

# INFORME INFRA-ESTRUTURA

ÁREA DE PROJETOS DE INFRA-ESTRUTURA

NOVEMBRO/97

Nº 16

## TRATAMENTO DE ESGOTO: TECNOLOGIAS ACESSÍVEIS

### 1. Introdução

No Brasil, 49% do esgoto produzido é coletado através de rede e somente 10% do esgoto total é tratado. O resultado é que as Regiões Metropolitanas e grandes cidades concentram grandes volumes de esgoto coletado que é despejado sem tratamento nos rios e mares que servem de corpos receptores. Em consequência a poluição das águas que cercam nossas maiores áreas urbanas é bastante elevada, dificultando e encarecendo, cada vez mais, a própria captação de água para o abastecimento.

A implantação de uma estação de tratamento de esgotos tem por objetivo a remoção dos principais poluentes presentes nas águas residuárias, retornando-as ao corpo d'água sem alteração de sua qualidade.

As águas residuárias de uma cidade compõem-se dos esgotos sanitários e industriais sendo que estes, em caso de geração de efluentes muito tóxicos, devem ser tratados em unidades das próprias indústrias.

O parâmetro mais utilizado para definir um esgoto sanitário ou industrial é a demanda bioquímica por oxigênio - DBO<sup>1</sup>. Pode ser aplicada na medição da carga orgânica imposta a uma estação de tratamento de esgotos e na avaliação da eficiência das estações - quanto maior a DBO maior a poluição orgânica.

A escolha do sistema de tratamento é função das condições estabelecidas para a qualidade da água dos corpos receptores<sup>2</sup>. Além disso, qualquer projeto de sistema deve estar baseado no conhecimento de diversas variáveis do esgoto a ser tratado, tais como a vazão, o pH, a temperatura, o DBO, etc.

### 2. Tecnologias Existentes

A composição do esgoto é bastante variável, apresentando maior teor de impurezas durante o dia e menor durante a noite. A matéria orgânica, especialmente as fezes humanas, confere ao esgoto

---

<sup>1</sup> A DBO é a quantidade de oxigênio usada por uma população mista de microorganismos durante a oxidação aeróbia à temperatura de 20°C.

<sup>2</sup> A Resolução Conama n.º. 20, de 18.06.86, classifica a qualidade dos corpos receptores e define o padrão para tratamento do efluente. As legislações estaduais sobre meio-ambiente complementam a norma federal nos mesmos aspectos

sanitário suas principais características, mutáveis com o decorrer do tempo pois sofre diversas alterações até sua completa mineralização ou estabilização.

Enquanto o esgoto sanitário causa poluição orgânica e bacteriológica, o industrial geralmente produz a poluição química. O efluente industrial, além das substâncias presentes na água de origem, contém impurezas orgânicas e/ou inorgânicas resultantes das atividades industriais, em quantidade e qualidade variáveis com o tipo de indústria .

Os corpos d'água podem se recuperar da poluição, ou depurar-se<sup>3</sup>, pela ação da própria natureza. O efluente geralmente pode ser lançado sem tratamento em um curso d'água, desde que a descarga poluidora não ultrapasse cerca de quarenta avos da vazão: um rio com 120 l/s de vazão pode receber, grosso modo, a descarga de 3 l/s de esgoto bruto, sem maiores conseqüências.

Freqüentemente os mananciais recebem cargas de efluentes muito elevadas para sua vazão e não conseguem se recuperar pela autodepuração, havendo a necessidade da depuração artificial ou tratamento do esgoto. O tratamento do efluente pode, inclusive, transformá-lo em água para diversos usos, como a irrigação, por exemplo.

A escolha do tratamento depende das condições mínimas estabelecidas para a qualidade da água dos mananciais receptores, função de sua utilização<sup>4</sup>. Em qualquer projeto é fundamental o estudo das características do esgoto a ser tratado e da qualidade do efluente que se deseja lançar no corpo receptor. Os principais aspectos a serem estudados são vazão, pH e temperatura, demanda bioquímica de oxigênio - DBO, demanda química de oxigênio - DQO, toxicidade e teor de sólidos em suspensão ou sólidos suspensos totais - SST.

