo PlanSab 2019, indicam um modesto avanço entre 2010 e 2017. Neste período, por mais que se tenha observado uma expansão de atendimento por meio de fossas sépticas de 13,9 para 32%, a dependência de fossas rudimentares ainda é de 48,6% dos domicílios (Brasil, 2019a).

#### 4.2 ANÁLISE SOBRE O NÍVEL DE PREPARO NO BRASIL PARA A GESTÃO ADEQUADA DOS SISTEMAS DESCENTRALIZADOS DE ESGOTO E DO MANEJO DO LODO FECAL

A prestação de serviços, quer por empresas estatais ou privadas, autarquias ou prefeituras, se restringe majoritariamente às sedes urbanas, com frequência deixando fora de sua cobertura as zonas rurais ou urbanas precárias. Seja por desinteresse econômico e baixa pressão do município sobre as metas de universalização das prestadoras de serviço, seja pela complexidade das questões fundiárias que dificultam o atendimento em áreas irregulares, este foco em sistemas convencionais centralizados para os serviços de esgoto resulta em avanços pouco significativos em direção a diferentes modelos estruturais e operacionais na prestação de serviço. Ainda que grande parte da população dependa de soluções individuais, são raros os casos em que as prestadoras de serviço oferecem atendimento adaptado a essa realidade de ocupações de baixa densidade ou em situação irregular, quando muito possuindo um programa de recebimento de lodo em suas ETEs ou campanhas pontuais de saneamento rural.

Esta falta de diversidade dos modelos e a dependência dos sistemas convencionais centralizados contribui significativa-

mente para os avanços lentos em direção à universalização do esgotamento sanitário e para as metas distantes de atendimento. Mas onde está o gargalo para os avanços neste sentido? Falta conhecimento e/ou tecnologia sobre o tema? A legislação atual é impeditiva? Faltam políticas públicas? Os modelos de serviço e regulação tem algo a ver com isso?

##### 4.2.1 Desenvolvimento científico sobre o tema

Uma quantidade considerável de iniciativas vem sendo desenvolvidas pelo Brasil para aprofundar e difundir conhecimentos acerca de soluções descentralizadas de esgoto. Publicações da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), Fundação Nacional de Saúde (Funasa), Universidade Estadual de Campinas (Unicamp), além de outras organizações, vem alimentando um repertório de sistemas acessíveis para tratamento de esgoto nos locais de geração. Além de basear grande parte dos estudos e publicações em tecnologias sociais, com métodos de construção e operação acessíveis tecnicamente e financeiramente, os materiais trazem esforços expressivos para tornar estes conhecimentos mais simples e funcionais em sua aplicação. No entanto, uma questão relevante é que poucas iniciativas no país abordam de forma aprofundada o manejo do lodo fecal, retido

nos sistemas individuais. Ainda que algumas soluções individuais demandem menor manutenção no que diz respeito à remoção de lodo, e que seja possível fazer o manejo adequado no próprio local de geração, para que estes sistemas ganhem escala pelo país é essencial que se tenha modelos de serviço mais eficientes para lidar com o material retido. Especialmente ao reconhecer o potencial destes sistemas como forma de atendimento de centros urbanos de menor densidade, além de urbano precário e contextos rurais. Pelo mundo existem muitas experiências e publicações que abordam os sistemas baseados no manejo do lodo fecal (sob termos em Inglês como *Fecal Sludge Management* ou *Non-sewered sanitation*), mas que acabam aparecendo relativamente pouco nas discussões de saneamento pelo Brasil.

Em termos de produção acadêmica sobre esta temática, o Brasil apresenta um número considerável de investimentos e publicações com foco em saneamento descentralizado. Por outro lado, dentro desta temática, pouco se aborda sobre modelos baseados no manejo do lodo fecal, em comparação com a bibliografia internacional acerca do tema. Estas constatações contribuem para a hipótese de que o gargalo de avanços desta abordagem no país não está necessariamente relacionado à produção de conhecimento no tema, mas talvez na internalização

e conversão destes conteúdos em ações efetivas e nos focos de desenvolvimento. A fim de explorar esta hipótese, ainda que em nível incipiente, o presente estudo incluiu uma análise inicial com relação às publicações sobre o tema no Brasil e no Mundo, apresentada a seguir.

Para verificar o quanto se investe e publica acerca de saneamento descentralizado e manejo de lodo fecal no Brasil em relação aos esforços conduzidos internacionalmente foi feita uma análise bibliométrica acerca desta temática. Para tal, foram utilizadas as bases Web of Science e Periódicos Capes (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), verificando as publicações sobre o tema em inglês e português, respectivamente. Essas plataformas foram selecionadas por concentrarem diversos repositórios internacionais e nacionais de pesquisa. Foram então definidas as palavras chaves mais representativas para o tema de interesse, tanto em português com os termos correspondentes ou relacionados em inglês. Nem sempre há uma correspondência direta entre os termos nos diferentes idiomas, ainda que busquem expressar aproximadamente os mesmos conceitos. Na Tabela 3 foram incluídos termos de suma importância dentro da temática abordada neste artigo, bem como seus correspondentes em inglês.

PORTUGUÊS	INGLÊS
Saneamento descentralizado	<i>Decentralized sanitation</i>
Soluções individuais de esgoto	<i>Non-sewered sanitation</i>
Saneamento ecológico*	-
Saneamento semicentralizado	<i>Semi-centralized sanitation</i>
-	<i>Hybrid sanitation</i>
Lodo de fossa / manejo de lodo fecal / biossólidos	<i>Fecal Sludge Management</i>

\* No Brasil o termo saneamento ecológico é recorrentemente utilizado para se referir a soluções individuais de esgoto que se utilizam de diferentes processos biológicos (bactérias, protozoários, vermes, algas, plantas etc.) de tratamento, sem muita dependência de sistemas intensivos de aeração e aplicação de insumos. Internacionalmente, embora exista um termo parecido "*nature based solutions*" (também aplicado no Brasil, como soluções baseadas na natureza) este termo é mais amplo, se aplicando também, por exemplo, a soluções de manejo de águas pluviais. Ao mesmo tempo na vasta maioria dos casos, saneamento ecológico é referido a sistemas descentralizados ou individuais de saneamento, que possuem correspondências diretas com termos em inglês. Termos como WASH (abreviação de Água Saneamento e Higiene) são amplamente utilizados internacionalmente como uma abordagem mais geral e integrada que engloba soluções para contextos precários e desatendidos pelos modelos convencionais, mas ainda não há algo correspondente utilizado no Brasil.

Tabela 3: Termos especializados considerados

Após essa busca inicial foi realizada uma exclusão de obras por meio da análise do título e do resumo para garantir um levantamento assertivo. Em seguida, foi realizado um levantamento do número de obras por ano (a partir do ano 2000) para cada termo, compondo um histórico evolutivo de atenção do meio científico ao tema (Gráfico 11).

Os resultados obtidos mostram uma diferença expressiva no montante de publicações em língua inglesa e portu-

guesa. Os termos com mais produção científica são referentes à "*decentralized sanitation*", "*non-sewered sanitation*" e "*fecal sludge management*". Em português os focos mais elaborados são referentes a pesquisas sobre saneamento ecológico e aplicação de biossólidos de estações de tratamento de esgoto centralizadas na agricultura.

Para o termo que apresentou o maior número de resultados na pesquisa, "*decentralized sanitation*", foram levantadas informações a respeito dos países com

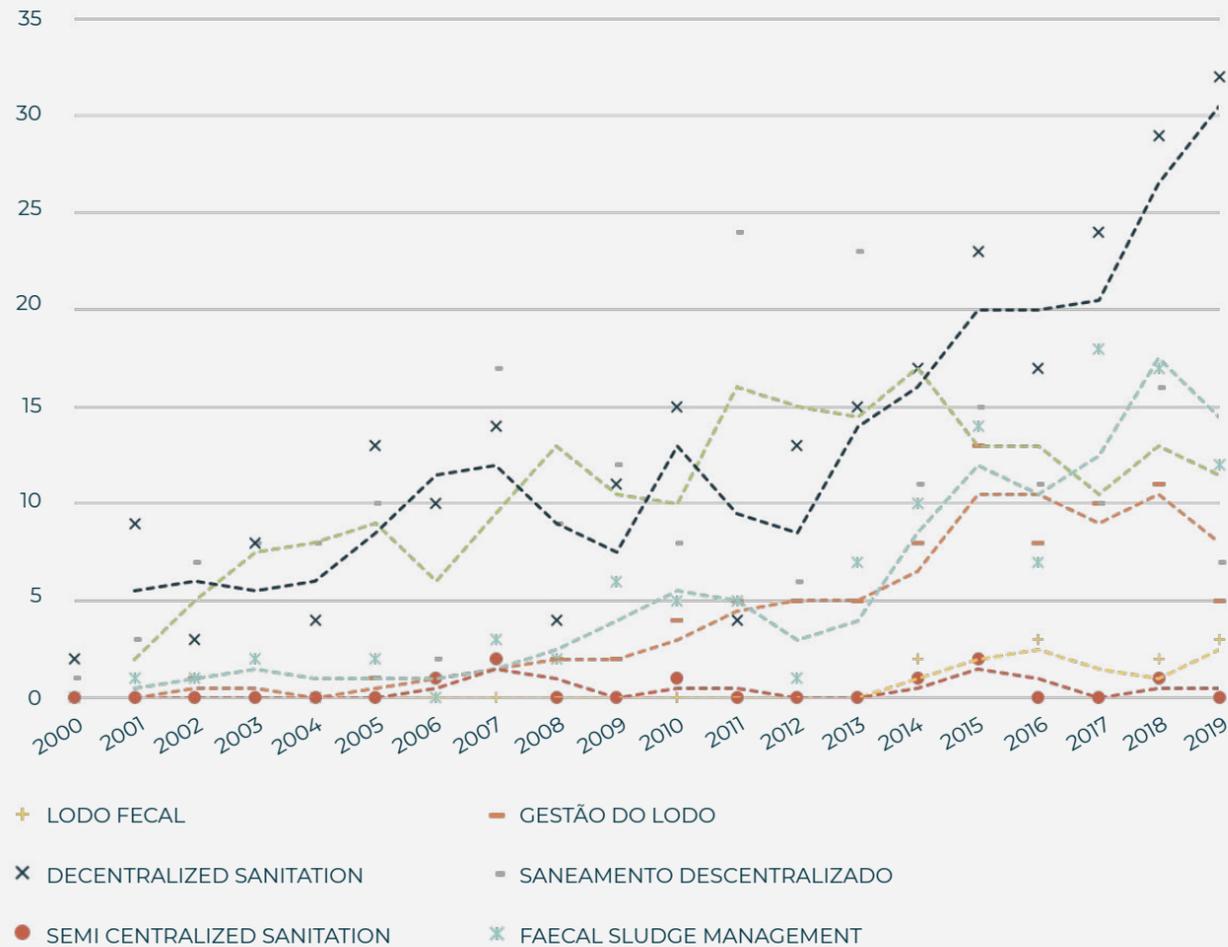


Gráfico 11: Evolução das publicações científicas nacionais e internacionais sobre o tema

maior índice de publicação e dos principais financiadores de pesquisa (Gráfico 12). O Brasil apareceu como um dos países com maior produção científica, sendo a FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e a Finep (Financiadora de Estudos e Projetos) as principais financiadoras nacionais. É importante de se ressaltar que, por mais que o Brasil apresente um número elevado de publicações ligadas ao termo “decentralized sanitation”, a língua surge aqui como um dos obstáculos na

internalização deste conteúdo no país. Os dados apresentados não levam a uma conclusão sobre o nível de desenvolvimento científico do Brasil neste tema, mas mostram uma desconexão entre as iniciativas já desenvolvidas e o quanto disso é internalizado e utilizado em direção ao desenvolvimento em escala do saneamento inclusivo.

