

DIRETRIZES TÉCNICAS DO TRATAMENTO BIOLÓGICO ANAERÓBIO APLICADO PELA LEGUN BIOTECNOLOGIA VISANDO A DEGRADAÇÃO DE LODO RESIDUAL E TRATAMENTO DE EFLUENTES

A LEGUN Biotecnologia desenvolveu uma metodologia própria para a biorremediação de lodos e efluentes, baseada na utilização da microbiota nativa presente nos locais afetados. Através da aplicação integrada das técnicas de bioestimulação e bioaumentação, a empresa tem obtido resultados expressivos em diversos clientes, solucionando de forma inovadora os desafios relacionados à geração, ao manejo e à qualidade dos lodos e efluentes, sempre em conformidade com as normativas legais vigentes.

Este documento técnico tem como objetivo apresentar, de forma clara e embasada, as atividades propostas pela LEGUN. Por meio de dados concretos e resultados obtidos em campo, busca-se demonstrar a eficácia da metodologia adotada, bem como os múltiplos benefícios operacionais e ambientais que ela proporciona aos processos de tratamento de lodo residual.

1. INTRODUÇÃO

A partir da década de 1970, consolida-se o campo da microbiologia ambiental, que pode ser definida como a disciplina dedicada ao estudo dos efeitos dos microrganismos sobre o meio ambiente, as atividades humanas, a saúde pública e o bem-estar coletivo.

Essa área integra conhecimentos da microbiologia com outras ciências ambientais, abrangendo diversas frentes de atuação, entre as quais destacam-se:

- **Microbiologia do solo e agricultura** – estudo da interação entre microrganismos e os componentes do solo, com impacto direto na fertilidade e produtividade agrícola;

- **Biogeoquímica** – investigação dos ciclos do carbono, nitrogênio e outros elementos essenciais mediados por microrganismos;
- **Aeromicrobiologia** – análise dos microrganismos presentes na atmosfera e seus impactos ambientais e na saúde;
- **Microbiologia da qualidade alimentar** – controle e monitoramento microbiológico de alimentos para garantir segurança ao consumidor;
- **Qualidade da água** – avaliação e controle de microrganismos na água potável e em ambientes aquáticos, com foco na remoção de contaminantes orgânicos e inorgânicos;
- **Tratamento de águas e efluentes residuais** – aplicação de microrganismos na degradação de resíduos, redução da carga orgânica e remoção de patógenos;
- **Biotechnologia ambiental** – uso de técnicas como a engenharia genética e a detecção de atividade microbiana para fins aplicados e sustentáveis;
- **Biorremediação** – uso controlado de microrganismos para a degradação de contaminantes presentes em solos, sedimentos e corpos hídricos;
- **Recuperação de recursos** – utilização de microrganismos para a extração ou recuperação de substâncias de valor, como óleos e metais.

Dessa forma, a microbiologia ambiental não se desenvolve de maneira isolada, mas estabelece interfaces diretas com diversas áreas científicas e técnicas, tais como: microbiologia do solo, microbiologia aquática, microbiologia industrial, segurança alimentar, controle de qualidade da água, saúde ocupacional e controle de doenças. (Figura 1).