Ao definir um processo deve-se considerar sua eficiência na remoção de DBO e coliformes, a disponibilidade de área para sua instalação, os custos operacionais, especialmente energia elétrica, e a quantidade de lodo gerado. Alguns processos exigem maior escala (maior população atendida) para apresentarem custos per capita compatíveis. Na implantação de um sistema de esgotamento sanitário, compreendendo também a rede coletora, a estação de tratamento representa cerca de 20% do custo total.

## 2.1 O fluxo de tratamento

A quantidade total de esgoto a ser tratado em um sistema é função da população e da indústria local a serem atendidas durante um período de 20 a 30 anos. Ademais, devem ser consideradas as infiltrações da água de chuva e do lençol freático. O volume de esgoto produzido por ano pode ser controlado pelas vazões obtidas nos medidores instalados em pontos determinados do sistema, especialmente na entrada das estações de tratamento.

O processo de tratamento do esgoto pode adotar diferentes tecnologias para depuração do efluente mas, de modo geral segue um fluxo que compreende as seguintes etapas:

☞ **preliminar** - remoção de grandes sólidos e areia para proteger as demais unidades de tratamento, os dispositivos de transporte (bombas e tubulações) e os corpos receptores. A remoção da areia previne, ainda, a ocorrência de abrasão nos equipamentos e tubulações e facilita o

<sup>3</sup> Os fatores de autodepuração são a diluição, a reaeração, a sedimentação, a luz solar e a competição vital.

<sup>4</sup> Abastecimento doméstico, irrigação, recreação, dessedentação de animais, navegação, abastecimento industrial preservação de peixes, etc.

transporte dos líquidos. É feita com o uso de grades que impedem a passagem de trapos, papéis, pedaços de madeira, etc.; caixas de areia, para retenção deste material; e tanques de flutuação para retirada de óleos e graxas em casos de esgoto industrial com alto teor destas substâncias.

☞ **primário** - os esgotos ainda contém sólidos em suspensão não grosseiros cuja remoção pode ser feita em unidades de sedimentação, reduzindo a matéria orgânica contida no efluente. Os sólidos sedimentáveis e flutuantes são retirados através de mecanismos físicos, via decantadores. Os esgotos fluem vagarosamente pelos decantadores, permitindo que os sólidos em suspensão de maior densidade sedimentem gradualmente no fundo, formando o lodo primário bruto<sup>5</sup>. Os materiais flutuantes como graxas e óleos, de menor densidade, são removidos na superfície. A eliminação média do DBO é de 30%.

☞ **secundário** - processa, principalmente, a remoção de sólidos e de matéria orgânica não sedimentável e, eventualmente, nutrientes como nitrogênio e fósforo. Após as fases primária e secundária a eliminação de DBO deve alcançar 90%. É a etapa de remoção biológica dos poluentes e sua eficiência permite produzir um efluente em conformidade com o padrão de lançamento previsto na legislação ambiental. Basicamente, são reproduzidos os fenômenos naturais de estabilização da matéria orgânica que ocorrem no corpo receptor, sendo que a diferença está na maior velocidade do processo, na necessidade de utilização de uma área menor e na evolução do tratamento em condições controladas.

☞ **terciário** - remoção de poluentes tóxicos ou não biodegradáveis ou eliminação adicional de poluentes não degradados na fase secundária.

☞ **desinfecção** - grande parte dos microorganismos patogênicos foi eliminada nas etapas anteriores, mas não a sua totalidade. A desinfecção total pode ser feita pelo processo natural - lagoa de maturação, por exemplo - ou artificial - via cloração, ozonização ou radiação ultravioleta. A lagoa de maturação demanda grandes áreas pois necessita pouca profundidade para permitir a penetração da radiação solar ultravioleta. Entre os processos artificiais, a cloração é o de menor custo mas pode gerar subprodutos tóxicos, como organoclorados. A ozonização é muito dispendiosa e a radiação ultravioleta não se aplica a qualquer situação.

O desenvolvimento tecnológico no tratamento de esgotos está concentrado na etapa secundária e posteriores. Uma das tendências verificada é o aumento na dependência de equipamentos em detrimento do uso de produtos químicos para o tratamento. Os fabricantes de equipamentos para saneamento, por sua vez, vêm desenvolvendo novas tecnologias para o tratamento biológico, com ênfase no processo aeróbio.

