

DISCUSSÕES SOBRE O NITROGÊNIO AMONIAL E DOS IMPACTOS AO MEIO AMBIENTE PELO DESCARTE DE ESGOTOS SANITÁRIOS *IN NATURA* NOS CORPOS D'ÁGUA

D. A. Santos¹, R. S. Jacob²

¹Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil
(diegoaugusto79@yahoo.com.br)

²Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, Brasil

Por meio deste trabalho é feita uma discussão sobre o nitrogênio amoniacal e dos impactos relacionados ao descarte de esgotos sanitários sem tratamento nos corpos d'água. Assim, é realizada uma revisão bibliográfica para objetivar a produção de um conteúdo que discuta de forma abrangente os aspectos relacionados à ação do nitrogênio como macronutriente, causando a eutrofização que se caracteriza pelo crescimento descontrolado de algas, provocando a morte da fauna e flora aquática.

Palavras-chave: Nitrogênio amoniacal; esgotos sanitários; sustentabilidade; problemas ambientais.

INTRODUÇÃO

O lançamento de esgotos sanitários *in natura* nos corpos d'água vem causando problemas relacionados ao crescimento descontrolado de algas, diminuindo a taxa de fotossíntese em regiões mais profundas em função da formação de uma camada vegetal que impede a entrada de luz solar. Tal fenômeno é conhecido como eutrofização, sendo causado pelo excesso de nutrientes na água (principalmente nitrogênio e fósforo), produzindo um aspecto esverdeado em razão da referida camada vegetal, diminuindo a concentração de oxigênio dissolvido e causando a morte de peixes e da fauna aquática. Com a baixa de oxigênio e presença de material em putrefação, ocorre o desenvolvimento de bactérias anaeróbias que utilizam os substratos como fonte de energia, terminando com a liberação de ácido sulfídrico.

O nitrogênio é o gás mais abundante da atmosfera, correspondendo a 78,1% do total. A conversão do elemento em questão em compostos nitrogenados ocorre por um processo denominado biofixação, em que cianobactérias realizam o processo em questão na água por processos enzimáticos capazes de quebrar as triplas ligações do N₂. Por outro lado, nos solos, bactérias do gênero *Rizobium* encontradas nas raízes de leguminosas realizam um processo similar pela produção de amônia. Por fim, a amônia produzida é combinada com produtos intermediários do metabolismo dos carboidratos, gerando proteínas e ácidos nucleicos. As formas químicas do nitrogênio podem ser mais bem representadas pela amônia,

nitrito, nitrato e nitrogênio orgânico, sendo todas interconversíveis em forma de ciclo.

A principal fonte de nitrogênio amoniacal são os esgotos sanitários que, por meio da excreção de produtos nitrogenados, torna-se a principal causa da poluição em corpos d'água. A ureia, substância que deriva do metabolismo das proteínas em animais, sofre decomposição no meio ambiente pela ação dos micro-organismos, produzindo amônia.

A Deliberação Normativa (DN) Conjunta COPAM-CERH nº 08 de 2022 foi publicada em Dezembro do ano em questão e se trata de uma revogação da DN COPAM nº 01 de 2008, sendo mais restritiva ao descarte dos esgotos sanitários por limitar o nitrogênio amoniacal a 20 mg/L.

Como objetivos deste trabalho, pode-se mencionar que fora realizada uma revisão bibliográfica com o intuito de descrever de forma resumida as diferentes visões sobre um assunto que se apresenta diverso sob o surgimento de novas contribuições e também às referidas mudanças na legislação ambiental que procuram atender ao cenário o qual foram produzidas.

DESENVOLVIMENTO

Os esgotos sanitários

Em tempos remotos, quando o homem começou a se assentar em cidades, a coleta de águas servidas (o que hoje chamamos de esgoto sanitário), passava ser uma preocupação para a época. Em 3750 a.C. eram construídas galerias de esgotos na Índia e Babilônia. Em 3100 a.C. têm-se o emprego de manilhas cerâmicas (NETTO, 1984). Na Roma Imperial eram feitas ligações das casas até os canais, sendo uma iniciativa individual que não contemplava toda a população.

Na Idade Média não há registros quanto a grandes realizações em saneamento. Tal negligência aliada ao desconhecimento da microbiologia até o século XIX foram as grandes causas de epidemias que assolaram a Europa entre os séculos XIII e XIX influenciadas pelo crescimento das cidades.

Entre os anos de 1345 e 1349 houve uma terrível pandemia de peste bubônica que matou 43 milhões de pessoas em uma época em que a população mundial não passava de 400 milhões. Hoje, sabe-se que a causa da doença são as pulgas transmitidas por ratos infectados, demonstrando a precariedade das condições sanitárias na época. Há um consenso entre autores de que o investimento em obras de saneamento básico foram muito mais impactantes do que as intervenções médicas no tratamento dos doentes.

Em Londres (Inglaterra), somente a partir de 1815 os esgotos começaram a ser lançados em galerias pluviais; em Hamburgo (Alemanha), a partir de 1842, e em Paris (França), a partir de 1880 (Metcalf e Eddy, 1977). De acordo com Nuvolari (2019), a Inglaterra foi um dos países europeus mais castigados por pandemias em função dos seguintes fatos:

- Considerada o berço da Revolução Industrial, houve imensa migração do campo para a cidade;
- As cidades não contavam com infraestrutura adequada para atender ao novo contingente populacional;
- Os rios ingleses, por serem muito curtos e atravessarem muitas cidades, não apresentavam condições de autodepuração;
- Desconhecimento dos micróbios na Inglaterra e no mundo.