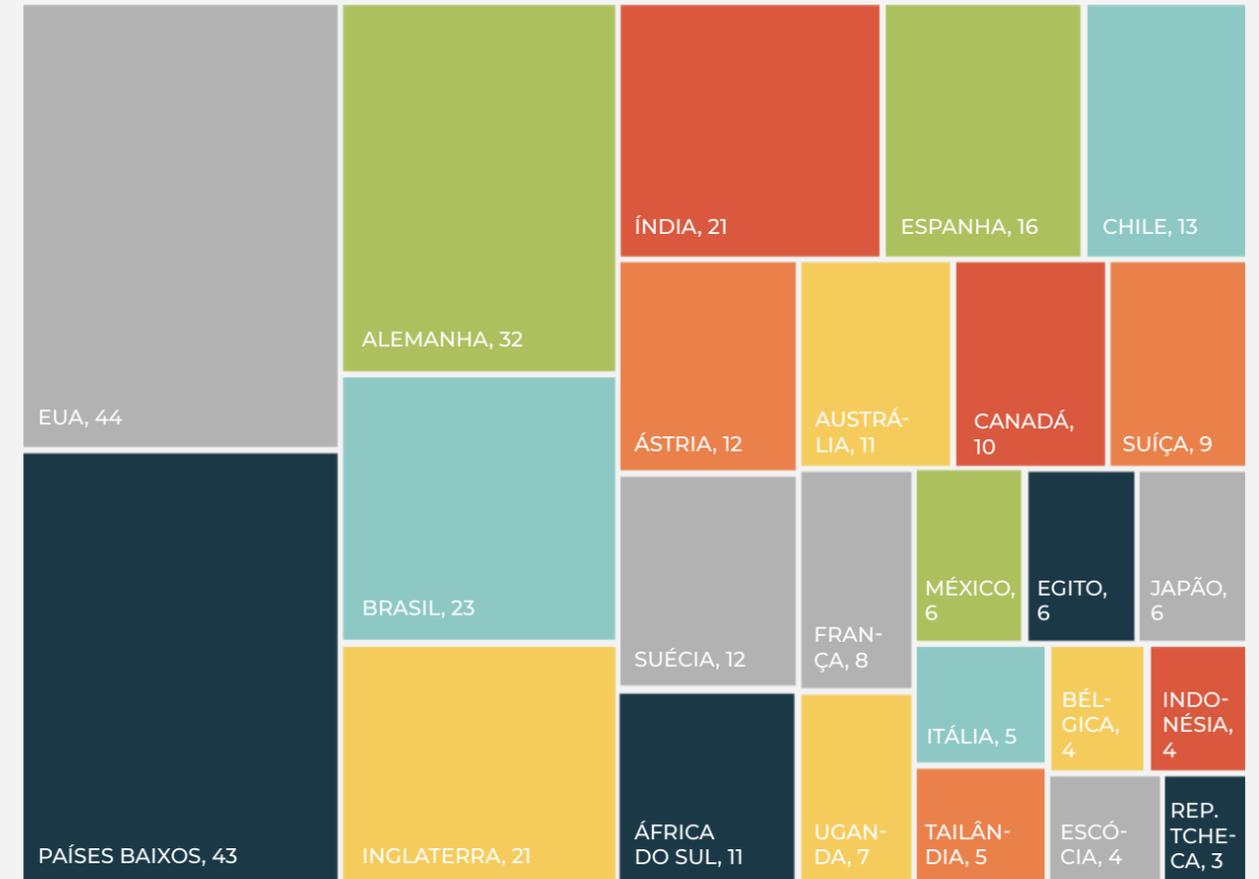


Gráfico 12: Número de publicações sobre “decentralized sanitation” pelo Mundo

#### 4.2.2 Legislação Nacional

No que diz respeito a legislação, a Lei 11.445, de 5 de janeiro de 2007 estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico, dispendo sobre sua política nacional. Com vistas à execução desta política, a referida Lei é regulamentada pelo Decreto 7.217, de 26 de junho de 2010, o qual dispõe sobre as formas, prazos e modelos para concretização das diretrizes nacionais de saneamento básico. Desse arcabouço

jurídico, tido como o marco regulatório do saneamento básico no Brasil, pode-se identificar alguns pontos importantes acerca dos sistemas descentralizados de esgoto. Estes marcos atribuem responsabilidades executivas aos titulares municipais e indicam a importância de soluções adequadas aos contextos rurais e periurbanos, atribuindo a definição de soluções aos Planos Municipais de Saneamento Básico (PMSB). Ainda assim, a maneira como a Lei e o Decreto abordam as formas de

atendimento de esgoto influenciam a prevalência da abordagem de sistemas centralizados dependentes de redes públicas de coleta.

A legislação faz referência a sistemas individuais como qualquer solução de saneamento que atende à apenas uma unidade de consumo. Assim como levantado nos capítulos anteriores, e defendido também em Tonetti et al (2018), há uma variedade de arranjos de atendimento que não são necessariamente centralizados ou unifamiliares, e que, portanto, não são necessariamente representados na legislação.

De acordo com o Item XXIX do Artigo 2 do Decreto, soluções individuais de manejo de esgoto que não dependam de serviço de terceiros não constituem serviços públicos. Por outro lado, indica que os serviços públicos podem ser efetivados por meio de operação, controle ou disciplina de fossa séptica e outras soluções individuais. Também neste sentido, o Artigo 9 da Seção III do Decreto pauta sobre a disposição final do lodo proveniente de unidades de tratamento de esgoto coletivas e individuais.

Já no Artigo 11 da Seção III do Decreto, é definido que edificações urbanas permanentes devem ser conectadas à rede pública de coleta de esgoto (com exceções específicas), porém, indicando que, na ausência de rede de coleta, serão admitidas soluções individuais.

Esta formulação expressa a priorização generalizada de sistemas centralizados para as áreas urbanas, independente das condições locais. O artigo 45 da Lei induz a priorização da rede para áreas urbanas em geral, deixando as soluções individuais para casos de ausência de rede, ao invés de orientar que a forma de solucionar a questão seja avaliada previamente, podendo ser resolvida tanto com sistema de rede de coleta como por sistemas descentralizados baseados na gestão do lodo fecal.

Outro importante ponto definido pela legislação é a definição dos Planos Municipais de Saneamento Básico como ferramenta norteadora para a definição de soluções e implementação do saneamento pelos titulares municipais. Se por um lado essa estratégia confere maior potencial para a definição de soluções mais adaptadas às condições locais, a falta de planos de qualidade e amparo técnico para execução do planejamento expõe os pequenos avanços dos municípios. Sem embasamento e caminhos consolidados para a definição de modelos descentralizados e baseados na gestão do lodo, a prestação de serviço pelos meios convencionais, restritos aos centros urbanos, seguem como referência unânime ao atendimento oficial de esgoto. Para avançar eficientemente em direção à universalização, as especificidades locais têm de ser consideradas

e as soluções selecionadas estrategicamente diante destes contextos.

#### 4.2.3 Políticas públicas

Do ponto de vista de política pública, considerando o arranjo de governança e o arcabouço legal relacionado ao saneamento no Brasil, há fortes indícios de uma falta de atenção para as formas de atendimento que não são incluídas no modelo convencional, dependente de redes de coleta e estações centralizadas de tratamento de esgoto.

Enquanto a versão de 2013 do PlanSab já trazia abordagens e diretrizes para fortalecer o saneamento em contextos desatendidos de forma sustentável e inclusiva, poucos avanços foram obtidos, conectando as orientações a ações e práticas. O PNSR indica a falta de políticas públicas de saneamento para o contexto rural, indicando a pouca efetividade dos esforços efetuados na década de 80 com o Plano Nacional de Saneamento Rural e na de 90 com o Programa de Saneamento Rural (Pro-Rural). Em 2013 o PlanSab trouxe a relevância de um programa específico para estes contextos, mas apenas em 2019 foi lançado o PNSR (Brasil 2013).

Em relação à nova revisão do PlanSab, com versão para consulta pública lançada em 2019, há importantes premissas para que o saneamento seja

implementado para todos, de forma sustentável e respeitando as condições locais, mas com avanços ainda modestos em relação ao saneamento descentralizado e ao manejo do lodo fecal. Na avaliação das condições atuais do Brasil, o PlanSab inclui os sistemas individualizados de esgoto como formas de atendimento e traz a importante distinção entre atendimento adequado (como fossas sépticas) e inadequado (como fossas rudimentares) (Brasil, 2019a).

No entanto, não é considerado como requisito de atendimento o manejo adequado do lodo fecal, retido nos sistemas de tratamento individuais. A única referência a este manejo no plano aparece na parte prognóstica do documento, que define no Programa 3 (estruturante) a ampliação da coleta e tratamento de lodo dos sistemas individuais, mas sem detalhamentos ou diretrizes orientando como viabilizar este avanço. Com relação à validade de sistemas individuais como formas apropriadas e oficiais de atendimento, a nova revisão do PlanSab considera, em seu capítulo 7 sobre necessidades de investimento, que grande parte do atendimento de esgoto no Brasil, especialmente em municípios de pequeno porte, será feito por meio de soluções individuais, destacando inclusive que este tipo de solução tem custo inferior aos sistemas com redes de coleta (Brasil, 2019a).

#### 4.2.4 Regulação e prestação de serviço

Com relação à regulação e prestação de serviço, um forte indício da concentração dos esforços em sistemas centralizados e do despreparo para as demais formas de atendimento pode ser percebido através dos indicadores de acompanhamento do esgotamento sanitário utilizados, como por exemplo pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). Os valores de atendimento e cobertura geralmente se referem às populações com acesso às redes de coleta, com informações complementares à extensão das redes. Todavia, não há referência, por exemplo, aos domicílios atendidos por sistemas individuais, qual o tipo de sistema individual, a frequência e forma de remoção e encaminhamento do lodo, o pessoal e equipamentos empregados no serviço de limpeza das fossas e a estrutura necessária para lidar com o lodo coletado.

Comumente as estações de tratamento de esgoto operadas pelo município ou prestadoras de serviço recebem o lodo de fossas sépticas coletados por empresas de limpeza de fossas. No entanto, fora esta ação que ocorre geralmente de forma não coordenada, são raros os casos em que as prestadoras de serviço e/ou agências reguladoras estendem

seus escopos para os sistemas individuais de esgoto e atividades de coleta, transporte e tratamento do lodo.

De acordo com ProSab (2009), são poucos os municípios que possuem sistemas adequados de manejo do lodo fecal (coleta, transporte, tratamento e disposição final). Sendo os moradores os responsáveis pela instalação dos sistemas individuais e pela contratação de serviços de limpeza das fossas, é muito recorrente a construção de sistemas inadequados e disposição inapropriada dos lodos retidos, seja pela indisponibilidade de serviços na localidade ou elevado custo dos mesmos. Assim, modelos de prestação e regulação, acompanhados de medidas normativas e monitoramento, são essenciais para avançar com o saneamento.

Fazendo um levantamento dos casos de aplicação no Brasil, foi identificada uma única iniciativa publicada de regulação da prestação de serviço, em que houve uma adaptação dos serviços para viabilizar o atendimento de sistemas descentralizados de esgoto com maior qualidade. A fim de assimilar o manejo do lodo fecal no escopo de atendimento da prestadora de serviço, foi conduzido um amplo estudo pela Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), verificando modelos de operação e negócio para viabilizar esta forma de atendimento.