## 2.2 Tecnologias de tratamento

O tratamento biológico é a forma mais eficiente de remoção da matéria orgânica dos esgotos. O próprio esgoto contém grande variedade de bactérias e protozoários para compor as culturas microbiais mistas que processam os poluentes orgânicos. O uso desse processo requer o controle da

---

<sup>5</sup> As fossas sépticas são um tipo de tratamento primário muito usado no meio rural e urbano. Os sólidos sedimentáveis se acumulam no fundo, onde permanecem tempo suficiente para sua estabilização, porém mantém os elementos patogênicos. Como a eficiência na remoção da matéria orgânica é baixa, frequentemente utiliza-se forma complementar de tratamento, como filtros anaeróbios ou sistemas de infiltração no solo (sumidouros, valas de infiltração e valas de filtração).

vazão, a recirculação dos microorganismos decantados, o fornecimento de oxigênio e outros fatores. Os fatores que mais afetam o crescimento das culturas são a temperatura, a disponibilidade de nutrientes, o fornecimento de oxigênio, o pH, a presença de elementos tóxicos e a insolação (no caso de plantas verdes).

A matéria orgânica do esgoto é decomposta pela ação das bactérias presentes no próprio efluente, transformando-se em substâncias estáveis, ou seja as substâncias orgânicas insolúveis dão origem a substâncias inorgânicas solúveis. Havendo oxigênio livre (dissolvido), são as bactérias aeróbias que promovem a decomposição. Na ausência do oxigênio, a decomposição se dá pela ação das bactérias anaeróbias. A decomposição aeróbia diferencia-se da anaeróbia pelo seu tempo de processamento e pelos produtos resultantes. Em condições naturais, a decomposição aeróbia necessita três vezes menos tempo que a anaeróbia e dela resultam gás carbônico, água, nitratos e sulfatos, substâncias inofensivas e úteis à vida vegetal. O resultado da decomposição anaeróbia é a geração de gases como o sulfídrico, metano, nitrogênio, amoníaco e outros, muitos dos quais malcheirosos.

A decomposição do esgoto é um processo que demanda vários dias, iniciando-se com uma contagem elevada de DBO, que vai decrescendo e atinge seu valor mínimo ao completar-se a estabilização. A determinação da DBO é importante para indicar o teor de matéria orgânica biodegradável e definir o grau de poluição que o esgoto pode causar ou a quantidade de oxigênio necessária para submeter o esgoto a um tratamento aeróbio.

As tecnologias de tratamento de efluentes nada mais são que o aperfeiçoamento do processo de depuração da natureza, buscando reduzir seu tempo de duração e aumentar sua capacidade de absorção, com consumo mínimo de recursos em instalações e operação e o melhor resultado em termos de qualidade do efluente lançado, sem deixar de considerar a dimensão da população a ser atendida. Os sistemas existentes podem ser classificados, basicamente, em dois grandes grupos: tecnologias de sistemas simplificados ou mecanizados e processos aeróbios ou anaeróbios:

- **disposição no solo** - Sistema simplificado que requer áreas extensas nas quais os esgotos são aplicados por aspersão, vala ou alagamento, sofrendo evaporação ou sendo absorvidos pela vegetação. Grande parte do efluente é infiltrada no solo e o restante sai como esgoto tratado na extremidade oposta do terreno. A eficiência na remoção de DBO está entre 85 e 99% e a de patogênicos está entre 90 e 99%. O custo de implantação e operação é bastante reduzido e não apresenta geração de lodo. Pode gerar maus odores, insetos e vermes, além de apresentar risco de contaminação da vegetação, no caso de agricultura, dos trabalhadores envolvidos, do solo e do lençol freático.
- **lagoas de estabilização sem aeração** - Técnica simplificada que exige uma área extensa para a instalação da lagoa, na qual os esgotos sofrem o processo aeróbio de depuração graças à existência de plantas verdes que oxigenam a água. Para reduzir a área necessária podem ser instaladas lagoas menores para processar a depuração anaeróbia. A eficiência na remoção de DBO é de 70 a 90% e de coliformes é de 90 a 99%. Os custos de implantação e operação são reduzidos, tem razoável resistência a variações de carga e o lodo gerado é removido após 20 anos de uso. Por outro lado, sofre com a variação das condições atmosféricas (temperatura e insolação), produz maus odores, no caso das anaeróbias, e insetos. Quando sua manutenção é descuidada há o crescimento da vegetação local.
- **sistemas anaeróbios simplificados** - Sistemas como o filtro anaeróbio e o reator anaeróbio de manta de lodo. O primeiro é um tanque submerso no qual o esgoto, já decantado em uma fossa