Certamente, pelos mesmos motivos, a Inglaterra se tornou pioneira no saneamento básico em função dos acontecimentos mostrados na Tabela 1 que influenciou as pesquisas locais.

Tabela 1. Acontecimentos atrelados ao surgimento das pesquisas em saneamento básico entre os séculos XIX e XX.

Ano	Ocorrência
1822	Levantamento das condições sanitárias do Rio Tâmisa
1848	Surgem as leis de saneamento e saúde pública
1854	John Snow prova a relação entre doença e qualidade da água
1857	Criado o Conselho de Proteção das Águas do Rio Tâmisa
1865	Experimentos de microbiologia e degradação de lodos
1882	Estudos sobre lodos ativados para tratar esgotos
1914	Arden e Lockett apresentam a proposta dos lodos ativados

Segundo Nuvolari (2019), pode-se afirmar que a partir das primeiras experiências, os países desenvolvidos, em especial a Inglaterra e os países europeus, os EUA, o Canadá, a extinta União Soviética e o Japão, começaram a tratar os esgotos de suas cidades.

No Brasil, o sistema de saneamento básico se tornou mais expressivo na década de 70, sendo que Nuvolari (2019) apresenta o caso do engenheiro J. P. de Jesus Netto, que em 1933, apresentou um estudo que demonstrava a intensa estiagem do Rio Tietê e a maior capacidade de transmissão de doenças.

Ao longo dos anos de 1950 e 1970, os moradores da periferia das grandes cidades paulistas não dispunham de sistema de abastecimento e nem esgotamento sanitário, sendo que a água era coletada em cisternas e os esgotos eram depositados em fossas negras. Com o aumento populacional, fazendo com que os lotes se tornassem menores, a distância que separava as fossas dos poços se encurtava, acentuando o risco de contaminação dos lençóis freáticos e, por consequência, do risco de transmissão de doenças. Diante o cenário de calamidade, a melhor opção foi a distribuição de água potável a população, havendo ainda precariedade na coleta de esgotos. No entanto, mesmo havendo coleta em

alguns locais, os efluentes eram lançados discriminadamente nos corpos d'água, decretando a degradação dos rios da Região Metropolitana e dificuldades no abastecimento em função das baixas vazões fluviais.

Atualmente, apesar de várias cidades brasileiras terem Estações de Tratamento de Esgotos (ETE), a maioria não trata os efluentes, ficando a margem dos quesitos que envolvem saúde pública e não disponibilidade de mananciais para abastecimento.

De acordo com a NBR 9648, o esgoto sanitário pode ser definido como despejo líquido constituído de esgoto doméstico e industrial, água de infiltração e contribuição pluvial parasitária (ABNT, 1986). A norma ainda esclarece os seguintes quesitos:

- O esgoto doméstico é o despejo líquido resultante da água utilizada para higiene e necessidades fisiológicas;
- O esgoto industrial é o despejo líquido resultante dos processos industriais respeitados os padrões de lançamento;
- A água de infiltração é toda água presente no subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- A contribuição de água parasitária é a parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário.

O esgoto é gerado pela quantidade de água de abastecimento consumida. Segundo Nuvolari (2019), o consumo é expresso em taxa *per capita* e varia segundo o local, costumes, cultura e hábitos. No Brasil, a taxa usual é de 200 L/hab., sendo que nas grandes cidades do mundo, os valores chegam a 3 a 4 vezes a média brasileira, produzindo um efluente mais diluído em função da quantidade padrão de geração de resíduo por pessoa.

A taxa *per capita* inclui uma parcela industrial relativa às pequenas indústrias e também parte relativa às perdas. Os motivos mais comuns relacionados ao prejuízo no abastecimento de água quanto ao “sumiço” de água se dá em função de vazamentos, roubos (sendo popularmente conhecidos como “gatos”), e ineficiência da gestão. No Japão, o percentual de perda é de 8%, ao passo que no Brasil, o volume perdido é de 38%. Portanto, segundo Nuvolari (2019), a água perdida não chega aos domicílios e não compõe os esgotos, sendo necessário considerar a taxa de consumo efetivo menor do que a de distribuição.

A água de infiltração e de contribuição pluvial parasitária chega à canalização pela percolação através do solo fragilizado por escavação e otimizada pela superfície do tubo até encontrar falhas que

permita a penetração. Segundo Nuvolari (2019), esta situação ocorre quando o nível de água no solo está acima da cota de assentamento dos tubos. Por outro lado, Nuvolari (2019) ressalta outra forma de penetração de água nas tubulações pelas áreas internas de edificações e também por poços, escoando volume considerável para a rede coletora por meio de chuvas intensas.

De acordo com Nuvolari (2019), a composição do esgoto pode ser mais bem expressa por: 99,87% de água, 0,04% de sólidos sedimentáveis, 0,02% de sólidos não sedimentáveis e 0,07% de substâncias dissolvidas.

Dada a forte prevalência de água nos esgotos, admite-se que suas propriedades físicas sejam semelhantes às da água. Portanto, em questão de escoamento para efluentes, admite-se que tenha as características da água.

As principais finalidades para a instalação de sistemas de coleta de esgotos se baseia no atendimento aos aspectos higiênicos, sociais e econômicos.