Diante da grande quantidade de

áreas rurais pelo estado do Rio Grande do Sul e da ineficiência e elevado custo dos sistemas previamente existentes de manejo do lodo fecal, a companhia se preparou para realizar a limpeza programada dos sistemas individuais de esgoto. Com este complemento às formas de atendimento da operadora, as atividades de coleta e transporte do lodo passa a ser realizada regularmente pela própria CORSAN, dos domicílios às estações de tratamento (podendo contar também com terceiros e credenciados). A periodicidade inicial de coleta considerada é anual, podendo estender este período para casos em que solução individual comprovadamente suporte uma menor frequência de coleta.

Em novembro de 2019 foi aprovada a regulamentação da limpeza programada pela Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul (AGERGS). A fim de disciplinar o manejo do lodo dos sistemas individuais, a agência determinou que este serviço poderá ser oferecido aos municípios que definirem estas soluções individuais como forma de serviço de esgotamento sanitários em seus respectivos PMSBs. O regulamento requer inclusive que seja definido no PMSB se a abrangência desta solução será parcial ou integral do município, e se constitui uma medida permanente ou transitória (AGERGS, 2019).

Iniciativas análogas a esta, mas com maior foco no abastecimento de água até o momento, já vem sendo desenvolvidas há algum tempo no Brasil, como o SISAR (Sistema Integrado de Saneamento Rural) no Ceará e Piauí e a CENTRAL (Central de Associações Comunitárias para Manutenção de Sistemas de Saneamento) na Bahia.

O SISAR surgiu com o apoio da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (CAGECE), buscando um formato que viabilizasse o atendimento dos contextos rurais de forma adaptada e em escala. Neste modelo, há uma integração estratégica dos serviços do SISAR com as associações locais. Enquanto o SISAR fica responsável pela manutenção mais especializada dos sistemas e pelos processos de capacitação, as associações locais fazem o gerenciamento e operação cotidiana dos sistemas (Neto, 2011). Nestes casos, as formas de atendimento e operação foram adaptadas às condições locais até que se fizessem viáveis e com maior qualidade. Da mesma forma que as experiências obtidas por este modelo servem de referência para o esgotamento sanitário, estas mesmas iniciativas precisam ser aprimoradas para incluir o manejo adequado dos efluentes.

## CASOS DE APLICAÇÃO

AMPLIANDO O HORIZONTE DE FORMAS DE ATENDIMENTO

# 5.

Diversas iniciativas a nível mundial vêm demonstrando diferentes formas de promover os avanços do saneamento de forma inclusiva e trazendo efeitos expressivos em direção à universalização deste serviço. Acometidos por graves problemas relacionados à falta de sistemas adequados de esgoto, países sub-desenvolvidos e em desenvolvimento como Índia, Filipinas, Indonésia, Quênia, Haiti e Peru, entre outros pelo mundo, têm dedicado maior atenção a diferentes formas de oferecer atendimento adequado de esgoto. Por meio de ações estruturantes, como políticas públicas, arranjos institucionais, modelos de regulação e abordagens de planejamento, e ações estruturais, que compreende modelos de serviço, formas de atendimento inclusivo e tecnologias, diferentes iniciativas vêm demonstrando a importância de sistemas descentralizados e baseados no manejo do lodo fecal.

Percebendo que essas soluções são, em grande parte dos contextos desatendidos, mais viáveis tecnicamente e financeiramente do que sistemas convencionais de esgoto, diferentes organizações vêm dedicando grandes esforços em aprimorar conhecimentos, tecnologias, modelos de negócios e políticas públicas, a fim de possibilitar ou agilizar o atendimento de comunidades isoladas. Para ilustrar estes avanços, que são de grande valia para o cenário brasilei-

ro, são abordados neste capítulo alguns casos de aplicação pelo mundo, no que diz respeito a formulação de políticas públicas e planejamento e de modelos para a prestação de serviço de esgoto.

### 5.1 CASOS DE POLÍTICAS PÚBLICAS E MEDIDAS DE PLANEJAMENTO

#### 5.1.1 A experiência da Índia com o Swachh Bharat Mission

(Kent, Li, e Frank, 2013; Índia, 2016; Dandabathula et al, 2019)

Em outubro de 2014 foi lançado, pelo Primeiro-ministro da Índia, o programa *Swachh Bharat Mission*, com o propósito de impulsionar os avanços em relação a higiene e saneamento pelo país. Essa política pública nacional tem como objetivo propiciar uma Índia limpa e livre de defecação a céu aberto, com incentivo e implementação em massa de banheiros e estimulando o aprimoramento dos sistemas de manejo dos efluentes domésticos. Este é um problema que acomete grande parte da população do país, atingindo, em 2015, mais de 500 milhões de pessoas, inclusive nas cidades. O programa trouxe como meta uma série de diretrizes a serem cumpridas até outubro de 2019, em tributo e celebração do aniversário de 150 anos do nascimento de Mahatma Gandhi. Esta ação nacional, que mobilizou forte-

mente governos estaduais e municipais, empresas e população civil, dinamizou significativamente o cenário do saneamento no país, promovendo importantes avanços tanto na erradicação da defecação a céu aberto, como no desenvolvimento de novos modelos e serviços de saneamento.

Desde o início da década de 1980, o governo nacional da Índia vem apresentando diferentes políticas e projetos para lidar com questões relativas ao saneamento básico. Inicialmente estas ações tiveram como foco o abastecimento de água para, em seguida, englobar ações voltadas ao esgotamento sanitário, como a construção de banheiros de baixo custo para comunidades precárias, propagação de modelos comunitários de saneamento, além de difusão de elementos de planejamento como planos municipais de saneamento.

Em 2010 foi lançado um programa de reconhecimento de municípios e comunidades que atingissem condições mais avançadas de saneamento, com o prêmio *Nirmal Shahar Puraskar - Clean City Award* (Prêmio Município Limpo, em tradução literal do inglês). Resultados significativos foram obtidos, com estados e municípios desenvolvendo seus planos de saneamento para lidar com as questões enfrentadas. Contudo, ao longo do tempo identificou-se uma restrição do impacto do programa, pela fal-

ta de recursos para viabilizar a execução das ações planejadas nas localidades. Neste contexto, o *Swachh Bharat Mission* aparece como um dos maiores e mais impactantes esforços no avanço do saneamento no país, focando na eliminação da defecação a céu aberto, aumento do acesso à serviços de saneamento básico adequado e limpeza urbana.

O *Swachh Bharat Mission* possui dois eixos de ação: o primeiro voltado aos contextos urbanos e o segundo aos contextos rurais. Sua atuação tem como prioridade empoderar os governos estaduais para que apliquem novos modelos de saneamento e implementem campanhas de conscientização e mudanças de hábitos da população. Dentro do programa, foram propostas novas e diferentes formas de financiamento para novas estruturas de saneamento. Uma dessas propostas é o Fundo *Swachh Bharat*, onde os recursos são obtidos a partir da política de responsabilidade social corporativa (“Corporate Social Responsibility Act”), onde 2% do lucro líquido das empresas privadas nos três anos anteriores devem ser direcionados para o desenvolvimento comunitário.

Ao longo dos anos de sua implementação, o programa vem trazendo rankings de evolução entre estados e municípios, a fim de trazer uma competitividade saudável entre os mesmos, com intuito de motivar ações nas dife-

rentes localidades. Além dessa estratégia de estímulo para promover as mudanças almejadas, utilizou-se também da participação da indústria do entretenimento, com participação de atores de famosos da indústria de cinema indiana - Bollywood. Em contrapartida, é importante de se mencionar que essa corrida por avanços levou também a medidas pouco saudáveis para a mudança de hábito, como o uso de envergonhamento social para desmotivar a defecação a céu aberto.

De acordo com Dandabathula et al. (2019), a construção de mais de 95 milhões de banheiros desde 2014 surtiu resultados significativos para saúde pública na Índia. Casos de diarreia, por exemplo, que estão diretamente correlacionados com as práticas de defecação a céu aberto, vem apresentando uma queda significativa. No período entre 2010 e 2018, o número de casos anuais reduziu expressivamente, em especial no período de pico que ocorre no verão.

Atualmente, há um grande engajamento dos departamentos responsáveis pela implementação das diretrizes do governo, seja no âmbito nacional, como no estadual, atuando junto com diferentes organizações especializadas no tema. E, dentro deste engajamento, está também o fortalecimento de serviços privados e/ou comunitários para efetuar as etapas de coleta, transporte,

tratamento e reuso do lodo fecal. Tais ações buscam reparar um déficit histórico de poucos projetos voltados para o saneamento no país, seja pela baixa capacidade municipal de lidar efetivamente com o problema e propor formas de resolvê-lo, seja pela baixa qualidade das ideias propostas, baseadas muitas vezes em soluções insustentáveis.

### 5.1.2 A experiência das Filipinas com o *National Sewerage and Septage Management Program* (Robbins, Strande e Doczi, 2012)

Em 2012 foi desenvolvido um estudo pela RTI International em parceria com a Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology (EAWAG), é retratado um contexto em que a contaminação da água subterrânea por esgoto se mostra crítica, inclusive com ocorrências crônicas de cólera. Em junho de 2012 o Governo das Filipinas aprovou o Programa Nacional de Esgotamento e Manejo Sépico, em inglês “*National Sewerage and Septage Management Program*” (NSSMP), algo inédito no sudeste Asiático. Esse programa define um apoio financeiro de 40% dos custos para implementação de sistemas de coleta de esgoto, além de lançar um programa nacional de difusão de sistemas adequados de manejo de lodo fecal e das vantagens da remoção programada e regular de lodo. Para

a parte do saneamento descentralizado e manejo de lodo fecal, o governo nacional não oferece apoio financeiro, uma vez que são sistemas expressivamente mais baratos de se implementar e que podem contar com arranjos entre município, empresas e usuários finais. Ao reconhecer as limitações de capacidade e boa vontade nas municipalidades, o programa inclui ações de capacitação e treinamento para os responsáveis locais. Em 2012, o país contava com casos de manejo adequado de lodo, mas ainda não possuíam replicação em escala.

Com relação à configuração institucional para implementação e operação dos sistemas, cada caso teve um arranjo buscando a sustentabilidade do manejo do lodo fecal. Na cidade de Dumaguete, a prestadora de serviço pública é responsável pela coleta, transporte e cobrança do lodo, enquanto o município fica responsável pelo tratamento e reuso do lodo. Já em San Fernando City, a implementação e operação dos sistemas contou com a participação de empresas privadas, por meio de licitações para construção, bem como contratos para coleta e transporte do lodo. No leste de Manila, uma empresa privada recebeu a concessão do governo nacional para operação dos sistemas.

Com relação aos modelos de negócio, cada um dos quatro casos possui configurações distintas. Dumaguete

conta com um sistema de tarifa baseado no consumo de água, cobrando pelo serviço de gestão do lodo 0,05 USD por metro cúbico de água consumida. Os serviços de esgoto e gestão do lodo em Manila são sustentados com a cobrança equivalente a 20% à conta de água. Já no caso de San Fernando a cobrança pelo serviço é feita por meio de taxa sobre o imóvel, sendo um valor fixo para todos os proprietários.

Este artigo reconhece que o modelo de Dumaguete é o que propicia maior equidade, trazendo contas mais baixas aos menores consumidores. Com relação a outras fontes de recursos para sustento da operação o estudo cita o valor da recuperação de recursos dos bio sólidos. Os quatro casos fazem reuso deste material na agricultura podendo abater parte dos custos operacionais dos sistemas com os recursos provenientes da venda. O estudo ressalta que o sucesso de um programa de manejo de lodo fecal é uma função do número de domicílios e edificações que aderem ao sistema. A maximização da participação da população ao programa pode ser feita por meio de campanhas de promoção, incentivos e/ou pela articulação entre prestadores de serviços e líderes comunitários. Esforços neste sentido são essenciais, uma vez que é comum haver resistência, não apenas pelo desinteresse em pagar, mas pelos

procedimentos necessários para coleta do lodo. E de fato, a prestadora de serviço em Manila vem enfrentando uma taxa de adesão de apenas 50% em algumas localidades.