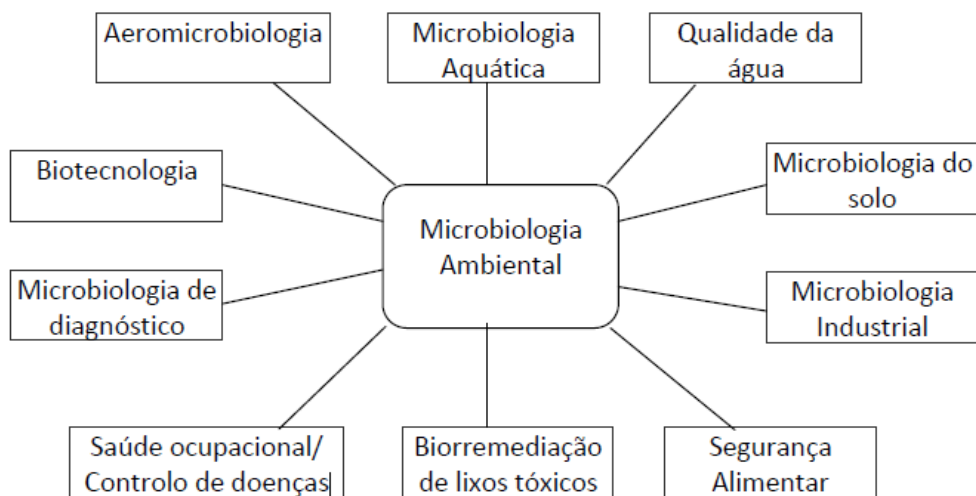


Figura 1: Inter-relações da microbiologia ambiental com outros campos da microbiologia.

A partir de uma visão integrada das abordagens de tratamento de efluentes, a LEGUN Biotecnologia tem se destacado na aplicação de processos sustentáveis voltados à biodegradação de lodo residual e ao tratamento de efluentes, por meio da bioestimulação da flora microbiana nativa dos locais impactados. O foco está na convergência entre eficiência técnica e viabilidade econômica, assegurando o atendimento aos parâmetros legais e contribuindo diretamente para a preservação ambiental.

No contexto do tratamento de efluentes domésticos, a preocupação é ainda mais acentuada, dada sua estreita relação com a saúde pública e o equilíbrio ambiental. A ausência de tratamento adequado pode ocasionar sérios danos, desde a proliferação de doenças entre populações expostas até a redução da concentração de oxigênio nos corpos hídricos, o que leva à morte de organismos aquáticos e compromete a sustentabilidade do ecossistema local.

Principais Tipos de Tratamento de Efluentes

Os tratamentos aplicáveis aos efluentes podem ser classificados, de forma geral, nos seguintes grupos:

- **Químicos:**

Consistem na aplicação de reagentes como coagulantes, neutralizadores de pH e agentes de floculação, entre outros. Esses produtos atuam na remoção de poluentes por meio de reações químicas, preparando o efluente para as etapas subsequentes do processo de tratamento.

- **Biológicos:**

Envolvem o uso de organismos vivos, como algas, bactérias e protozoários, para a degradação da matéria orgânica presente nos efluentes. São métodos de elevada eficiência e economicidade, cujo objetivo é transformar a matéria orgânica dissolvida em sólidos sedimentáveis e gases. Os tratamentos biológicos se subdividem em:

- **Aeróbios:**

Utilizam microrganismos que dependem de oxigênio para decompor a matéria orgânica. O processo exige rigoroso controle de temperatura, pH e oxigênio dissolvido, além de adequada relação entre os nutrientes e a Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), variável conforme o projeto da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE). As principais vantagens incluem: alta eficiência na remoção de poluentes, menor geração de odores e capacidade de degradação de compostos complexos. Como desvantagem, destaca-se a necessidade de grandes áreas para sua implantação.

- **Anaeróbios:**

Diferem dos aeróbios por ocorrerem na ausência de oxigênio. Embora o processo seja mais lento e a produção de biomassa seja menor, ele é energeticamente mais econômico. A matéria orgânica é convertida, majoritariamente, em gases como metano e dióxido de carbono. Suas vantagens incluem menor necessidade de mecanização, baixo consumo energético, menor geração de lodo e demanda reduzida de área. Em contrapartida, exige temperaturas elevadas e apresenta tempo de resposta mais longo devido ao crescimento lento dos microrganismos metanogênicos.

- **Físico-químicos:**

Métodos aplicados principalmente para remover contaminantes que os tratamentos biológicos não conseguem eliminar por completo, além de reduzir a carga orgânica antes da etapa biológica. São frequentemente utilizados em efluentes industriais (ex: setor têxtil, papel e celulose), devido à presença de metais pesados, compostos tóxicos ou substâncias não biodegradáveis. Entre suas etapas estão:

- **Coagulação:** aglomeração das partículas coloidais presentes no efluente;
- **Floculação:** formação de flocos maiores, facilitando sua remoção;
- **Decantação:** sedimentação dos flocos, formando lodo que será separado do efluente tratado.