Para os aspectos higiênicos, os sistemas de coleta de esgotos melhoram a qualidade de vida pela eliminação de odores desagradáveis que prejudicam o aspecto visual, estético bem como as atividades de recreação em ambientes próximos.

Por sua vez, os aspectos econômicos podem ser descritos pelo aumento da produtividade agropastoril e industrial pela melhora do ambiente rural ou urbano, pela proteção do rebanho e dos trabalhadores envolvidos.

Nuvolari (2019) aponta que as questões relativas à flora e fauna refletem na economia pela preservação dos recursos hídricos e das terras marginais a jusante para a utilização pelo homem, a saber: abastecimento, irrigação, geração de energia, navegação, dessedentação de animais, esportes, lazer e outros, sendo estes inviabilizados pelo lançamento indiscriminado de esgotos sanitários na água ou solo.

O funcionamento de uma ETE

A água é utilizada para diversas atividades do dia a dia, a saber: beber, cozinhar, tomar banho, lavar louça, descarga no vaso sanitário, entre outras. Após ser eliminada, torna-se esgoto. Assim, a origem do esgoto pode ser doméstica, pluvial e industrial. O lançamento indiscriminado de esgotos *in natura* no meio ambiente causa impactos de ordem ambiental, social e àqueles relacionados à saúde pública em razão do potencial de transmissão de doenças. Com isso, as autoridades sanitárias instituíram padrões de qualidade dos esgotos para o descarte seguro com

fins voltados à saúde coletiva e preservação ambiental.

Através da rede coletora pública, o esgoto doméstico se direciona à ETE, sendo recolhido por um longo sistema de ramais prediais e transportado a grandes distâncias por adutoras subterrâneas. Uma vez instalada a rede coletora e a estação de tratamento, cabe aos usuários a solicitação da ligação da residência à rede coletora, contribuindo com a saúde coletiva e preservação ambiental.

As tecnologias de tratamento de esgotos são classificadas em processos físicos, químicos e biológicos. De acordo com Dolabella (2019), os procedimentos em questão não atuam de forma isolada, sendo que o mais adequado a um determinado tipo de efluente pode ser definidos por:

- Características do efluente;
- Atendimento às exigências legais;
- Área disponível;
- Custo.

No tratamento de esgotos, os processos físicos se baseiam na remoção de sólidos flutuantes com dimensões grandes, areias, óleos e gorduras. De acordo com Dolabella (2019), são considerados processos físicos os seguintes elementos:

- Caixas de areia: Destinam-se a reter areias e detritos pesados em suspensão. São utilizadas para proteger as bombas e tubulações contra a abrasão e entupimento. Em instalações de tratamento de despejos industriais, as caixas de areia são construídas como canais com velocidade de escoamento controlada. Com isso, mantêm-se os sólidos mais leves em suspensão, separando-os dos mais pesados. A seção de uma caixa de areia é calculada como a relação entre a vazão pela velocidade;
- Decantadores: Empregados para separar os sólidos sedimentáveis nos esgotos. Podem ser classificados em dispositivos preenchidos intermitentemente ou de carga constante. Os decantadores mais simples são lagoas de decantação, em que o lodo pode ou não ser removido. Assim, caso se remova o lodo, pode-se utilizar bombas ou outra unidade em paralelo. Em despejos que predominam compostos orgânicos, o lodo deve ser removido para evitar processos anaeróbios. A remoção para estes casos deve ser realizada por descargas hidrostáticas ou através de raspadores ou aspiradores flutuantes;
- Grades: Destinam-se a remover sólidos grosseiros em suspensão e também são empregados na proteção de bombas,

válvulas e outros equipamentos contra obstrução. Podem ser de limpeza manual ou mecanizada. O primeiro tipo, isto é, manuais, são assentadas em um ângulo de 30 a 40° com a horizontal. Por outro lado, a instalação das mecanizadas é realizada em função das especificações do fabricante. Com relação ao espaçamento entre barras, pode-se dizer que são especificadas de acordo com a finalidade a que se destinam, variando aberturas desde 1 a 2 cm até 5 a 10 cm;

- Peneiras simples ou rotativas: São dispositivos destinados em reter partículas finas. Para evitar o entupimento, deve-se utilizar o tipo rotativo. Como exemplo de aplicação, têm-se as indústrias de conservas de pescado realiza a separação de espinhas e escamas;
- Tanques de remoção de óleos e graxas: Os óleos e gorduras presentes nos efluentes formam uma espuma de estética desagradável além de prejudicar o tratamento biológico. Provocam redução da velocidade da água e apresentam uma superfície serena. Enquanto os sólidos mais densos se depositam no fundo formando o lodo, os corpos menos densos sobem à superfície e forma a espuma. As leis que regem o fenômeno em análise são as análogas às dos sólidos granulares, tendo como premissa o fato de que o processo de sedimentação ocorre ao inverso do descrito, isto é, as partículas maiores sobem com velocidade maior do que as menores. A área de superfície livre é a razão entre a vazão dos despejos e a velocidade mínima de ascensão. O tempo de detenção tem influência na agregação de partículas, sendo que a velocidade de ascensão pode ser determinada experimentalmente pela observação do tempo necessário para se elevar determinada porção de óleo à camada superficial.

Os processos químicos se baseiam na neutralização dos efluentes industriais para atender aos pressupostos da legislação ambiental e/ou preservar partes posteriores do sistema de tratamento. De acordo com Dolabella (2019), os principais reagentes utilizados são:

- Para efluentes alcalinos: Ácido sulfúrico, clorídrico e dióxido de carbono;
- Para efluentes ácidos: Lama de cal, calcário, carbonato de sódio e soda cáustica.