séptica, flui de baixo para cima para ser estabilizado por bactérias aderidas a um suporte de pedras. O segundo estabiliza a matéria orgânica usando as bactérias dispersas em um tanque fechado - o fluxo do esgoto é de baixo para cima e na zona superior há coleta de gás. O reator não necessita de decantação prévia. A eficiência na remoção de DBO e de patogênicos está entre 60-90%, nos dois sistemas. Ambos necessitam de pouca área para sua instalação e têm custo de implantação e operação reduzido. A produção de lodo é muito baixa e podem produzir maus odores. Estes sistemas não tem condições de atender, caso exigido, padrões muito restritivos de lançamento do efluente.

Ainda nesta categoria há o biodigestor, que é um reator com um mecanismo biológico para estabilização da matéria orgânica, via bactérias anaeróbias, e outro físico para decantação das partículas. O efluente circula no reator em sentido vertical e de baixo para cima. Suas vantagens são a facilidade de operação, a rapidez na instalação e o baixo custo de implantação/operação. Entre as desvantagens está a baixa remoção de DBO, entre 60-70%.

- **lagoas anaeróbias** - São lagoas mais profundas - até 4,5m - e reduzida área superficial. As bactérias anaeróbias decompõem a matéria orgânica em gases, sendo baixa a produção de lodo. Este tratamento é adequado para efluentes com altíssimo teor orgânico, a exemplo do esgoto de matadouros, não se aplicando aos esgotos domésticos cujo DBO é inferior.
- **lagoas de estabilização aeradas** - Sistema mecanizado e aeróbio. O oxigênio é fornecido por equipamentos mecânicos - os aeradores - ou por ar comprimido através de um difusor submerso. A remoção do DBO é função do período de aeração, da temperatura e da natureza do esgoto. O despejo de efluente industrial deve ser controlado para não prejudicar a eficiência do processo. Os sólidos dos esgotos e as bactérias sedimentam, indo para o lodo do fundo, ou são removidos em uma lagoa de decantação secundária. O processo tem baixa produção de maus odores, sendo a eficiência na remoção de DBO de 70 a 90% e na eliminação de patogênicos de 60 a 99%. Requerem menos área do que os sistemas naturais, porém ocupam mais espaço que os demais sistemas mecanizados. O consumo de energia já é razoavelmente elevado. Em períodos entre 2 a 5 anos é necessária a remoção do lodo da lagoa de decantação.
- **ar difuso** - Sistema mecanizado e aeróbio, no qual a aeração é feita pelo bombeamento de ar comprimido transportado por uma rede de distribuição até os difusores no fundo do tanque de aeração. O tanque pode ser construído em diversos formatos e permite profundidades maiores, como é o caso do poço profundo (“deep shaft”) que requer pouca área para sua instalação. A rede de distribuição pode ser fixa ou móvel e superficial ou submersa. O sistema de difusão de ar comprimido pode ser de bolhas finas, médias ou grandes. Quanto menor a bolha maior a eficiência na transferência de oxigênio e maiores os problemas de manutenção. A eficiência na remoção de DBO e na eliminação de patogênicos assemelha-se a da lagoa de estabilização aerada.
- **lodos ativados** - Sistema mecanizado e aeróbio. A remoção da matéria orgânica é feita pelas bactérias que crescem no tanque de aeração e formam uma biomassa a ser sedimentada no decantador. O lodo do decantador secundário é retornado, por bombeamento, ao tanque de aeração, para aumentar a eficiência do sistema. O oxigênio é fornecido por aeradores mecânicos superficiais ou por tubulações de ar no fundo do tanque. Tais sistemas podem operar continuamente ou de forma intermitente, e quase não produzem maus odores, insetos ou vermes. A eliminação de DBO alcança de 85 a 98% e a de patogênicos de 60 a 90%. A instalação requer área reduzida mas envolve a necessidade de diversos equipamentos (aeradores, elevatórias de

recirculação, raspadores de lodo, misturador de digestor, etc.). Seu custo de implantação é elevado devido ao grau de mecanização e tem alto custo operacional graças ao consumo de energia para movimentação dos equipamentos. Necessita de tratamento para o lodo gerado, bem como sua disposição final.