Aplicação da Tecnologia LEGUN

Dentre as abordagens mencionadas, a LEGUN tem adotado com sucesso o modelo de **biodegradação do lodo residual e tratamento de efluentes via bioestimulação integral da microbiota local**, especialmente no tratamento de efluentes domésticos em diversos municípios.

Tal prática encontra respaldo técnico em diretrizes adotadas por instituições de referência, como a **Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP)**. Essa metodologia emprega lagoas profundas, com profundidade entre 3 e 5 metros, visando a limitação da penetração de luz solar nas camadas inferiores (Figura 2). O ambiente propicia a decomposição da carga orgânica elevada, sendo que:

- **Na primeira fase**, ocorre a quebra das moléculas orgânicas complexas em compostos mais simples;
- **Na segunda fase**, esses compostos são convertidos em metano, dióxido de carbono e água, completando o processo.



Figura 2: Foto de lagoas de tratamento de efluentes

(<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=61> acesso em 16/01/2022).

2. BASES TÉCNICAS DO TRATAMENTO BIOLÓGICO ANAERÓBIO

Os ambientes da Terra são amplamente colonizados por microrganismos que prosperam nos mais diversos habitats, desde condições extremas até ecossistemas complexos. De forma geral, esses microrganismos estabelecem relações de interdependência metabólica, formando comunidades estruturadas e funcionais.

Durante o seu crescimento, cada microrganismo consome substratos específicos, principalmente compostos orgânicos ricos em carbono, além de nutrientes, vitaminas e gases como o oxigênio, necessários para seus processos respiratórios. No entanto, **a maioria dos microrganismos presentes nos ecossistemas naturais é classificada como incultivável**, ou seja, não pode ser isolada e mantida em culturas puras em laboratório. Isso ocorre, em grande parte, porque esses organismos **dependem de produtos metabólicos produzidos por outras espécies** para se desenvolverem adequadamente, o que dificulta sua replicação em ambientes artificiais.

Na Figura 3, está apresentado a interdependência microbiana em ecossistemas naturais por meio de um diagrama circular ou em rede mostrando diferentes microrganismos (bactérias, arqueias, protozoários) interligados por setas que representam o intercâmbio de metabólitos essenciais (como ácidos graxos, sulfetos, amônia, CO₂, metano etc.).

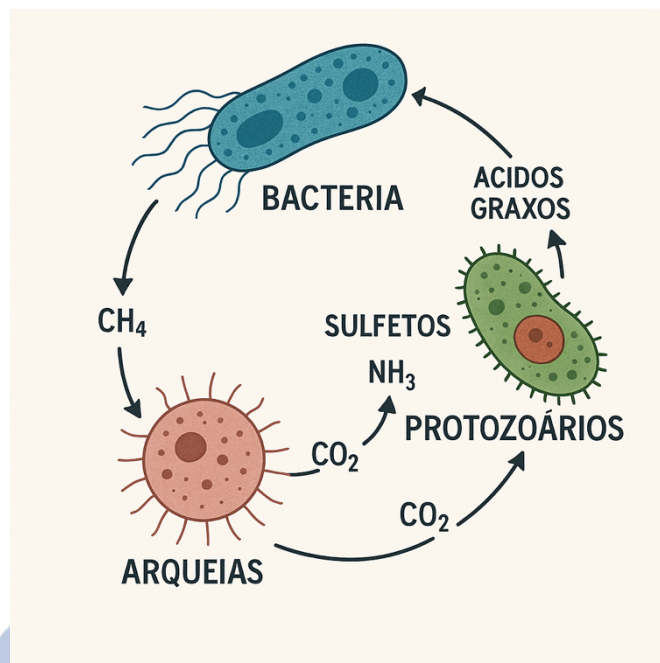


Figura 3: Representação esquemática da dependência metabólica entre microrganismos em ambientes naturais.