Os processos biológicos são baseados na ação dos micro-organismos para reduzir a matéria orgânica dos efluentes e reproduzem o que ocorre na natureza

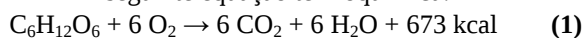
há milhões de anos. Os seres vivos presentes nos tratamentos biológicos se desenvolvem pela abundância de nutrientes que são utilizados na síntese de ATP (Trifosfato de adenosina).

O tratamento convencional de esgotos em nível secundário e pelo processo dos lodos ativados se aproveita da ação dos micro-organismos decompositores aeróbios sobre a matéria orgânica particulada e solúvel que passou pelos decantadores primários. Segundo Nuvolari (2029), o processo em descrição ocorre no reator ou tanque de aeração, introduzindo ar com o intuito de se manter certa quantidade de oxigênio dissolvido (normalmente na faixa de 1 a 2 mg/L), criando condições favoráveis para o crescimento de micróbios responsáveis pela decomposição da matéria orgânica. Ainda segundo Nuvolari (2019), a matéria orgânica solúvel é facilmente assimilada e absorvida pela massa biológica, ao passo que a finamente particulada e também a dissolvida, mas de cadeias carbônicas maiores ou de difícil degradação, sofrem inicialmente a ação de enzimas expelidas pelos micro-organismos. No reator, os micróbios se juntam em flocos biológicos, promovendo a decomposição dos compostos orgânicos. Caso esses agrupamentos sejam lançados na natureza, começariam a morrer, servindo de alimento a outros seres vivos e continuariam a causar problemas na depleção de oxigênio dissolvido. Por fim, Nuvolari (2019) descreve que os flocos biológicos removidos no decantador secundário são denominados lodo biológico (ou lodo secundário), e resultam da transformação da matéria inorgânica nas células vivas, sendo importante manter os lodos com certa quantidade de seres vivos com o intuito de garantir a rapidez na degradação dos compostos orgânicos oriundos dos esgotos.

Segundo Nuvolari (2019), os micro-organismos responsáveis pela decomposição da matéria orgânica são também denominados heterótrofos saprófitas. As principais características desses seres vivos são:

- Alimentam-se da matéria orgânica em decomposição para produzir ATP e se reproduzir. Ex.: Bactérias, protozoários, fungos, etc.;
- Utilizam água, substâncias simples e complexas em sua nutrição e reprodução;
- São capazes de decompor substâncias complexas (proteínas) em compostos mais simples (aminoácidos) por ação enzimática exógena;
- Obtém energia basicamente pela oxidação da glicose;
- São também chamados de micro-organismos “decompositores” ou “enzimáticos” ou “consumidores de energia”;
- Utilizam O_2 livre ou OD;

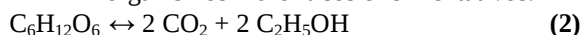
- No interior das células ocorre a respiração celular traduzida simplificada pela seguinte equação termoquímica:



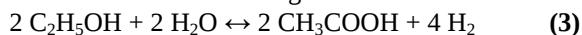
Na eq. 1 pode-se notar que a glicose ($C_6H_{12}O_6$) é oxidada no interior da célula a gás carbônico e água, produzindo 673 kcal como balanço total de energia. O oxigênio (O_2) é utilizado como receptor final de elétrons, produzindo moléculas de água e evitando a acidose celular.

Os micro-organismos anaeróbios vivem em ambientes sem oxigênio livre. Portanto, a respiração celular desses seres vivos se processa em 3 estágios, a contar:

- Estágio 1: fermentação realizada por micro-organismos hidrolíticos e fermentativos.

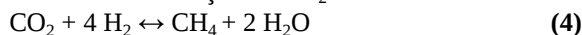


- Estágio 2: formação de hidrogênio por bactérias acetanogênicas.

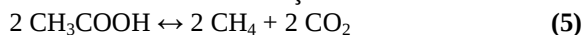


- Estágio 3: formação de metano por bactérias metanogênicas.

- Pela redução do CO_2 :



- Pela descarboxilação do acetato:



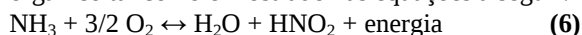
De acordo com Nuvolari (2019), as bactérias redutoras de sulfato produzem acetato, H_2 e sulfetos que são utilizados pelas bactérias metanogênicas.

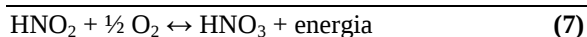
A geração de lodo é um fator inerente ao tratamento de esgotos, sendo um processo que deve ser destacado em projeto.

De acordo com Dolabella (2019), a destinação final do lodo poderia incluir compostagem junto com o resíduo municipal para geração de biocomposto ou destinação final em aterros. Para Dolabella (2019), a primeira alternativa seria a mais viável por se apresentar mais ambientalmente favorável, pois o lodo apresenta significativa concentração de nitrogênio (4 a 5% m/m), fósforo (1 a 2% m/m) e matéria orgânica (maior do que 20% m/m).

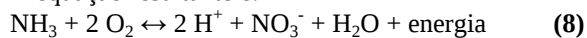
No entanto, a presença de metais no material poderia inviabilizar a compostagem, contaminando as águas superficiais e subterrâneas por lixiviação.