Em outros locais de Manila, no entanto, pelo emprego de estratégias eficientes de engajamento com a população, a taxa de aderência chega a 95%, como é o caso de Marikina City. Essa estratégia leva em conta a efetividade do sentimento de pertencimento e satisfação dos locais, além de ações embasadas em evidências práticas. E, para tanto, desde cedo o programa utilizou de processos de engajamento, associando a participação da população local com a melhoria na qualidade ambiental do rio Marikina. O sucesso do programa nesta localidade pode, portanto, ser associado às campanhas de engajamento citadas com as próprias atividades de coleta de lodo e com o fortalecimento da regulação. Evidências coletadas no caso de Dumaguete mostram que após um período de mobilização local, que surtiu em elevada participação da comunidade no programa, os esforços para engajamento cessaram em 2011, e houve uma queda expressiva na adesão da população, caindo para até 40%. Este fato está relacionado com a grande relevância do engajamento local para os avanços efetivos do atendimento adequado dos serviços de esgoto.

## 5.2 MODELOS PARA PRESTAÇÃO DE SERVIÇO

Novos modelos de prestação de serviço se aplicam às diferentes etapas da cadeia do saneamento, a serem aplicados dependendo das demandas e desafios locais. Assim como pautado por Rao (2017), as variações de negócios se distribuem pelas seguintes categorias:

- Modelos de provisão de banheiros, soluções individuais de saneamento e recuperação de recursos no local
- Modelos para coleta e transporte do lodo fecal retidos nas soluções individuais
- Modelos conectando a coleta e transporte do lodo com tratamento
- Modelos focando em recuperação de recursos no fim da cadeia de serviço
- Modelos que englobam integralmente a cadeia de serviço.

Algumas iniciativas pelo mundo vêm demonstrando como as formas de atendimento podem ser planejadas e implementadas de forma mais acessível e sustentável diante das condições locais existentes. Enquanto as perspectivas de atendimento por modelos convencionais são distantes ou inexistentes para grande parte dos contextos de ocupação, formatos mais flexíveis e de baixo custo vem apresentado elevada eficiência em cumprir os propósitos do saneamento, inclusive para recuperação de

recursos e desenvolvimento local. Casos de aplicação pela Ásia, África e América Latina vem trazendo diferentes modelos de serviços, integrando efetivamente o engajamento local com novos negócios sociais e alternativas tecnológicas, seja em escala municipal ou comunitária.

### 5.2.1 Modelos baseados em sistemas descentralizados e no manejo de lodo fecal

(Dewhurst et al; 2019; BORDA, n.d.; Kristina Egge e Sahana Goswami, 2018; Dangol e Rajbhandari, 2017; Shrestha, Dangol e Rajbhandari, 2017)

Dentre as diversas aplicações pela Ásia, dois exemplos efetivados, na Índia e no Nepal, demonstram como sistemas descentralizados e baseados no manejo de lodo fecal podem propiciar elevado grau de eficiência com baixos custos de implantação e operação, inclusive em grande escala e municípios inteiros. Com esforços voltados para o fortalecimento da regulamentação, desenvolvimento de novos modelos de negócios, arranjos institucionais e soluções tecnológicas para a cadeia de aplicação do saneamento, estes dois projetos validaram novas formas de atendimento com prazos e recursos muito menores do que os sistemas convencionais, impulsionando a replicação destas soluções para outras localidades. Estes são os

casos das cidades de Devanahalli, na Índia, e de Lubhu, no Nepal.

Um dos principais casos de aplicação de sistemas baseados no manejo de lodo fecal na Índia, o projeto piloto realizado no município de Devanahalli, possibilitou o atendimento de uma população municipal de aproximadamente 30 mil habitantes e foi um importante passo para iniciar e acelerar os trabalhos com saneamento em outras localidades do país. Seu objetivo era aprimorar a performance e segurança dos sistemas individuais de saneamento. Realizado ao longo de 39 meses (entre 2013 e 2017), o projeto teve como fonte principal de financiamento a fundação Bill and Melinda Gates Foundation (BMGF), contando com um aporte de 1,4 milhões de dólares (USD). Os principais atores envolvidos neste projeto foram o Conselho Municipal de Devanahalli e as organizações especializadas da Índia, a *Consortium for DEWATS Dissemination Society (CDD Society)*, e da Alemanha, a *Bremen Overseas Research and Development Association (BORDA)*.

A situação de Devanahalli se assemelhava a muitos dos contextos de comunidades isoladas sem atendimento pelo mundo, inclusive do Brasil, onde houve um crescimento acelerado sem condições apropriadas de infraestrutura e sem previsão de extensão das redes de coleta para atendimento do lo-

cal. Diante destas condições o projeto definiu esta localidade como piloto para um sistema de baixo custo e fácil operação e manutenção, capaz de manejar o esgoto de uma cidade inteira. O projeto implementado focou em dois pontos de ação principais: desenvolvimento do projeto com a construção e operação de estação de tratamento de lodo fecal; e definição do modelo de gestão, incluindo os aspectos financeiros, para que o sistema se mantenha sustentável e viável ao longo do tempo.

O sistema de tratamento, operado pela gestão municipal, funciona por gravidade (sem a necessidade de bombeamento entre as etapas de tratamento) e com baixos custos operacionais, e é composto por diversas etapas para lidar com o lodo fecal coletado nos sistemas individuais. A estação tem capacidade para atender 30 mil habitantes, com frequência de coleta de quatro anos e ocupa uma área de apenas 650 m<sup>2</sup>. A definição do sistema e do layout levou em conta a integração com o paisagismo, se preocupando com a questão estética para elevar sua aceitabilidade. O material entra na estação sendo despejado em um tanque de alimentação e equalização, de onde saem duas linhas de tratamento: a linha de lodo adensado e a linha líquida.

A primeira é composta por um biodigestor chinês (com produção de biogás),

seguida por um tanque de estabilização para aprimorar a separação de sólidos e líquidos, de onde a parte líquida segue para a linha de tratamento do líquido e a parte sólida segue para leitos de secagem (o líquido lixiviado nesta etapa também segue para a linha de tratamento do líquido). Após a secagem o material é compostado junto a resíduos sólidos orgânicos e encaminhado para reuso em agricultura. A linha líquida de tratamento é composta por uma fossa compartimentada integrada com filtro anaeróbio, seguida de filtro percolador plantado e infiltração no solo.

Com relação ao modelo de gestão, o projeto ajudou a apoiar no desenvolvimento e estrutura regulatória para esta forma de atendimento, incluindo diretrizes e mecanismos de acompanhamento para as diferentes etapas do sistema: soluções individuais de contenção/tratamento local; serviços de coleta e transporte do lodo (regulação e licenciamento para prestadores privados); e tratamento e reuso dos efluentes. Além destes aspectos, a regulação incorporou um modelo apropriado de taxas vinculadas aos domicílios para sustentar a operação do sistema.

O sucesso obtido neste caso levou a BMGF a estender os investimentos a mais sistemas municipais de saneamento nestes moldes, a fim de atender mais 150 mil habitantes na Índia, Butão, Ban-

gladesh e Nepal. Os resultados obtidos pelo projeto validam o potencial destes sistemas, com capacidade de ajudar no atendimento de outros sete mil municípios pela Índia, com população correspondente de 300 milhões de habitantes, até o ano de 2030.

Outro importante caso de implementação, agora no Nepal, é o sistema de manejo de lodo fecal aplicado em Lubhu, no município de Mahalaxmi. Além de constituir o primeiro sistema adotado no Nepal, o caso é um exemplo de como essa forma de atendimento pode ser implementada mais rapidamente e de forma mais adaptada às condições locais. Esta iniciativa, prevenindo uma estação de tratamento de lodo, surgiu para lidar com o material retido em sistemas emergenciais de contenção, instalados nos assentamentos temporários feitos após o grave terremoto que atingiu a região em abril de 2015. Os assentamentos concentravam nesta região em torno de 500 habitantes, e a estação foi planejada para lidar com, além dos efluentes dessa população, o esgoto de domicílios da região, totalizando 2.365 unidades. Para garantir capacidade para esta contribuição, a estação foi dimensionada para lidar com 6 m<sup>3</sup> de lodo por semana.

Este projeto foi iniciado em 2016, com a parceria entre BORDA, CDD Society e a *Environment and Public Health*

*Organization* (ENPHO), que contribuíram com suporte técnico, financeiro e de logística. Além destes atores, a municipalidade ofereceu suporte de liderança e institucional para o projeto, e um orfanato ofereceu um terreno para a construção da estação, em troca de composto para produção de alimentos.

A estação de tratamento foi construída com peças pré-fabricadas, em 45 dias, e ocupando uma área de apenas 300 m<sup>2</sup>. O sistema executado é composto por um tanque de alimentação, dois biodigestores (chineses) em sequência, seguido de tanque de estabilização e leito de secagem plantado. Uma vez que a parte líquida passa pelo tanque de alimentação, tanque de equalização e lixiviado do leito de secagem plantado, ela segue para a fossa compartimentada integrada com filtro anaeróbio e filtro percolador plantado. O composto do leito de secagem plantado e a água tratada proveniente do sistema seguem para o plantio de alimentos, enquanto o biogás dos biodigestores segue para uso na cocção de alimentos. A eficiência do tratamento da água lixiviada atinge valores acima de 85% para remoção de matéria orgânica, 70% para remoção de fósforo total e 55% de nitrogênio total.

O processo de implementação do projeto iniciou com a articulação das municipalidades e atores locais, além do levantamento de dados para estimativa

da geração de lodo fecal na região (volume comum das fossas e geração média diária de lodo). Junto a estes movimentos, a busca por terra para a construção da estação foi um grande desafio, devido à baixa disponibilidade de áreas livres e a restrições com relação a aceitação pública do projeto. Neste momento, a parceria com um orfanato apareceu como uma grande oportunidade, na qual o espaço cedido é retribuído através do composto gerado no processo que é encaminhado para o cultivo de alimentos para consumo próprio e com venda do excedente de alimentos no mercado. Trata-se de um importante demonstrativo de como estes sistemas podem ser integrados às condições locais sem geração de odores ou outros possíveis desconfortos (estéticos, por exemplo).

### 5.2.2 Modelos baseados em sistemas de contenção seca dos dejetos

(Dangol e Rajbhandari, 2017; Shrestha, Dangol e Rajbhandari, 2017; SANERGY, n.d; O’Keefe et al; 2015; Rao et al; 2016; SOIL, n.d.)

Outras iniciativas vêm apresentando soluções adaptáveis inclusive para situações de extrema complexidade de atendimento, seja pela dificuldade de acesso físico, baixa renda da população local, indisponibilidade hídrica e elevados riscos de inundação ou alto nível da água

subterrânea. Reconhecidos como sistemas baseados em containers (tradução literal de “container based solutions”), estas formas de atendimento independentem de redes de coleta ou de serviços de limpa fossa, envolvendo métodos mais práticos de contenção e transporte das fezes e urina, contando também com engajamento comunitário. São sistemas flexíveis, adaptáveis e modulares (Russel et al., 2019).

Assim como sistematizado por Dewhurst et al. (2019), há mais de cinco organizações aplicando estes sistemas, com casos pela Ásia, África e América Latina, atuando desde 2011 no atendimento de domicílios em situação de baixa renda com sistemas que preveem inclusive a recuperação de recursos como forma de viabilizar os serviços. Estes são os casos do: *Sanergy*, atuante no Quênia; *Clea Team*, em Gana; *Loowatt*, em Madagascar; *Sanitation First*, na Índia; *Soil*, no Haiti; e *X-Runner*, no Peru. Alguns destes casos serão detalhados neste trabalho.