No contexto do tratamento de efluentes, especialmente em lagoas anaeróbias, **essas características microbiológicas são estrategicamente aproveitadas para favorecer a degradação da matéria orgânica**. Nessas lagoas, formam-se gradientes fisicoquímicos e condições ambientais que favorecem a aclimação e o crescimento de uma **estratificação microbiana especializada**, capaz de consumir os substratos presentes no efluente.

Esse processo desencadeia uma **sucessão microbiológica**, na qual a atividade metabólica de determinados microrganismos modifica a composição química do ambiente (por exemplo, sedimentos e interface líquido-gás), o que, por sua vez, influencia o estabelecimento e o metabolismo de outras populações microbianas. Trata-se de um **processo dinâmico e autorregulado**, onde cada grupo de microrganismos se posiciona em nichos específicos dentro dos gradientes formados, particularmente os de oxigênio e sulfetos, encontrando, assim, condições ideais para suas atividades metabólicas.

Na Figura 4, está representada a **estratificação microbiológica em lagoas anaeróbias**.

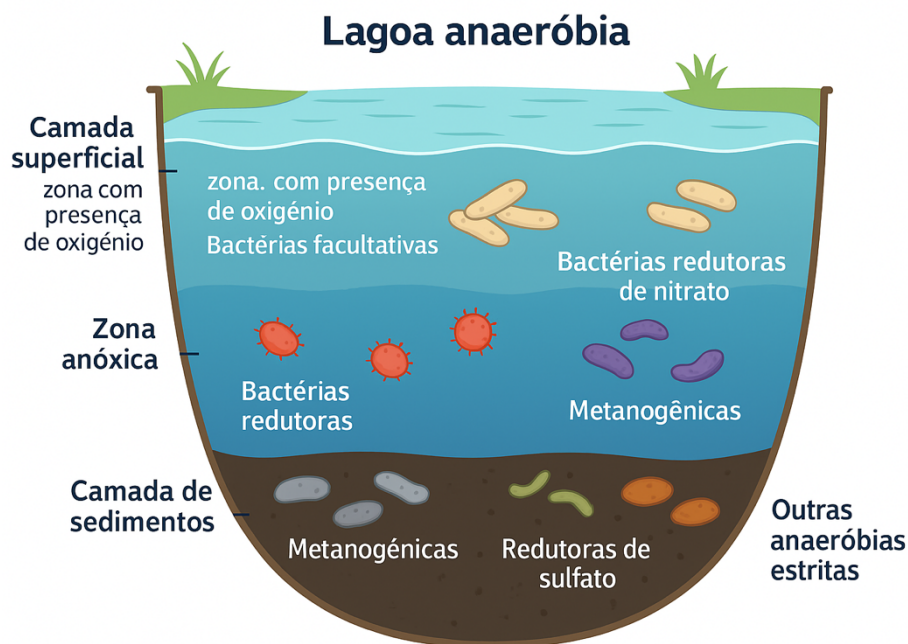


Figura 4: Gradiente vertical de oxigênio e substratos em lagoa anaeróbia com suas respectivas comunidades microbianas.

Na seção transversal de uma lagoa anaeróbia, em corte vertical, com as camadas microbianas bem definidas, tais como:

- **Camada superficial:** zona com presença de oxigênio (mínima), com atividade de bactérias facultativas.
- **Camada intermediária:** zona anóxica com bactérias fermentativas e redutoras de nitrato.
- **Camada profunda (sedimentos):** metanogênicas, redutoras de sulfato e outras anaeróbias estritas.

Com o tempo, a lagoa anaeróbia passa a **reproduzir os padrões naturais de organização microbiana observados em ambientes aquáticos e sedimentares**, favorecendo a estabilidade do ecossistema microbiano e promovendo a eficiente remoção da carga orgânica e outros poluentes presentes no efluente.