Na remoção do nitrogênio dos efluentes são utilizados micro-organismos que realizam processos de nitrificação, que se baseia na conversão de amônia em outros produtos nitrogenados, tais quais, o nitrato, nitrato e nitrogênio orgânico, como aponta Dolabella (2019), e desnitrificação, que se baseia na produção de gás nitrogênio a partir de substâncias nitrogenadas. A energia liberada nesses processos, segundo Dolabella (2019), é utilizada pelas bactérias para redução do dióxido de carbono a carbono orgânico tal como e mostrado nas equações a seguir.





A equação resultante é:



Monitoramento dos esgotos sanitários

O monitoramento dos esgotos sanitários tem como objetivo fornecer variações das características dos efluentes com vistas à detecção de processos que venham a comprometer a saúde coletiva e/ou causar degradação ambiental. De acordo com Dolabella (2019), são etapas fundamentais do monitoramento:

- Definição dos objetivos da amostragem;
- Seleção dos parâmetros;
- Seleção dos pontos de amostragem;
- Fixação do número de amostras;
- Fixação da frequência da amostragem;
- Seleção dos métodos analíticos;
- Seleção dos métodos de coleta;
- Avaliação dos resultados.

Amostragem

A coleta interfere diretamente nas etapas posteriores do processo investigativo, sendo a cautela uma premissa necessária para se alcançar bons resultados. Segundo Dolabella (2009), os objetivos da amostragem são definidos de acordo com a classificação da água segundo o destino, sendo classificada como simples (uma única amostra a ser colita uma única vez) ou composta (várias amostras são colidas diversas vezes durante intervalos de tempo regulares). Os parâmetros adotados avaliam a poluição por meio do estabelecimento de questões sobre as fontes poluentes, sendo que alterações na temperatura, pH, sólidos totais e turbidez são indicativos de que há processos que geram impactos ambientais. Segundo Dolabella (2009), a poluição orgânica é medida pelos seguintes índices: Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), oxigênio dissolvido (OD), cloreto e fenóis, ao passo que a inorgânica é avaliada pela dosagem de metais, praguicidas e outras substâncias tóxicas. Por outro lado, a contagem de coliformes totais e fecais (*Escherichia coli*) define a contaminação bacteriana. No entanto, outras análises podem ser requeridas para avaliar com mais profundidade a condição sob a qual um determinado meio se encontra.

Os termos adotados no processo de amostragem são autoexplicativos, sendo necessário adotá-los de forma correta. Dolabella (2019) discute algumas terminologias:

- Amostra: Porção de água de interesse que foi coletada e transferida do ponto de amostragem no corpo d'água para a posterior análise;
- Amostra para análise: Significa que toda ou parte da amostra após ter sido preparada para análise;

- Amostras simples (*Grab sampling*): Amostragem baseada na coleta de uma alíquota de amostra, em diferentes pontos e dias, sendo que a análise se processa por período e ponto específico;
- Amostras compostas (*Composite sampling*): Amostragem baseada na coleta de n alíquotas em dias e pontos diferentes com posterior mistura das porções para se ter uma amostra representativa de uma situação geral.

Ainda de acordo com Dolabella (2019), em qualquer situação que ocorra a coleta, seja água superficial ou subterrânea, tratada ou bruta, sedimento de fundo ou biota aquática ou mesmo efluentes, alguns cuidados devem ser tomados, a saber:

- As amostras devem estar isentas de partículas grandes, detritos, folhas ou outro tipo de material estranho, exceto quando se tratar de sedimento;
- O volume de amostra deve ser suficiente para as análises e com margem para repetições;
- As análises realizadas no campo devem ser realizadas em alíquotas diferentes das que serão enviadas ao laboratório;
- Os frascos devem ser cuidadosamente limpos e rotulados. Assim, tanto os recipientes quanto o acondicionamento – em geral, o abrigo da luz, refrigeração e condições estabelecidas para parâmetros a serem realizados à temperatura ambiente – devem ser adequados às análises;
- Os preservativos ou fixadores adicionados devem ser de grau analítico;
- Os rótulos ou etiquetas do tipo crachá dos frascos devem conter informações que dizem respeito ao procedimento realizado em campo, tais quais: pH, temperatura, condutividade, data, hora e responsáveis pela coleta.

Portanto, ao se realizar a amostragem, todos os cuidados devem ser tomados antes e após o processo, definindo-se os objetivos, métodos, instrumentos, tipos de frascos, preservação, acondicionamento e transporte.

Técnicas de preservação de amostras

Para que se obtenham resultados que representem a realidade, torna-se necessário preservar as amostras e repetir os intervalos máximos entre a coleta e

análise. Assim, torna-se importante saber qual o processo para preservar a amostra ao se realizar determinado parâmetro. Segundo Dolabella (2019), os processos preservativos mais comuns são:

- Adição química: Não é empregada em amostras a serem submetidas à análise biológica (coliformes totais e fecais e DBO). Para se preservar amostras que se destinam a quantificação das comunidades de fito e zooplâncton, torna-se necessário o uso de formaldeído a 4% v/v e tamponamento com tetraborato de sódio;
- Congelamento: Não é utilizado para amostras destinadas às análises de células e resíduos sólidos;
- Refrigeração: Embora não mantenha a integridade para todos os parâmetros, trata-se da técnica mais usada em trabalhos de campo.