Mukuru, localizado na cidade de Nairóbi (capital do Quênia), é um assentamento precário com altíssima densidade de ocupação horizontal. Grande parte dos domicílios no local não possuem instalações sanitárias, condições apropriadas para defecação e higiene ou sistemas suficientes de banheiros públicos. Esta situação, de grave afronta à condições de dignidade, leva à situa-

ções de extremo risco à saúde pública, tendo como prática comum algo conhecido como “banheiros voadores” (tradução literal de flying toilets), no qual as necessidades são feitas em sacos plásticos, que então são lançados pelos moradores para longe, depositando-se muitas vezes em algum ponto dentro da própria comunidade.

Diante deste contexto, em que ações de urbanização ou criação de infraestrutura não estavam próximas de acontecer, a organização *Sanergy* propõe um modelo inovador capaz de atender adequadamente às demandas locais com relação a esgoto, propiciando tanto sanitários de uso comum para a comunidade como sistemas de transporte, tratamento e reuso dos materiais retidos nos banheiros. O projeto envolveu estudos avançados a fim de equacionar os aspectos técnicos, financeiros e de mobilização local. Os resultados apresentam um modelo de negócio sustentável financeiramente, com tarifas adequadas à população de baixa renda e promovendo desenvolvimento local, integrado com processos de coleta, transporte e tratamento viáveis às condições locais, e com sistemas de recuperação de recursos e geração de renda a partir do material fecal coletado.

O modelo proposto começa com a distribuição de sanitários de uso comum pela comunidade, com um sis-

tema de franquia, no qual moradores podem comprar, a custos acessíveis, unidades de banheiro e instalá-lo em áreas externas de seus domicílios acessíveis ao público. Estes moradores ficam responsáveis pela operação de limpeza do banheiro e passam então a cobrar uma tarifa para que outros usuários possam utilizá-lo. Estes banheiros possuem sistemas secos de contenção, sem o uso de descargas, e o material fecal fica retido em recipientes específicos. Com uma rotina de coleta, o conteúdo fresco retido nestes banheiros compartilhados é transportado em contêineres por funcionários da *Sanergy* até pontos de coleta, de onde o material é direcionado para tratamento centralizado e reuso. Como subprodutos dos sistemas de tratamento, tem-se a geração de fertilizante e proteína para alimentação animal (por meio da aplicação de larvas de uma espécie de inseto chamada de Mosca Soldado-Negro - *Black Soldier Fly*, em inglês).

Desde o banheiro pré-fabricado fornecido na franquia até o veículo manual de pequeno porte para coleta e transporte do material fecal, o projeto definiu soluções adaptadas à falta de infraestrutura, ruas estreitas e condições socioculturais locais. O modelo oferecido de serviços reduz em cinco vezes o valor que teria que ser investido pelo governo para implementação de sistemas convencionais de esgoto. A

previsão de atuação da organização era de que até 2020, 36% da comunidade, equivalente a 200 mil habitantes, seriam atendidos pelo modelo do *Sanergy*, contando com a distribuição de 4.900 banheiros franqueados.

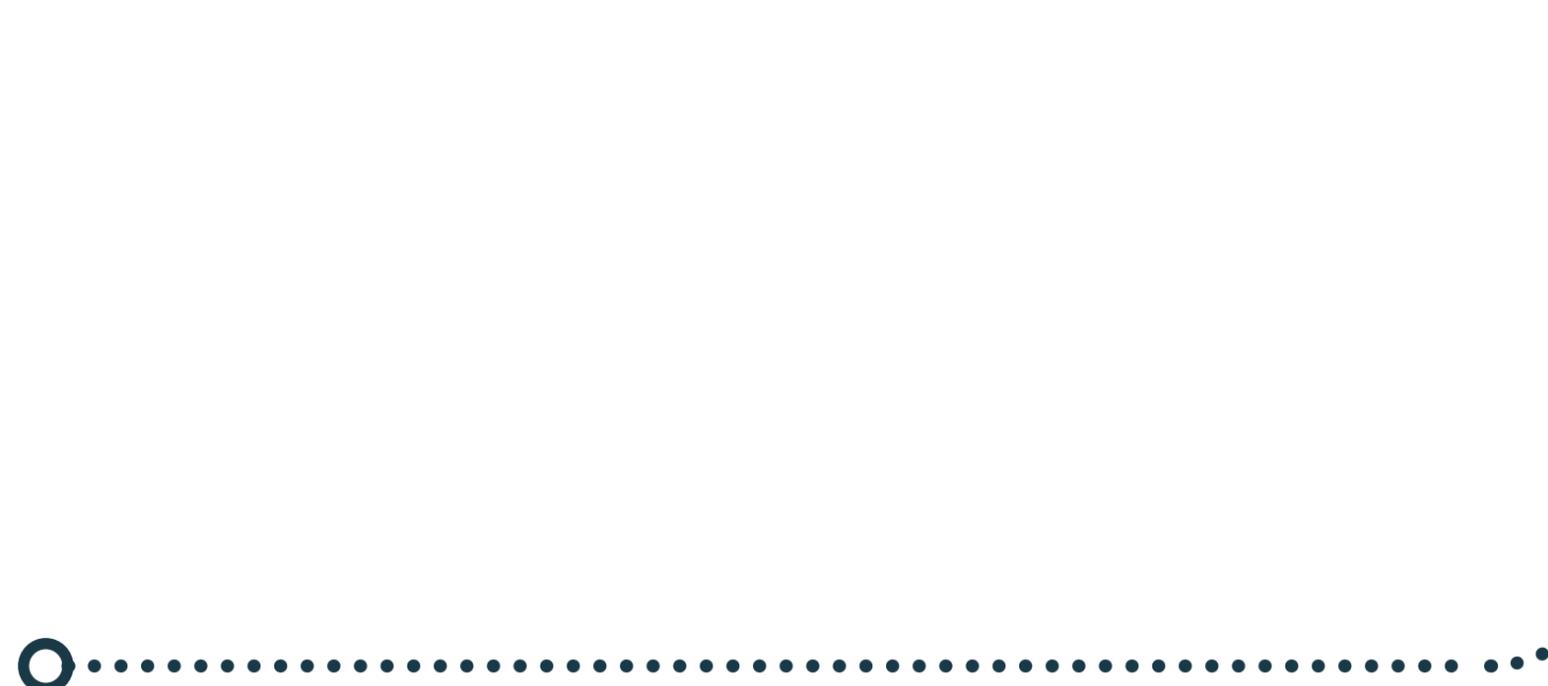
*X-runner*, por sua vez, é o nome de um negócio social elaborado no Peru para atendimento de esgoto em domicílios de baixa renda não acessados pelos sistemas coletivos de saneamento. Com a meta de atender 550 domicílios em três diferentes distritos de Lima, esta iniciativa propõe uma forma alternativa de viabilizar o propósito básico do saneamento (Rao, 2017), considerando as condições locais de acessibilidade e baixa disponibilidade hídrica. Repensando as possibilidades para cumprir as cinco etapas da cadeia de serviço do saneamento (ponto de geração, coleta/tratamento local, transporte, tratamento semicentralizado, e reuso/disposição final), o *X-runner* possui um processo independente de redes de coleta ou serviços de limpa fossa, contando também com elevado índice de engajamento comunitário.

Foram desenvolvidos contêineres coletores de fezes e urina (separadamente), integrados em bacias sanitárias produzidas em parceria com o fabricante de bacias Separett, buscando um desenho atraente e escalabilidade. Estes banheiros secos portáteis são alu-

gados aos domicílios a preços acessíveis. Após o acúmulo nos containers, os moradores encaminham os contêineres para pontos de coleta ou sistemas móveis de transporte, de onde os conteúdos são direcionados para tratamento em estações semicentralizadas. A parte sólida é compostada, havendo uma verificação de cumprimento à normas austríacas e chilenas para reuso do material para agricultura.

Esta iniciativa ainda está em estágio incipientes, buscando aprimoramentos para redução dos custos, viabilizando menores tarifas pelos serviços prestados. Com uma taxa inicial pelo equipamento e taxa mensal pelos serviços de transporte e tratamento, este modelo viabiliza, teoricamente, um formato de serviço com implementação e operação de baixo custo.

Outro importante caso de aplicação é o *Soil*, no Haiti. A iniciativa originou-se em 2006 com algumas aplicações de banheiros secos e uma estação de compostagem, mas tomou grandes proporções a partir de 2010, desempenhando um importante papel na recuperação local após o furacão que devastou grande parte da ilha. Ao longo do tempo foi gradualmente expandindo a capacidade de compostagem do material fecal, elaborando novos serviços para acelerar o acesso a saneamento adequado, como a provisão de banheiros secos



públicos e domiciliares, e aprimorando as vendas do composto produzido para reuso em agricultura.

A prestação de serviço, com maior foco no atendimento de domicílios, funciona da seguinte forma: *Soil* fornece os módulos portáteis de banheiro seco (com separação de urina e fezes) para os domicílios com quem firma contrato, cujos moradores recebem por volta de 3 a 4 dólares mensais pela coleta dos dejetos duas vezes por semana. O material contido em recipientes específicos é coletado por funcionários da *Soil* em troca de novo recipiente limpo para uso até a próxima coleta. Os recipientes são transportados dos domicílios até pontos de coleta estrategicamente posicionados, de onde seguem para as estações centrais de compostagem.

Atualmente o sistema *Soil* atende 6.500 habitantes, provendo além dos módulos sanitários, serviços de coleta, transporte e tratamento. A iniciativa se tornou um dos maiores sistemas de manejo de resíduos no país, processando mais de 50 toneladas por mês de material fecal, com a produção de composto em Port-au-Prince e Cap-Haïtien.

Em todos os casos mencionados são consideradas as condições existentes para se estabelecer uma cadeia de saneamento eficiente e gerando recursos para o local, propiciando um serviço de baixo custo e com geração de renda pelo processamento do lodo fecal. Importante ressaltar também que os sistemas levam em conta aspectos socio-culturais locais, sendo elaborados com forte participação da população.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

# 6.

Diante dos levantamentos e análises apresentados, fica clara a relevância das soluções descentralizadas para o Brasil, o potencial que esta forma de atendimento tem para a universalização inclusiva e a necessidade de maior atenção e preparo para que esta forma de atendimento seja feita com maior qualidade, escala e viabilidade.

Grande parte dos contextos sem atendimento adequado pelo país (áreas rurais, periurbanas e áreas urbanas precárias) impõe restrições aos serviços convencionais de esgoto. Estes desafios, de natureza técnica, financeira e legal, são recorrentemente utilizados como justificativa para não incluir tais contextos no escopo de atendimento dos serviços ou para apresentar metas com prazos demasiadamente longos. Por outro lado, estes contextos poderiam ser atendidos de forma viável e mais eficiente se modelos mais adaptados fossem considerados, inclusive para as ocupações precárias irregulares (considerando aí políticas públicas para sistemas emergenciais ou temporários). E, neste sentido, arranjos e soluções da abordagem descentralizada e baseada na gestão do lodo possuem um enorme potencial.

O potencial dos sistemas descentralizados se estende para além da viabilidade econômica, se tratando também de sistemas mais flexíveis e adaptáveis

às condições locais. Grande parte dos estudos e experiências levantadas neste trabalho reconhecem a relevância do engajamento da população local como fator determinante para a efetividade destes sistemas de saneamento. Ao ter soluções coerentes com as condições ambientais, econômicas, sociais e culturais do local, e com aceitação sobre os sistemas alocados, os sistemas de esgoto podem exceder o propósito de evitar problemas, trazendo também oportunidades com a recuperação de recursos e desenvolvimento local.