Na Figura 5, está ilustrado o perfil de gradientes químicos e físicos na lagoa anaeróbia e os tipos microbianos formados ao longo desses gradientes.

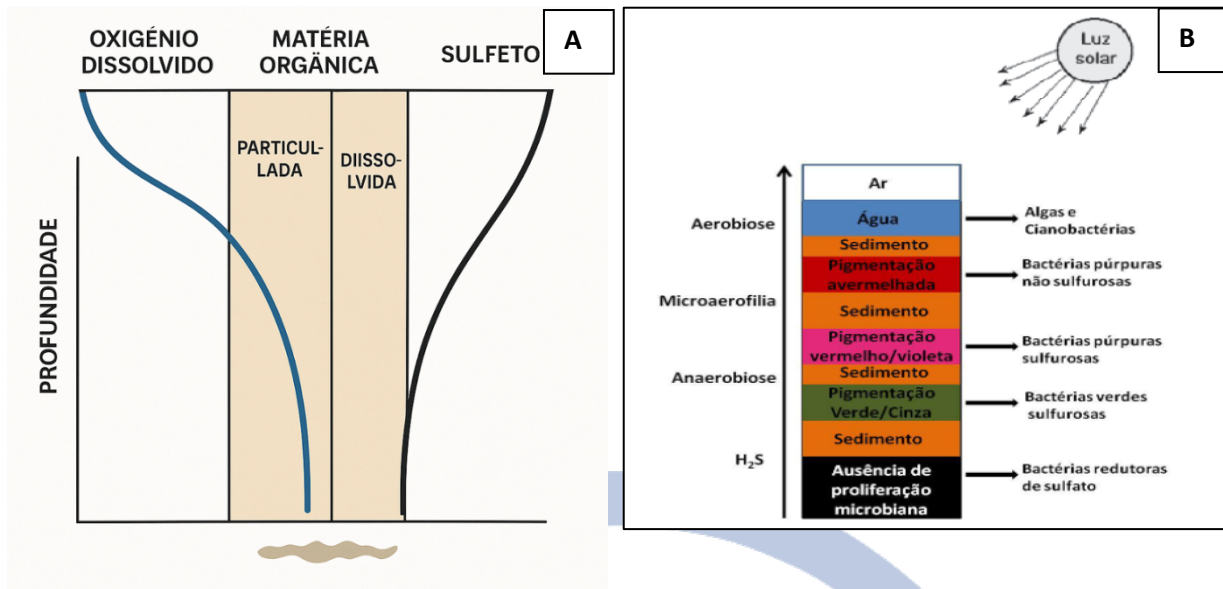


Figura 5: A) Perfil de concentração de oxigênio e sulfeto ao longo da profundidade da lagoa anaeróbia e B) Disposição microbiana ao longo das camadas da lagoa. Baseado em Winogradsky.

Na Figura 5, o eixo vertical representa a profundidade da lagoa e os eixos horizontais representam a concentração de:

- Oxigênio dissolvido (decrecente com a profundidade)
- Sulfeto (crescente com a profundidade)
- Matéria orgânica particulada versus a dissolvida

Devido aos diferentes gradientes químicos, formam-se comunidades adaptadas a estas camadas que são interdependentes e formam um extrato microbiano sucessivo.

Processos Microbiológicos na Camada Anaeróbia de Lagoas de Estabilização

Na camada anaeróbia das lagoas de estabilização, diversas comunidades microbianas podem se desenvolver de acordo com a disponibilidade de substratos e a origem da microbiota inicial. O metabolismo microbiano nessa zona inicia com a degradação da matéria orgânica sedimentar, gerando ácidos orgânicos como produtos intermediários. Esses compostos, por sua vez, são utilizados por bactérias redutoras de sulfato, que os oxidam utilizando o íon sulfato comoceptor final de elétrons, gerando **sulfeto** como subproduto.