O nitrogênio amoniacal (N-NH₃)

O nitrogênio é um elemento essencial para os seres vivos, pois faz parte da composição do DNA, RNA, proteínas, clorofila e ATP, sendo que sua assimilação pelo homem ocorre por meio da alimentação. Segundo Willian Crookes, em sua posse na Associação Britânica para o Avanço da Ciência (1898), diz que “a fixação do nitrogênio é de importância vital para o progresso da humanidade civilizada, e, ao menos que possamos classificá-la entre as realidades do futuro, a grande raça Caucásica deixará de ser a primeira do mundo, alijada da existência pelas raças para as quais o pão de trigo não é o esteio da vida. A fixação do nitrogênio atmosférico é, portanto, uma grande descoberta aguardando os químicos (...)”.

Tal como dito anteriormente, o nitrogênio é essencial à vida terrestre, sendo o formador de biomoléculas nos seres vivos. O principal reservatório do elemento em descrição é a atmosfera, sendo necessários os processos de conversão em função dos animais e plantas não conseguirem utilizá-lo de forma direta. Os animais necessitam de fontes que contenham nitrogênio através da incorporação por meio da dieta expressa em matéria orgânica rica em proteínas e aminoácidos, ao passo que os vegetais e algas o assimilam sob a forma de íons nitrato ou amônio.

Segundo Martins *et al* (2003), qualquer processo que resulte na transformação do nitrogênio atmosférico em compostos nitrogenados é denominado fixação, sendo que um grande número de bactérias pode converter o nitrogênio gasoso a amônia (NH₃) ou íon amônio (NH₄⁺) através da redução catalisada por enzimas, sendo conhecido o processo em questão por biofixação e representa 90% de toda fixação de origem natural

A Revolução Verde casou profundos impactos na forma de produção de alimentos, aumentando

drasticamente a qualidade e quantidade por meio dos avanços proporcionados pelas pesquisas na área de biotecnologia. Um desses processos foi a fixação industrial de nitrogênio com fins voltados à produção de fertilizantes.

Martins *et al* (2003) ressalta que para o ecossistema terrestre, na ausência de fertilizantes, a fixação biológica do nitrogênio gasoso pela bactéria do gênero *Rizobium* é a fonte mais importante do elemento em questão para os seres vivos. O micro-organismo em questão vive em nódulos ou raízes de leguminosas e representa um exemplo de simbiose, em que há benefício para ambas as espécies envolvidas em razão de o vegetal fornecer alimento para o micróbio, ao passo que este último concede compostos nitrogenados à planta, favorecendo a síntese de biomoléculas indispensáveis à vida. Nos ambientes aquáticos, de acordo com Martins *et al* (2003), as cianobactérias realizam a fixação do nitrogênio. A Figura 1 mostra o que fora exposto.

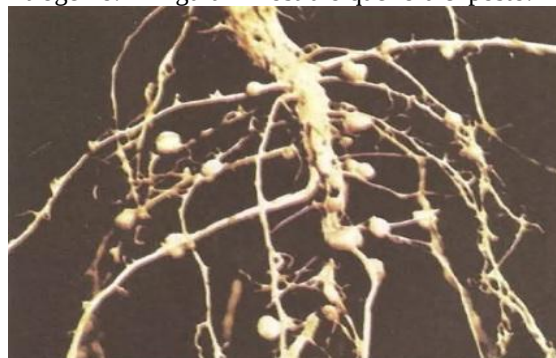


Figura 1. Nódulos de bactérias em raiz

Nos ambientes aquáticos naturais, o nitrogênio amoniacal (representado por NH_x) compreende as formas do íon amônio (NH₄⁺) e amônia (NH₃) que se encontram dissolvidos e coexistindo em equilíbrio com processos de fixação, nitrificação e desnitrificação executados por cianobactérias (GUIMARÃES, 2006). Por convenção, segundo Guimarães (2014), diversos autores têm concordado em chamar o NH₄⁺ de amônia ionizada e NH₃ de amônia não ionizada, ao passo que a soma da concentração das duas substâncias é denominada simplesmente como amônia ou amônia total.

Segundo Guimarães (2006), a amônia é uma substância tóxica que pode atingir níveis letais ou subletais em sistemas de cultivo estático, de recirculação ou em ambientes naturais em função dos despejos industriais e agrícolas, tornando o ambiente aquático intolerante à sobrevivência das espécies.

Por fim, ainda de acordo com Guimarães (2014), na água do mar, as concentrações de NH_x encontram-se na faixa nanomolar (1 nmol/L = 10⁻⁹ mol/L), normalmente menores do que 100 nmol/L. As concentrações elevadas de nitrogênio amoniacal ocorrem após as florações de fitoplâncton e nas

regiões costeiras, onde as concentrações encontram-se normalmente na faixa de 100 a 1000 nmol/L, podendo atingir 5000 nmol/L (ou seja, 5 μ mol/L).

Eutrofização

O termo limnologia deriva de *limné* e significa lago. Baseando-se na etnologia do termo, pode-se dizer que se traduz em uma “ciência dos lagos”. No entanto, segundo Esteves (1986), a limnologia se refere ao estudo de todos os corpos d’água continentais, sejam quais forem as origens, dimensões e grau de salinidade. Embora a maior parte da atenção se volte aos lagos e represas, como ressalta Esteves (1986), os rios também são objeto de estudo da disciplina em descrição, possuindo um corpo teórico próprio que faz ligações com outras partes do conhecimento, tais quais a botânica, zoologia, química, física, geologia e climatologia.