No entanto, os sistemas descentralizados apenas atingem escala e eficiência satisfatória se esta forma de atendimento for amparada com diretrizes para sistemas individuais apropriados e com modelos adequados de manejo do lodo retido nestes sistemas. Esta evolução depende de esforços de diferentes naturezas e deve ser estratégico para que seja cumprido, se atentando ao engajamento da população atendida com as práticas, modelos sustentáveis de serviço (coleta programada, sistemas tarifários eficientes, estações de tratamento bem distribuídas etc.) e medidas eficientes de monitoramento e fiscalização.

Com base nos levantamentos e análises realizados ao longo deste trabalho, foram constatados relevantes pontos associados à importância e potencial

dos sistemas descentralizados e baseados no manejo fecal para universalização do esgotamento sanitário no Brasil. Todavia, foram identificados diferentes fatores limitantes que precisam ser abordados efetivamente para que o saneamento seja oferecido no país de forma inclusiva. Os principais pontos focais identificados foram:

**Diretrizes nacionais** que promovam a regulação dos sistemas de saneamento por parte dos municípios, das prestadoras de serviço e/ou agências reguladoras, incorporando requisitos e critérios específicos para que sistemas não centralizados sejam implantados e operados adequadamente;

**Políticas públicas nacionais** que estimulem os estados e municípios no atendimento dos diferentes contextos de ocupação (rural, urbano precário, urbano regular etc.), provendo modelos de atendimento emergenciais, provisórios ou definitivos, bem como estimulando sistemas comunitários de saneamento para o manejo de efluentes domésticos;

**Reavaliação de metas e prazos** para universalização do saneamento através da disseminação de sistemas semi e descentralizados, que não necessitam de extensas redes de coleta e tratamento e, portanto, podem ser implementa-

das de maneira mais rápida que os sistemas centralizados;

**PMSBs e as prestadoras de serviço** devem considerar em seus planos de ação um repertório mais amplo e diverso para o atendimento dos diferentes contextos, inclusive fazendo estudos de viabilidade para verificar quais modelos serão mais adequados para as diferentes áreas. Pelas experiências observadas na Índia, incorporar às dinâmicas operacionais existentes nos sistemas descentralizados e baseados no manejo do lodo fecal constitui uma importante oportunidade para as empresas;

**Gestão pública municipal**, por meio dos contratos de prestação de serviço, prestação direta ou arranjos combinados de prestação, deve abranger a totalidade do território municipal em seu escopo de atenção, definindo meios para que os serviços de esgotamento sanitário sejam adequados e adaptados aos diferentes contextos, e definindo metas razoáveis para universalização (dito que sistema por redes de coleta não é a única forma de atendimento, os prazos de implementação podem ser consideravelmente reduzidos);

**Sociedade civil e outras organizações atuantes no setor**, alguns importantes pontos para explorar mais profunda-

mente, no que se refere a fazer movimentos em direção à:

- Articulação e vigilância para a inclusão das áreas rurais e urbanas precárias no planejamento e gestão do saneamento municipal
- Promoção dos potenciais de desenvolvimento local com o engajamento comunitário e possibilidade de novos negócios locais;
- Modelos adequados e metas coerentes de atendimento pelas prestadoras que possuam estas áreas na abrangência de seus contratos;
- Definição, pelas ações das agências reguladoras, de critérios e metodologias adaptadas para diferentes modelos de atendimento;
- Definição de arranjos que cheguem a acordos entre Ministério Público e Defensoria Pública para atendimento emergencial ou provisório de áreas irregulares.

As atuais discussões acerca das revisões propostas para o marco regulatório do saneamento, agora na forma do Projeto de Lei 4.162, citam com frequência a inviabilidade de se atender pequenos municípios, focando grande parte dos

esforços em achar mecanismos de compensação, em que os recursos arrecadados em um município viabilizem os serviços em locais em que a operação não se sustenta de forma autônoma. Na conjuntura atual as Companhias Estaduais de Saneamento Básico (CESBs) contam com o subsídio cruzado e, na nova proposta, propõe-se que municípios de diferentes portes sejam consorciados para que empresas privadas também possam compensar o balanço econômico desfavorável de locais menos populosos com os recursos arrecadados em cidades de maior porte. Toda a discussão, bem como a definição de metas, perpassa a questão da universalização sem considerar modelos alternativos de atendimento que podem tornar mais acessível ou viável o atendimento de regiões de menor densidade.

## REFERÊNCIAS

AGERGS. 2019. *Regulamentação Serviço Limpeza Programada de Sistemas Individuais Da CORSAN*. Brasil: Conselho Superior AGERGS. <https://www.agergs.rs.gov.br/upload/arquivos/201912/11114133-20191121160658ses-sao-88-001167-39-00-18-0.pdf>.

Além Sobrinho, Pedro, and Milton Tomoyuki Tsutiya. 1999. *Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário*. Epusp/PHD.

ANA. 2017. Atlas Esgotos - *Despoluição de Bacias Hidrográficas*. [http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?codigo\\_sophia=72208](http://biblioteca.ana.gov.br/index.asp?codigo_sophia=72208).

———. 2019. *ODS 6 No Brasil: Visão Da ANA Sobre Os Indicadores*. [www.ana.gov.br](http://www.ana.gov.br).

———. 2015. PRODES - ANA [sítio na internet]. Brasil. URL <https://www.ana.gov.br/prodes/prodes.asp> (data de acesso: 3/1/2020).

Anastasopoulou, Aikaterini, Athanasios Kolios, Tosin Somorin, Ayodeji Sowale, Ying Jiang, Beatriz Fidalgo, Alison Parker, et al. 2018. "Conceptual Environmental Impact Assessment of a Novel Self-Sustained Sanitation System Incorporating a Quantitative Microbial Risk Assessment Approach." *Science of the Total Environment* 639: 657–72. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.062>.

Andreoli, Cleverson Vitorio. 2009. *Lodo de Fossa e Tanque Séptico: Caracterização, Tecnologias de Tratamento, Gerenciamento e Destino Final*. Edited by Cleverson Vitorio Andreoli. 1st ed. Rio de Janeiro: ABES.

Andreoli, Cleverson Vitorio, Marcos Von Sperling, and Fernando Fernandes. 2007. *Sludge Treatment and Disposal*. Vol. 6. IWA Publishing. <https://iwaponline.com/ebooks/book/1/Sludge-Treatment-and-Disposal>.

Ashley, K., D. Cordell, and D. Mavinic. 2011. "A Brief History of Phosphorus: From the Philosopher's Stone to Nutrient Recovery and Reuse." *Chemosphere* 84 (6): 737–46. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2011.03.001>.

Bartram, Jamie, Clarissa Brocklehurst, Michael B. Fisher, Rolf Luyendijk, Rifat Hossain, Tessa Wardlaw, and Bruce Gordon. 2014. "Global Monitoring of Water Supply and Sanitation: History, Methods and Future Challenges." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11 (8): 8137–65. <https://doi.org/10.3390/ijerph110808137>.

Bassan, Magalie, Elizabeth Tilley, Linda Strande, Mariska Ronteltap, David M. Robbins, Philippe Reymond, Damir Brdjanovic, et al. 2014. *Faecal Sludge Management*. Edited by Linda Strande, Mariska Ronteltap, and Damir Brdjanovic. London: IWA Publishing.

Berendes, David M, Trent A Sumner, and Joe M Brown. 2017. "Safely Managed Sanitation for All Means Fecal Sludge Management for At Least 1.8 Billion People in Low and Middle Income Countries." *Environmental Science and Technology* 51 (Jan): 3074–83. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06019>.

BORDA. n.d. "FSM Case in Devanahalli, India." BORDA. Accessed April 14, 2020. <https://www.borda.org/wp-content/uploads/2018/08/BORDA-Devanahalli-India-FSM-poster.pdf>.

Brasil. 1986. *RESOLUÇÃO CONAMA N° 20, DE 18 DE JUNHO DE 1986*. Dispõe sobre a classificação das águas doces, salobras e salinas do Território Nacional. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=43>. Acesso em: 01 nov. 2020.

———. CONAMA. *Resolução Conama No 357, de 17 de Março de 2005*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=459>. Acesso em: 01 nov. 2020.

———. *Lei No 11.445, de 5 de Janeiro de 2007*. Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico; cria o Comitê Interministerial de Sanea-

mento Básico; altera as Leis nos 6.766, de 19 de dezembro de 1979, 8.666, de 21 de junho de 1993, e 8.987, de 13 de fevereiro de 1995; e revoga a Lei nº 6.528, de 11 de maio de 1978. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm). Acesso em: 01 nov. 2020.

———. *DECRETO No 7.217, DE 21 DE JUNHO DE 2010*. Regulamenta a Lei no 11.445, de 5 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, e dá outras providências. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/decreto/d7217.htm). Acesso em: 01 nov. 2020.

———. *CONAMA. RESOLUÇÃO No 430, DE 13 DE MAIO DE 2011*. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Disponível em: <http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 01 nov. 2020.

———. 2013. Ministério Das Cidades: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. “Plano Nacional de Saneamento Básico - PlanSab - Plano Nacional de Saneamento Básico.” Disponível em: <https://www.gov.br/mdr/pt-br/assuntos/saneamento/plansab>. Acesso em: 01 nov. 2020.

———. 2019a. Ministério Das Cidades: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. “Plano Nacional de Saneamento Básico - PLANSAB. Versão Revisada 2019.” Disponível em: [https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos\\_PDF/PlanSab/Versaoatualizada07mar2019\\_consultapublica.pdf](https://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/Arquivos_PDF/PlanSab/Versaoatualizada07mar2019_consultapublica.pdf). Acesso em: 01 nov. 2020.

———. Ministério da Saúde. 2019b. *Programa Nacional de Saneamento Rural*. Disponível em: [http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL\\_PNSR\\_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb](http://www.funasa.gov.br/documents/20182/38564/MNL_PNSR_2019.pdf/08d94216-fb09-468e-ac98-afb4ed0483eb). Acesso em: 01 nov. 2020.

———. Ministério do Desenvolvimento Regional. 2019c. “Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento: Diagnóstico Dos Serviços de Água e Esgotos – 2017.” Disponível em: <http://www.snis.gov.br/diagnostico-anual-agua-e-esgotos/diagnostico-ae-2017>. Acesso em: 01 nov. 2020.

Bueno, Daniel Augusto Camargo. 2017. “Filtros Anaeróbios Com Pós-Tratamento Em Filtros de Areia Intermitentes: Desempenho Em Operação Crítica.” Universidade Estadual de Campinas. <http://www.repositorio.unicamp.br/handle/REPOSIP/322173>.

Burkhard, Roland, Ana Deletic, and Anthony Craig. 2001. “Techniques for Water and Wastewater Management: A Review of Techniques and Their Integration in Planning.” *Urban Water 2*: 197–221.

Carlos, Édison, Rubens Filho, and Edna Cardoso. 2016. “Pesquisa Saneamento Básico Em Áreas Irregulares – Relatório Brasil.” Campinas. <http://www.tratabrasil.org.br/datafiles/estudos/areas-irregulares/volume2/relatorio-completo-areas-irregulares.pdf>.

Chernicharo, Carlos Augusto de Lemos, Thiago Bressani Ribeiro, Eduardo Sabino Pegorini, Gustavo Rafael Collere Possetti, Marcelo Keni Miki, and Saulo Nonato de Souza. 2018. “Contribuição Para o Aprimoramento de Projeto, Construção e Operação de Reatores UASB Aplicados Ao Tratamento de Esgoto Sanitário - Parte 1: Tópicos de Interesse.” *DAE 66* (214): 5–16. <https://doi.org/10.4322/dae.2018.038>.