Esse sulfeto difunde-se em direção às camadas superiores da lagoa, estabelecendo um **gradiente químico vertical**, com **altas concentrações de sulfeto nos estratos inferiores** e valores progressivamente menores em direção à superfície. Tal fenômeno contribui para a organização estratificada das comunidades microbianas.

A digestão anaeróbia é um processo **biológico natural e autorregulado**, realizado por consórcios de microrganismos especializados. Dentre os principais grupos bacterianos envolvidos, destacam-se **Archeo-bacter**, **Sulphovibryum**, **Acetobacter** e as **metanogênicas**. Essa cadeia metabólica, conforme descrita por Von Sperling (1996), resulta principalmente na formação de **gás metano (CH₄)** e **dióxido de carbono (CO₂)** como produtos finais.

Durante esse processo, a decomposição da matéria orgânica ocorre em **dois estágios principais**:

1. **Etapa acidogênica (fermentativa)**: conduzida por bactérias facultativas e anaeróbias estritas, denominadas **formadoras de ácidos**, responsáveis pela conversão de lipídios, proteínas e carboidratos em **ácidos voláteis**, CO₂ e H₂.
2. **Etapa metanogênica**: conduzida por **bactérias metanogênicas**, estritamente anaeróbias, que utilizam os produtos da acidogênese (especialmente os ácidos orgânicos e hidrogênio) para gerar **metano e CO₂** como produtos finais (Arruda et al., 2002).

Segundo Grant (1989), a distribuição das **bactérias oxidantes de enxofre** ao longo da coluna d'água depende diretamente da **concentração de sulfetos, disponibilidade de oxigênio e intensidade luminosa**. Essa dinâmica permite a organização vertical das comunidades microbianas conforme descrito a seguir:

Organização Vertical da Microbiota em Lagoas Anaeróbias:

Camada Superficial (zona oxigenada):

- Presença de **microrganismos fotossintetizantes autotróficos**, que realizam **fotossíntese oxigênica** utilizando a água como doadora de elétrons, gerando O₂ como subproduto.

- Formação de **biofilmes aeróbios heterotróficos**, ricos em metabólitos como lipídeos, proteínas e polissacarídeos.

Camada Intermediária (zona anóxica):

- Presença de **bactérias foto-heterotróficas**, que utilizam luz solar como fonte de energia e ácidos orgânicos como fonte de carbono.
- Essas bactérias operam sob condições anaeróbias, mas são sensíveis a altas concentrações de H_2S .

Camada Profunda (zona anaeróbia):

- Alto consumo de oxigênio pelas bactérias heterotróficas devido à elevada carga orgânica.
- Atividade predominante de **bactérias redutoras de sulfato**, que convertem SO_4^{2-} em H_2S .
- A produção de **sulfeto** alimenta o metabolismo das **bactérias fototróficas anaeróbias**, como as **sulfobactérias verdes e púrpuras**, que realizam **fotossíntese anoxigênica**, gerando **enxofre elementar (S^0)** que se precipita no sedimento.

Ciclo de Retroalimentação Microbiana:

O enxofre precipitado no sedimento pode ser reoxidado e reinserido na coluna d'água pela atividade contínua das **bactérias redutoras de sulfato**, fechando o ciclo biogeoquímico do enxofre. A Tabela 1 mostra os principais grupos bacterianos que se formam na coluna de água da lagoa.

Tabela 1: Principais microrganismos conhecidos na coluna de água de lagoa anaeróbia de tratamento de efluente.