Desde 1901, com os trabalhos de F. A. Forel, até 1950, predominou na limnologia a discussão sobre a classificação dos lagos. De acordo com Esteves (1986), as discussões culminaram na classificação dos lagos em 3 tipos: os eutróficos, com elevada concentração de nutrientes e alta densidade de algas, os oligotróficos, pobres em nutrientes e baixa densidade de algas e os distróficos, pobres em nutrientes disponíveis, com baixa densidade de algas e grande concentração de substâncias húmicas (compostos que conferem cor amarelada à água).

Os lagos foram classificados em diferentes regiões, a depender dos tipos de organismos que habitavam suas partes. A luz solar é o combustível para os ecossistemas naturais, pois é absorvida pelos vegetais e convertida, juntamente com gás carbônico e sais minerais (fósforo, nitrato, silicatos, entre outros), em energia química pela produção de biomoléculas (carboidratos, proteínas e lipídeos). Este processo, como menciona Esteves (1986), é chamado de produção primária e serve de fonte energética para todas as cadeias alimentares dos ambientes lacustres. Por meio da fotossíntese, a energia é transmitida dos produtores para os consumidores, diminuindo de parcela com o aumento do nível trófico.

O fenômeno de estratificação térmica nos lagos é de fundamental importância para o metabolismo nos ecossistemas lacustres, segundo ressalta Esteves (1986). Ainda de acordo com Esteves (1986), o fenômeno em questão é resultante do aquecimento diferencial, uma vez que as camadas superiores de água são mais aquecidas pelo sol, encontrando-se como consequência, três níveis de diferentes densidades: a superficial ou epilímno, caracterizada por ser quente e pouco densa, a profunda ou hipolímno, sendo mais fria e densa e a intermediária ou metalímno, que mescla características das primeiras pela formação de correntes de convecção em função da diferença de temperatura e densidade.

Como consequência da estratificação da coluna d’água, todos os nutrientes da decomposição são acumulados no hipolímno. Paralelamente, segundo Esteves (1986), ocorre o empobrecimento da zona eufótica, gerando, para a maioria dos casos, a redução da produtividade primária no sistema. Por fim, Esteves (1986) aponta que a circulação da coluna d’água, ou seja, a desestratificação, restabelece as trocas de energia e matéria entre o epilímno e hipolímno, ao passo que os nutrientes acumulados no período anterior são transportados para a região eufótica, sofrendo reabsorção pelas algas.

Milhares de anos podem se passar até que um lago apresente condições ideais para a proliferação de peixes e plantas aquáticas superiores, sendo que esta condição, segundo a terminologia dos limnólogos, é caracterizada pela passagem das condições oligotróficas para eutróficas em um processo denominado eutrofização ou envelhecimento natural. Este fenômeno, isto é, a eutrofização, é subdividida em natural ou artificial, sendo, que, segundo Esteves (1986), o primeiro pode ser desencadeado pela ação da chuva no transporte de nutrientes, ao passo que o segundo, a artificial, é consequência da ação antropogênica sobre o ambiente por meio de processos mais acelerados.

Esteves (1986) discute que nas últimas décadas, a eutrofização natural tem sido agravada pelo lançamento dos esgotos domésticos e industriais, assim como a água para drenagem de áreas agrícolas, nos corpos d’água, aumentando significadamente as concentrações de nutrientes (principalmente, fósforo e nitrogênio), produzindo efeitos devastadores para os ecossistemas aquáticos. Assim, de acordo com Esteves (1986), os ambientes eutrofizados podem ser classificados em mesotrófico, quando há produtividade primária média em águas moderadamente fertilizadas, eutrófico, apresentando produção primária e biomassa acima do normal e hipetrófico, caracterizando-se produtividades muito elevadas e águas em estágio avançado de eutrofização.

A amônia, o fosfato e o nitrato são elementos que acentuam a eutrofização por serem macronutrientes indispensáveis ao metabolismo de algas e plantas aquáticas, sendo que em condições normais, esses compostos se apresentam em baixas concentrações, sendo um fator limitante ao crescimento da biomassa. No Brasil e na maioria dos países em desenvolvimento, a maior parte do esgoto *in natura* – incluindo o doméstico, industrial e de aquicultura – é despejado nos cursos d’água sem haver tratamento. Segundo relatos, essas enormes contribuições de matéria orgânica e poluentes são a principal causa da eutrofização de diversos ambientes aquáticos, o que tem despertado cada vez mais a atenção das pessoas

para a alta poluição dos rios e lagos. Devido à ampla utilização e diversificação de rios, lagos e suas bacias hidrológicas, é necessário definir a gestão sustentável desses ecossistemas. Para tanto, é necessário o monitoramento sistemático que gere dados de séries temporais para que se possa avaliar a evolução da qualidade da água e entender as mudanças (GADELHA, 2023).

A eutrofização artificial está relacionada à poluição, sendo que quase sempre apresenta consequências negativas imediatas sobre os organismos aquáticos e o meio ambiente, sendo que os efeitos podem se manifestar somente após muitos anos. Portanto, a eutrofização é um processo em cadeia que causa desequilíbrio ecológico por haver mais produção de matéria orgânica do que o sistema é capaz de decompor. A Figura 2 ilustra os efeitos da eutrofização artificial sobre o equilíbrio em lagos.