- **filtros biológicos** - A estabilização da matéria orgânica é realizada por bactérias que crescem aderidas a um suporte de pedras ou materiais sintéticos. O esgoto é aplicado na superfície através de distribuidores rotativos, percola pelo tanque e sai pelo fundo. A matéria orgânica fica retida pelas bactérias do suporte, permitindo elevada eficiência na remoção de DBO (de 80 a 93%). A eliminação de patogênicos está entre 60 - 90%. A instalação não requer área extensa e sua mecanização exige equipamentos relativamente simples (distribuidor rotativo, raspadores de lodo, elevatória para recirculação, misturador para digestor, etc.). O custo de implantação é alto e há necessidade de tratamento do lodo gerado e sua disposição final. Entre os inconvenientes estão a dificuldade na operação de limpeza e a possibilidade de proliferação de insetos.
- **biofiltro aerado submerso** - Sistema mecanizado e aeróbio. Compreende um reator biológico de culturas bacterianas que são fixadas em camada suporte instalada na parte média. O esgoto é introduzido na base do reator, através de um duto, e a aeração é suprida por tubulação também pela base. O líquido é filtrado pelo material no suporte e passa para o nível superior do reator já tratado. A remoção de material orgânico é compatível com os processos de lodos ativados e de filtros biológicos. Sua grande vantagem está na reduzida necessidade de área para instalação e na possibilidade de serem enterrados no subsolo.
- **tratamento com oxigênio puro** - Sistema mecanizado cujo processo aeróbio utiliza o oxigênio puro no lugar do ar atmosférico. Os principais componentes são, em geral, o gerador de oxigênio, um tanque de oxigenação compartimentado e com cobertura, um decantador secundário e bombas para recirculação dos lodos ativados. Comparado aos sistemas aerados convencionais, apresenta alta eficiência - a eliminação de DBO alcança a faixa de 90 a 95%, sendo efetuada em tempo reduzido e suportando altas cargas de matéria orgânica. Outros aspectos positivos são a possibilidade de controle total da emissão de maus odores e a produção reduzida de lodo. A instalação não demanda grande área e seus equipamentos são de pequeno porte. O consumo de energia equivale a 30% da energia requerida em processo de aeração com ar atmosférico. No Brasil, até a presente data, esse sistema tem sido utilizado principalmente no tratamento de efluentes industriais pois o seu custo tem sido um fator impeditivo para o uso no tratamento de esgotos domésticos.
- **tratamento com biotecnologia** - Sistema não precisa ser mecanizado e é anaeróbio. Baseia-se no aumento da eficiência do processo natural, adicionando-se bactérias selecionadas e concentradas. As bactérias utilizadas são aquelas com maior capacidade para decomposição, conforme o material predominante no efluente. O processo consiste na inoculação contínua das bactérias no fluxo de efluente, o qual deverá ser retido durante alguns dias. Os tanques ou lagoas para tratamento não precisam ter um formato especial e não têm limite de profundidade. Esse processo reduz a geração de lodos e o aspecto importante a considerar é a segurança - o composto de bactérias não pode ser tóxico ou patogênico, isto é, não pode provocar qualquer dano à vida vegetal ou animal. Este tratamento pode ser aplicado diretamente em fossa séptica - equivalente à fase primária do tratamento de esgoto e, neste caso, o problema maior é o controle sobre a efetivação do tratamento pois a fossa séptica é uma solução individual.