Posição na coluna de água da lagoa	Grupo funcional	Exemplos de organismos
Início	Fotossintificadores	Cianobactérias
Meio	Oxidantes de enxofre não fotosintéticos	<i>Beggiatoa</i> , <i>Thiothrix</i>
	Bactérias não-enxofre roxas	<i>Rhodomicrobium</i> , <i>Rhodospirillum</i> , <i>Rhodopseudomonas</i> <i>Gallionella</i> , <i>Bacillus</i> e <i>Pseudomonas</i>
	Bactérias de enxofre roxo	<i>Chromatium</i>
	Bactérias de enxofre verde	<i>Clorobio</i>
	Bactérias redutoras de sulfato	<i>Desulfovibrio</i> , <i>Desulfotomaculum</i> , <i>Desulfobacter</i> , <i>Desulfuromonas</i>
Fundo	Methanogênicos	<i>Metanoococcus</i> , <i>Clostridium</i>

O crescimento de microrganismos em ambientes aquáticos anaeróbios ocorre de forma **estratificada ao longo da coluna d'água**, sendo essa organização determinada pelos **requisitos nutricionais, fisiológicos e ambientais** específicos de cada grupo microbiano.

Após um período inicial de **maturação**, que pode variar de **algumas semanas a vários meses**, as comunidades microbianas passam a se distribuir em **micro-habitats específicos**, formando estruturas organizadas com **alta especialização funcional**. Essa maturação da coluna líquida é essencial para o estabelecimento de condições bioquímicas estáveis que sustentam os processos de degradação da matéria orgânica e ciclagem de nutrientes.

Com o avanço da atividade microbiológica e de processos abióticos, estabelecem-se **gradientes químicos verticais** na coluna de água, principalmente em relação à **concentração de oxigênio dissolvido, sulfetos, ácidos orgânicos, amônia e pH**. Esses gradientes **favorecem a formação de nichos ecológicos distintos**, permitindo a coexistência de diversos grupos microbianos com metabólitos complementares. Como resultado, observa-se a formação de um **ecossistema microbiano estruturado**, autorregulado e com capacidade de adaptação contínua às características do meio.

A **exposição contínua à luz solar** também contribui para a manutenção dos gradientes físico-químicos, especialmente nos estratos superiores da coluna, possibilitando a fotossíntese oxigênica ou anoxigênica, a depender do grupo microbiano predominante. Com isso, **ciclos biogeoquímicos essenciais**, como os ciclos do carbono, do nitrogênio e do enxofre, são mantidos de forma eficiente e sustentável dentro da própria estrutura da lagoa.

É importante ressaltar que **cada tipo de efluente, doméstico, industrial ou misto, condiciona a formação de comunidades microbianas específicas**, adaptadas aos compostos presentes no meio. Essa **flexibilidade adaptativa** confere à abordagem microbiológica um alto potencial de aplicação em diferentes contextos, abrangendo desde o tratamento de **efluentes sanitários convencionais** até **efluentes industriais complexos**, ricos em compostos orgânicos recalcitrantes ou inorgânicos tóxicos.

3. BASES TÉCNICAS DO TRATAMENTO APLICADO PELA LEGUN

Com base no estado atual do conhecimento em biotecnologia ambiental e nos avanços da microbiologia aplicada ao saneamento, a **LEGUN Biotecnologia** adota, em seu portfólio de soluções, a aplicação de **tratamento biológico anaeróbio com foco na biodegradação de lodo residual e no tratamento de efluentes**, por meio das técnicas de **bioaugmentação e bioestimulação da microbiota local integral**.

Essa abordagem utiliza **toda a cadeia de microrganismos nativos presentes no local da contaminação**, respeitando a **estratificação natural da coluna d'água**, que se adapta ao perfil específico do efluente ou do nicho ecológico impactado. Como resultado, essa microbiota é capaz de atuar na **degradação de compostos orgânicos e, em alguns**

casos, na remoção ou neutralização parcial de contaminantes inorgânicos, atendendo aos parâmetros estabelecidos pelas agências ambientais e órgãos de controle sanitário.

A **bioestimulação de comunidades microbianas nativas** tem se mostrado uma **alternativa biotecnológica promissora** para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, considerando que se trata de um processo **natural, sustentável e ambientalmente seguro**. A ação metabólica dessas comunidades resulta em benefícios diretos ao corpo hídrico tratado, como:

- Degradação da matéria orgânica complexa;
- Sorção e imobilização de metais pesados;
- Redução de sólidos em suspensão por biodigestão;
- Diminuição dos índices de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO);
- Remoção de odores desagradáveis associados à decomposição anaeróbia.