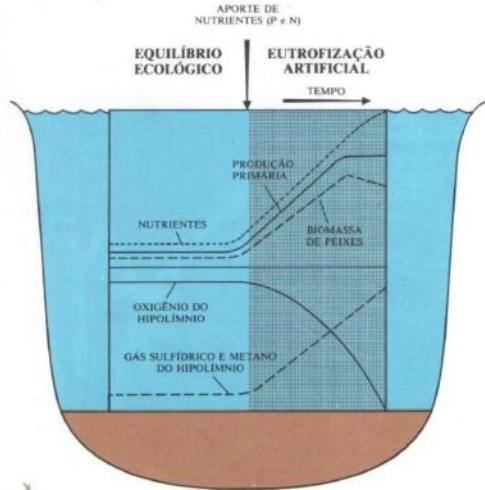


Figura 2. Efeitos da eutrofização artificial em lagos

O aumento da concentração de nutrientes implica não apenas no aumento da densidade de algas, mas também em alterações qualitativas que dizem respeito ao surgimento de novas espécies e desaparecimento de outras. Esteves (1986) aponta que nos lagos eutrofizados artificialmente observa-se, nos meses mais quentes do ano, altas densidades populacionais de algas, sobretudo cianobactérias dos gêneros *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena* e *Aphanizomenon* que ostentam florações características de ambientes eutrofizados. Ao atingir esse estágio, a água se torna imprópria para o abastecimento em função da elevada quantidade de substâncias tóxicas e malcheirosas excretadas pelas algas. Na região litorânea, o imenso crescimento das algas filamentosas tem como consequência a dificuldade da penetração da luz na água, provocando a morte das formas jovens de plantas aquáticas e interferência quanto aos processos reprodutivos de peixes.

A principais alterações decorrentes da eutrofização artificial dizem respeito às alterações físicas e químicas caracterizadas pela mudança brusca de pH, aumento da concentração de gases como metano e gás sulfídrico e biológicas representadas pela alteração da diversidade de seres vivos.

De acordo com Esteves (1986), o gás sulfídrico (H_2S) atinge a hemoglobina – pois reage com o centro ativo desta molécula – impedindo a hematose, ou seja, a assimilação do oxigênio dissolvido na água, matando os peixes por asfixia, tal como se nota na Lagoa Rodrigo de Freitas, no Rio de Janeiro. Além disso, ainda segundo Esteves (1986), a baixa concentração de OD favorece a desmineralização de sedimentos, causando, por exemplo, a liberação do íon ortofosfato, contribuindo para acentuar a eutrofização quando a substância em questão alcança a zona eufótica, aumentando a biomassa do fitoplâncton.

No estágio final do processo de eutrofização artificial, segundo Esteves (1986), o ecossistema lacustre é caracterizado pela pouca profundidade, coluna d'água com altos déficits de oxigênio, organismos mortos flutuando na superfície e grande quantidade de “colchões” de algas à deriva. Assim, o estado em questão, resultante do impacto das ações humanas sobre o meio ambiente apenas poderá ser revertido e questões de recuperação e/ou restauração pelo massivo investimento em tecnologias que diminuam a grande concentração de nutrientes na água aliadas a obras que promovam a extração das algas com vista à recuperação dos níveis normais de OD.

Portanto, segundo Esteves (1986), é imprescindível que as fontes de eutrofização artificial dos corpos d'água sejam reduzidas ao máximo ou mesmo eliminadas em tempo hábil, evitando o “envelhecimento precoce” e a morte do ecossistema.

CONCLUSÃO

Por meio deste trabalho é realizada uma discussão sobre o nitrogênio amoniacal e seus impactos no meio ambiente, comprometendo a qualidade das águas e causando a morte de animais e plantas. Os esgotos sanitários são a principal causa do excesso de nutrientes em rios e lagos, favorecendo o crescimento descontrolado da flora aquática, causando a eutrofização. Este processo pode ser natural ou artificial, sendo acentuado pela atividade humana. Portanto, torna-se necessário o monitoramento dos efluentes, seguindo todo o protocolo analítico para que haja proteção ao meio ambiente e diminuição dos custos com tratamento em estações.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Acquaveras Análises de Águas e Consultoria Ambiental LTDA e a GeoAvaliar Serviços Ambientais LTDA pelo apoio

dado à execução do Trabalho de Conclusão de Curso realizado no primeiro semestre de 2024.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRAASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9648: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário**. Rio de Janeiro, p. 1, 1986.

DOLABELLA, Luiza de Marilac Pereira. **Análise Química das Águas**. v. 4. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

ESTEVES, Francisco de A.; BARBOSA, Francisco Antônio Rodrigues. **Eutrofização Artificial: A Doença dos Lagos**. Ciência Hoje, v. 5, n. 27, p. 56-61, 1986.

GADELHA, José Eduardo Ferreira da Silva; FERREIRA, Karolayne de Franca; MARCIONÍLIO, Suzana Maria Loures de Oliveira; CASTRO, Raysa Moraes. **Consequências da eutrofização em corpos hídricos**. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v. 3, n. 1, 2023. Disponível em: <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/908>. Acesso em: 02 mar. 2024

GUIMARÃES, Gisele Parno; MELLO, Willian Zamboni. **Estimativa do fluxo de amônia na interface ar-mar na Baía de Guanabara: Estudo preliminar**. Química Nova, v. 29, n. 1, p. 54-60, 2006.

LOPES, Sônia; ROSSO, Sérgio. **Biologia**: volume único, 2ª ed., São Paulo: Saraiva: 2005.

NETTO, Azevedo J. M. **Cronologia do abastecimento de água (até 1970)**. Revista DAE, v. 44, n. 137, p. 106-111, 1984.

NUVOLARI, Ariovado *et al.* **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.