Dentre os sistemas apresentados, verifica-se tendência à procura pela redução do investimento inicial na instalação de uma Estação de Tratamento de Esgoto - ETE, bem como pela minimização do custo operacional. Um dos fatores que eleva o custo de operação é o uso intensivo de equipamentos, com o conseqüente aumento nas despesas de energia elétrica. O custo da energia e sua escassez em várias regiões do mundo também têm motivado pesquisas para a criação de soluções com menor demanda energética.

Sob a ótica da redução no investimento inicial, têm-se desenvolvido soluções para implantação gradativa ou modular de ETEs, sendo as estações do tipo compactas e simplificadas. A descentralização traz como vantagem a diminuição nos custos da rede coletora de esgoto.

Em áreas com escassez de água, a tecnologia de tratamento tem-se aperfeiçoado para permitir o reuso da água, especialmente na agricultura, grande consumidora, e na indústria, para refrigeração dos equipamentos ou em processos que não requerem água potável.

Cabe comentar ainda que há uma evolução nas técnicas de tratamento que reduzem a geração de lodo ou que possibilitam o seu reaproveitamento.

### **2.3) Subprodutos do tratamento do esgoto**

O tratamento de esgotos gera como subprodutos o lodo, o efluente tratado e o biogás. O lodo é o resultado da remoção e concentração da matéria orgânica contida no esgoto. A quantidade e a natureza do lodo dependem das características do esgoto e do processo de tratamento empregado<sup>6</sup>.

Na fase primária do tratamento, o lodo é constituído pelos sólidos em suspensão removidos do esgoto bruto, e na fase secundária o lodo é composto, principalmente, pelos microorganismos (biomassa) que se reproduziram graças à matéria orgânica do próprio efluente. Os sistemas de tratamento que dependem da remoção freqüente do lodo para sua manutenção, já dispõem de processamento e disposição final desse material como parte integrante da estação, como é o caso de processos com lodos ativados ou filtros biológicos.

O tratamento do lodo tem por objetivo, basicamente, a redução do volume e do teor de matéria orgânica (estabilização), considerando a disposição final do resíduo. As técnicas mais usuais para processamento do lodo são: armazenamento antes do processamento em decantadores ou em tanques separados; espessamento antes da digestão e/ou desidratação por gravidade ou por flotação com ar dissolvido; condicionamento antes da desidratação através de tratamento químico, estabilização por digestão anaeróbia ou pela aeração; desidratação por filtro a vácuo, filtros-prensa, centrifugação, leitos de secagem ou lagoas.

A disposição final do lodo pode ser feita em aterros sanitários, juntamente com o lixo urbano, em incineradores e na restauração de terras (controle de voçorocas). Vale salientar que os lodos são ricos em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e micronutrientes. Existe, portanto, a alternativa de seu aproveitamento agrícola - aplicação direta no solo, uso em áreas de reflorestamento e produção de composto orgânico.

Quanto ao efluente tratado, pode ser utilizado para fins não potáveis em áreas de escassez de água. O reuso da água, isto é, a utilização do efluente tratado em atividades que não necessitam de

---

<sup>6</sup> Em média, para cada 400 litros de esgoto são gerados 2 litros de lodo concentrado.

potabilidade significa a economia de água potável<sup>7</sup>. Sobre o biogás existem inúmeros estudos para o seu aproveitamento racional, destacando-se sua utilização para geração de energia elétrica para a própria estação de tratamento de esgoto, além do uso como gás doméstico, industrial ou combustível para veículos.

### **3. Consideração Final**

Com exceção do uso da biotecnologia para tratamento de efluentes, as tecnologias relacionadas neste trabalho são bem antigas e apresentam soluções adequadas para todo tipo de área urbana. A não adoção de qualquer sistema de tratamento para o esgoto gerado no país não pode ser associada, portanto, à ausência de alternativas tecnológicas acessíveis.

***Equipe responsável: Geset-4/AI***

Zilda Borsoi - Gerente

Maria Lucia Camisão

Nora Lanari

Solange Torres

Simone Mures Gomes - Estagiária

---

<sup>7</sup> O reuso pode ser aplicado na agricultura (irrigação de culturas forrageiras), na indústria (torres de resfriamento, caldeiras, construção civil, etc.), na aquicultura (alimentação de reservatórios de produção de peixes e plantas aquáticas), na irrigação de parques e jardins públicos ou condominiais, etc.