Dandabathula, Giribabu, Pankaj Bhardwaj, Mithilesh Burra, Peddineni V. V. Prasada Rao, and Srinivasa S. Rao. 2019. “Impact Assessment of India's Swachh Bharat Mission - Clean India Campaign on Acute Diarrheal Disease Outbreaks: Yes, There Is a Positive Change.” *Journal of Family Medicine and Primary Care 8* (3): 1202–8. [https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc\\_144\\_19](https://doi.org/10.4103/jfmpc.jfmpc_144_19).

Dangol, Bipin, and Reetu Rajbhandari. 2017. “Faecal Sludge Treatment and Reuse System in Mahalaxmi Municipality, Nepal.” *Journal of Environment and Public Health 1* (1): 59–64. <http://enpho.org/wp-content/uploads/2017/07/ENPHO-Journal-V1-I1.pdf#page=67>.

Dewhurst, Richard N., Claire Furlong, Sabitri Tripathi, Michael R. Templeton, and Rebecca E. Scott. 2019. “Evaluating the Viability of Establishing Container-Based Sanitation in Low-Income Settlements.” *Waterlines 38* (3): 154–69. <https://doi.org/10.3362/1756-3488.18-00027>.

Dodane, Pierre-henri, Ousmane Sow, and Linda Strande. 2012. “Capital and Operating Costs of Full-Scale Fecal Sludge Management and Wastewater Treatment Systems in Dakar, Senegal.” *Environmental Science and Technology*. <https://doi.org/10.1021/es2045234>.

Eggimann, Sven, Bernhard Truffer, and Max Maurer. 2015. “To Connect or Not to Connect? Modelling the Optimal Degree of Centralisation for Wastewater Infrastructures.” *Water Research 84*: 218–31. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.07.004>.

———. 2016. "Economies of Density for On-Site Waste Water Treatment." *Water Research* 101: 476–89. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2016.06.011>.

Exley, Josephine L.R., Bernard Liseka, Oliver Cumming, and Jeroen H.J. Ensink. 2015. "The Sanitation Ladder, What Constitutes an Improved Form of Sanitation?" *Environmental Science and Technology* 49 (2): 1086–94. <https://doi.org/10.1021/es503945x>.

Figueiredo, Isabel Campos Salles, Caroline Kimie Miyazaki, Francisco José Peña y Lillo Madrid, Natália Cangussu Duarte, Taína Martins Magalhães, and Adriano Luiz Tonetti. 2019. "Fossa Absorvente Ou Rudimentar Aplicada Ao Saneamento Rural: Solução Adequada Ou Alternativa Precária?" *Revista DAE* 67 (220): 87–99. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.057>.

Gaulke, L. S. 2006. "On-Site Wastewater Treatment and Reuses in Japan." *Proceedings of the Institution of Civil Engineers: Water Management* 159 (2): 103–9. <https://doi.org/10.1680/wama.2006.159.2.103>.

Guimarães, E. F., T. F. Malheiros, and R. C. Marques. 2016. "Inclusive Governance: New Concept of Water Supply and Sanitation Services in Social Vulnerability Areas." *Utilities Policy* 43: 124–29. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2016.06.003>.

Harada, Hidenori, Linda Strande, and Shigeo Fujii. 2016. "Challenges and Opportunities of Faecal Sludge Management for Global Sanitation." In, 81–100.

Hophmayer-Tokich, Sharon. 2000. "Wastewater Management Strategy: Centralized v. Decentralized Technologies for Small Communities." *CSTM-Reeks* 271 (271).

India. 2016. "Swachh Bharat Mission Urban." Ministry of Housing and Urban Affairs. 2016. <http://swachhbharaturban.gov.in/>.

Ivar, Roefs, Meulman Brendo, Vreeburg Jan H G, and Spiller Marc Centralised. 2017. "Centralised, Decentralised or Hybrid Sanitation Systems? Economic Evaluation under Urban Development Uncertainty and Phased Expansion." *Water Research* 109: 274–86. <https://doi.org/10.1016/j.WA-TRES.2016.11.051>.

Jordão, Eduardo Pacheco, and Constantino Arruda Pessoa. 2011. *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 6th ed. ABES.

Kansiime, Frank. 2015. "Decentralized Options for Faecal Sludge Management in Urban Slum Areas of Sub-Saharan Africa: A Review of Technologies, Practices and End-Uses." *Resources, Conservation & Recycling*, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.09.001>.

Katukiza, A Y, M Ronteltap, A Oleja, C B Niwagaba, F Kansiime, and P N L Lens. 2010. "Selection of Sustainable Sanitation Technologies for Urban Slums — A Case of Bwaise III in Kampala, Uganda." *Science of the Total Environment, The* 409 (1): 52–62. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.032>.

Kent, By Michael, Dennis Li, and Chris Frank. 2013. "Swachh Bharat Mission (Urban) Towards Cleaning India: A Policy Perspective." *Policy Brief*, no. May.

Kristina Egge, and Sahana Goswami. 2018. "Lessons from Devanahalli on Urban Faecal Sludge Management | WRI INDIA." January 22, 2018. <https://wri-india.org/blog/lessons-devanahalli-urban-faecal-sludge-management>.

Mallory, Adrian, Martin Crapper, and Rochelle H Holm. 2019. "Agent-Based Modelling for Simulation-Based Design of Sustainable Faecal Sludge Management Systems." *Environmental Research and Public Health*. <https://doi.org/10.3390/ijerph16071125>.

Massoud, May A, Akram Tarhini, and Joumana A Nasr. 2009. "Decentralized Approaches to Wastewater Treatment and Management: Applicability in Developing Countries." *Journal of Environmental Management* 90 (1): 652–59. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.07.001>.

McGranahan, Gordon. 2015. "Realizing the Right to Sanitation in Deprived Urban Communities: Meeting the Challenges of Collective Action, Coproduction, Affordability, and Housing Tenure." *World Development* 68: 242–53. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.12.008>.

Mejía, A., O. Castillo, R. Vera, and V. Arroyo. 2016. *Agua Potable y Saneamiento En la Nueva Ruralidad de America Latina. Agua Para El Desarrollo*.

Melo, Suely. 2019. "Saneamento Rural: Desafio Que Exige Novas Soluções." *Revista DAE* 67 (220): 6–14. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.052>.

Monayna, Samara, Alves Vasconcelos, and Eraldo Henriques Carvalho. 2016. "Avaliação Da Disposição de Lodos de Fossa e Tanque Sépticos Em Lagoas de Estabilização Que Tratam Lixiviados de Aterro Sanitário Evaluation of Septage Disposal in Stabilization Ponds That Treat Landfill Leachate." *Eng Sanit Ambient* 21 (1): 183–96. <https://doi.org/10.1590/S1413-41520201600100136031>.

Morais, Naassom Wagner Sales, and André Bezerra dos Santos. 2019. "Análise Dos Padrões de Lançamento de Efluentes Em Corpos Hídricos e de Reúso de Águas Residuárias de Diversos Estados Do Brasil." *Revista DAE* 67 (215): 40–55. <https://doi.org/10.4322/dae.2019.004>.

Moss, Tim. 2016. "Cold Spots of Urban Infrastructure: 'S Hrinkin' Processes in Eastern Germany and the Modern." *International Journal of Urban and Regional Research* 32 (2): 436–51. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2427.2008.00790.x>.

Murray, Ashley, Olufunke Cofie, Pay Drechsel, Action Plan, and International Drinking Water. 2011. "Efficiency Indicators for Waste-Based Business Models: Fostering Private-Sector Participation in Wastewater and Faecal-Sludge." *Water International* 36 (4): 505–21. <https://doi.org/10.1080/02508060.2011.594983>.

Neto, Valmiki Sampaio de Albuquerque. 2011. "ANÁLISE DO SISAR COMO UMA ALTERNATIVA FINANCEIRAMENTE SUSTENTÁVEL PARA O SANEAMENTO RURAL NO CEARÁ." Universidade Federal do Ceará. [http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/5770/1/2011\\_dissert\\_vs AlbuquerqueNeto.pdf](http://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/5770/1/2011_dissert_vs AlbuquerqueNeto.pdf).

O'Keefe, Mark, Christoph Lüthi, Innocent Kamara Tumwebaze, and Robert Tobias. 2015. "Opportunities and Limits to Market-Driven Sanitation Services: Evidence from Urban Informal Settlements in East Africa." *Environment and Urbanization* 27 (2): 421–40. <https://doi.org/10.1177/0956247815581758>.

Obermann, I., and K. Sattler. 2013. "Comparison of Centralized, Semi-Centralized and Decentralized Sanitation Systems." *First International Symposium on Urban Development: Koya as a Case Study*, 159–67. <https://doi.org/10.2495/isud130191>.

Odey, Emmanuel Alepu, Zifu Li, Xiaoqin Zhou, and Loissi Kalakodio. 2017. "Fecal Sludge Management in Developing Urban Centers: A Review on the Collection, Treatment, and Composting." *Environmental Science and Pollution Research*, 23441–52. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0151-7>.

Pacheco, Rodrigo Pinheiro, Miguel Mansur Aisse, Carlos Eduardo Curi Gallego, and Cristóvão V. S. Fernandes. 2015. "Estimativas de Custos Visando Orientar a Tomada de Decisão Na Implantação de Redes, Coletores e Elevatórias de Esgoto Pumping Stations." *Revista Brasileira de Recursos Hídricos Versão* 20 (1): 73–81.

Rao, Krishna C, Elisabeth Kvarnström, Luca Di Mario, and Pay Drechsel.

2016. "Business Models for Fecal Sludge Management About the Resource Recovery and Reuse Series." International organization. [http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource\\_recovery\\_and\\_reuse-series\\_6.pdf](http://www.iwmi.cgiar.org/Publications/wle/rrr/resource_recovery_and_reuse-series_6.pdf).

Robbins, By David, Linda Strande, and Julian Doczi. 2012. "Opportunities in Fecal Sludge Management for Cities in Developing Countries: Experiences from the Philippines." Dübendorf. <https://sswm.info/node/4972>.

Ruiken, C. J., G. Breuer, E. Klaversma, T. Santiago, and M. C.M. van Loosdrecht. 2013. "Sieving Wastewater - Cellulose Recovery, Economic and Energy Evaluation." *Water Research* 47 (1): 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2012.08.023>.

Russel, Kory C., Kelvin Hughes, Mary Roach, David Auerbach, Andrew Foote, Sasha Kramer, and Raúl Briceño. 2019. "Taking Container-Based Sanitation to Scale: Opportunities and Challenges." *Frontiers in Environmental Science* 7 (November): 1–7. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00190>.

SANERGY. n.d. "Home - Sanergy." Accessed April 14, 2020. <http://www.sanergy.com/>.

Santos, Filipe Nepomuceno Bicalho. 2018. "Análise Comparativa Dos Custos Operacionais de 44 Estações de Tratamento de Esgoto Na Região Sudeste Do Brasil." Universidade Federal de Minas Gerais. [https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/31029/1/Dissertação\\_FilipeBicalho\\_RFinal\\_20190903.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/31029/1/Dissertação_FilipeBicalho_RFinal_20190903.pdf).

Santos, Rubens Francisco dos, Silva Pierre Irazustra, Francisco Tadeu Degaspari, and Elisabeth Pelosi Teixeira. 2015. "Abordagem Descentralizada Para Concepção de Sistemas de Tratamento de Esgoto Doméstico." *Revista Eletrônica de Tecnologia e Cultura*, no. 16: 35–44.

Schultz, Stanley K., and Clay McShane. 1978. "To Engineer the Metropolis: Sewers, Sanitation, and City Planning in Late-Nineteenth-Century America." *The Journal of American History* 65 (2): 389. <https://doi.org/10.2307/1894086>.

Shannon, Mark, Paul W. Bohn, Menachem Elimelech, John G. Georgiadis, Benito J. Mariñas, and Anne M. Mayes. 2008. "Science and Technology for Water Purification in the Coming Decades." *Nature* 452 (March): 301–10. <https://doi.org/10.1038/nature06599>.

Shrestha, Rajendra, Bipin Dangol, and Reetu Rajbhandari. 2017. "Faecal Sludge Treatment and Resource Recovery: A Case Study from Lubhu, Nepal." Spiez.

Simiyu, Sheillah. 2017. "Preference for and Characteristics of an Appropriate Sanitation Technology for the Slums of Kisumu, Kenya." *International Journal of Urban Sustainable Development* 9 (3): 300–312. <https://doi.org/10.1080/19463138.2017.1325366>.

SOIL. n.d. "SOIL Haiti- SOIL Haiti." Accessed April 14, 2020. <https://www.oursoil.org/>.

Solon, Kimberly, Eveline I.P. Volcke, Mathieu Spérandio, and Mark C.M. Van Loosdrecht. 2019. "Resource Recovery and Wastewater Treatment Modelling." *Environmental Science: Water Research and Technology* 5 (4): 631–42. <https://doi.org/10.1039/c8ew00765a>.

Sperling, Marcos Von. 2014. *Princípios Do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol. 1. Introdução à Qualidade Das Águas e Ao Tratamento de Esgotos*. 4th ed. Belo Horizonte: UFMG.

Strande, Linda, Lars Schoebitz, Fabian Bischo, Daniel Ddiba, Francis Okello, Miriam Englund, Barbara J Ward, and Charles B Niwagaba. 2018. "Methods to Reliably Estimate Faecal Sludge Quantities and Qualities for the Design of Treatment Technologies and Management Solutions" 223 (June): 898–907. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.06.100>.

Tiffany, Youngmee, N C Narayanan, and Yu-ling Cheng. 2018. "Cost Comparison of Centralized and Decentralized Wastewater Management Systems Using Optimization Model." *Journal of Environmental Management* 213: 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.01.081>.

Tonetti, Adriano Luiz, Ana Lúcia Brasil, Francisco José Peña y Lillo Madrid, Isabel Campos Salles Figueiredo, Jerusa Schneider, Luana Mattos de Oliveira Cruz, Natália Cangussu Duarte, et al. 2018. *Tratamento De Esgotos Domiciliares Em Comunidades Isoladas*.

UNICEF, and WHO. 2019. "Progress on Household Drinking Water, Sanitation and Hygiene 2000-2017. Special Focus on Inequalities." New York.

United Nations. 2015. "N1529189." *General Assembly 70 Session 16301* (October): 1–35. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>.

United Nations Development Programme. 2014. *Sustaining Human Progress: Reducing Vulnerabilities and Building Resilience. Human Development Report 2014*. <https://doi.org/ISBN:978-92-1-126340-4>.

Wankhade, Kavita. 2015. "Urban Sanitation in India: Key Shifts in the National Policy Frame." *Environment and Urbanization* 27 (2): 555–72. <https://doi.org/10.1177/0956247814567058>.

WHO/UNICEF. 2008. "Progress on Drinking Water and Sanitation: Special Focus on Sanitation," 1–54. <http://www.wssinfo.org>.

Yang, X M, A Morita, I Nakano, Y Kushida, and H Ogawa. 2010. "History and Current Situation of Night Soil Treatment Systems and Decentralized Wastewater Treatment Systems in Japan." *Water Practice & Technology* 5 (4). <https://doi.org/10.2166/WPT.2010.096>.

Zhou, Xiaoqin, Zifu Li, Tianlong Zheng, Yichang Yan, Pengyu Li, Emmanuel Alepu Odey, Heinz Peter Mang, and Sayed Mohammad Nazim Uddin. 2018. "Review of Global Sanitation Development." *Environment International* 120 (April 2018): 246–61. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.07.047>.

## GRÁFICOS

Gráfico 1: Levantamento da extensão de rede por usuário e do seu custo unitário em relação a densidade populacional atendida.

Gráfico 2: Custos médios de implementação e população média servida para ETEs de diferentes tecnologias financiadas pelo PRODES - ANA

Gráfico 3: Composição de custos de sistemas centralizados e descentralizados em Dakar, Senegal (adaptado de Dodane, Sow, e Strande, 2012)

Gráfico 4: Custos de sistemas descentralizados para atender 5 pessoas, em dólares americanos, no Brasil e sua composição

Gráfico 5: Custo per capita de sistemas descentralizados e centralizados de esgotamento sanitário no Brasil de acordo com a densidade populacional na localidade de atendimento

Gráfico 6: Distribuição da densidade populacional em cidades Brasileiras, com base no levantamento de manchas urbanas do IBGE de 2015

Gráfico 7: Dependência de soluções individuais de atendimento no Brasil. Fonte: adaptado de PlanSab 2019

Gráficos 8: Dependência de soluções individuais nas áreas rurais do Brasil. Fonte: adaptado de PlanSab 2019

Gráficos 9: Dependência de soluções individuais nas áreas rurais do Brasil. Fonte: adaptado de PNSR 2019

Gráfico 10: Dependência de soluções individuais nas sedes urbanas do Brasil. Fonte: adaptado de Atlas Esgotos 2017

Gráfico 11: Evolução das publicações científicas nacionais e internacionais sobre o tema

Gráfico 12: Número de publicações sobre “decentralized sanitation” pelo Mundo

## FIGURAS

Figura 1: Escada do saneamento, adaptado de WHO/UNICEF - 2008

Figura 2: Etapas básicas dos sistemas de esgoto

Figura 3: Possíveis formatos de coleta, tratamento e disposição final/ reuso (Adaptado de Tonetti et al., 2018)

Figura 4: Possível arranjo das etapas em sistema centralizado

Figura 5: Possível arranjo das etapas em sistema descentralizado

## TABELAS

Tabela 1: Potenciais e limitações entre centralizado convencional e descentralizado

Tabela 2: Configurações consideradas para análise comparativa

Tabela 3: Termos especializados considerados

# SIGLAS

ABES-SP - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental de São Paulo

AGERGS - Agência Estadual de Regulação dos Serviços Públicos Delegados do Rio Grande do Sul

ANA - Agência Nacional de Águas

CAGECE - Companhia de Água e Esgoto do Ceará

CENTRAL - Central de Associações Comunitárias para Manutenção de Sistemas de Saneamento

CESB - Companhia Estadual de Saneamento Básico

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

CORSAN - Companhia Riograndense de Saneamento

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

ETE - Estação de Tratamento de Esgoto

ETL - Estação de Tratamento de Lodo Fecal

FAPESP - Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo

FINEP - Financiadora de Estudos e Projetos

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde

ODS - Objetivo de Desenvolvimento Sustentável

OMS - Organização Mundial da Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PLANSAB - Plano Nacional de Saneamento Básico

PNAD - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios

PNAD-C - Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios Contínua

PMSB - Plano Municipal de Saneamento Básico

PNSR - Programa Nacional de Saneamento Rural

PRODES - Programa Despoluição de Bacias Hidrográficas

PRORURAL - Programa de Saneamento Rural

PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

SABESP - Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SISAR - Sistema Integrado de Saneamento Rural

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas

UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância

BMFG - Bill and Melinda Gates Foundation

BORDA - Bremen Overseas Research and Development Association Organization

CDD Society - The Consortium for DEWATS Dissemination Society

ENPHO - Environment and Public Health Organization

NSSMP - National Sewerage and Septage Management Program

WHO - World Health Organization

## EQUIPE TÉCNICA

### AUTORES

Tomaz Gregori Kipnis  
Paulo Bernardo Neves e Castro

### REVISÃO TÉCNICA

Paulo Gustavo de Almeida  
Aníbal da Fonseca Santiago

### REVISÃO DE TEXTO

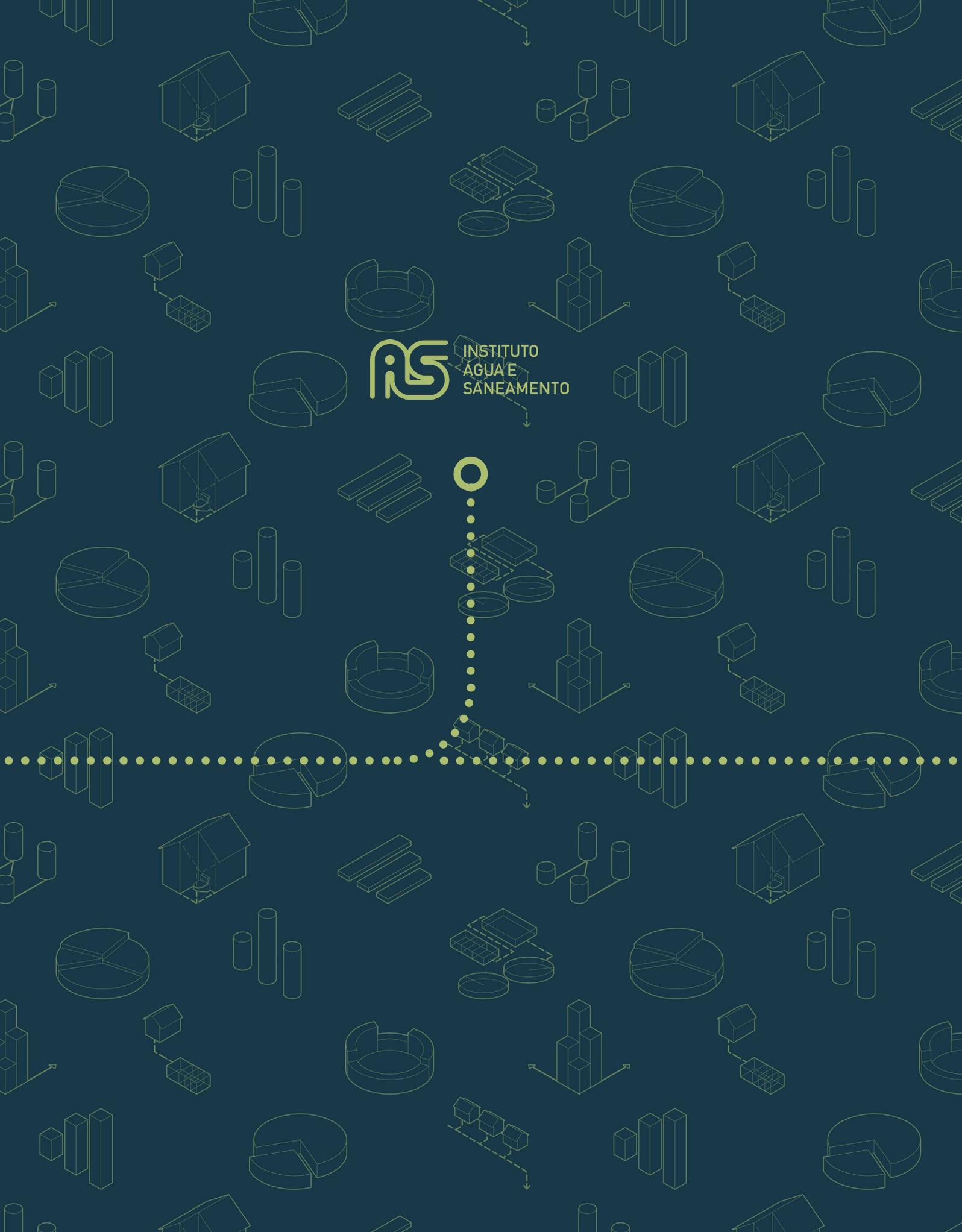
Gisela Monroe  
Rafaela Marques  
Pedro Pastor

### DIAGRAMAÇÃO

Luis Rossi  
Nicolas Le Roux  
Paula Lemos  
Marília Müller

### TIPOGRAFIA

Montserrat  
Open Sans



IAS  
INSTITUTO  
ÁGUA E  
SANEAMENTO