Além de sua **eficiência comprovada**, o processo se destaca pela **elevada viabilidade econômica e operacional**, quando comparado a métodos convencionais baseados em produtos químicos ou tratamentos físico-químicos de maior complexidade. Segundo Duarte (2010), essa técnica já é amplamente utilizada em países desenvolvidos, com destaque para sua aplicação **in situ**, sem necessidade de remoção do efluente, evitando riscos adicionais ao meio ambiente e à saúde pública.

Ao substituir **reagentes químicos tóxicos por consórcios microbianos nativos**, a tecnologia **minimiza impactos negativos ao ecossistema local e preserva a biodiversidade microbiana natural**, o que a torna uma solução ambientalmente inteligente, socialmente responsável e economicamente viável, especialmente no contexto do tratamento de águas superficiais e lodos em ambientes urbanos.

Segurança e Sustentabilidade no Uso da Microbiota Local

A capacidade dos microrganismos em degradar compostos orgânicos é cientificamente validada e há décadas constitui a base dos processos biológicos aplicados ao tratamento de resíduos sólidos e líquidos. Contudo, o uso de **produtos biotecnológicos exógenos** exige rigorosa avaliação de risco sanitário e ambiental, visto que a introdução

de microrganismos não adaptados pode desestabilizar o equilíbrio ecológico do meio receptor.

Nesse contexto, o diferencial da LEGUN está na **utilização da microbiota local integral**, incluindo inclusive microrganismos **não cultiváveis**, que participam ativamente da cadeia trófica natural e são fundamentais para o sucesso do processo de biorremediação. Trata-se de uma solução com **risco ambiental minimizado**, que respeita a ecologia do local tratado.

Etapas Operacionais do Processo LEGUN

O processo biotecnológico desenvolvido pela LEGUN compreende as seguintes fases:

1. **Coleta do lodo residual** nos pontos de ocorrência da contaminação, material base para inoculação.
2. **Cultivo e ativação em reatores biológicos** instalados pela LEGUN, nos quais ocorre a **bioaugmentação da microbiota autóctone integral**, com enriquecimento da comunidade microbiana e potencialização de sua atividade degradadora.
3. **Aplicação controlada e diária da microbiota ativada** no nicho ambiental a ser tratado (lagoa, canal, reservatório, solo), respeitando os parâmetros operacionais estabelecidos para cada tipo de efluente.

Esse ciclo contínuo de cultivo e reinoculação permite **maximizar o desempenho do sistema**, mantendo a estabilidade microbiana ao longo do tempo e assegurando a **redução progressiva da carga orgânica e do volume de lodo**.

4. OBJETIVOS DA LEGUN

O processo desenvolvido pela **LEGUN Biotecnologia** para tratamento de lodo residual e efluentes visa alcançar resultados efetivos e sustentáveis, com foco na preservação ambiental, eficiência operacional e segurança sanitária. Entre os principais objetivos, destacam-se:

- **Tratamento in situ** – execução do processo diretamente no local de ocorrência da contaminação, evitando remoção, transporte e riscos adicionais.
- **Redução de odores desagradáveis** – mitigação de compostos voláteis geradores de mau cheiro, característicos da degradação anaeróbia descontrolada.
- **Readequação da microbiota do sistema** – restauração e equilíbrio da comunidade microbiana nas unidades de estabilização de efluentes, favorecendo a eficiência do tratamento.
- **Biodegradação no local** – eliminação de contaminantes (matéria orgânica excedente, metais pesados, halogênios, entre outros) diretamente no nicho afetado, evitando apenas a transferência do poluente para outro meio.
- **Segurança ambiental** – utilização exclusiva de biomassa autóctone, não introduzindo riscos ecológicos ou sanitários ao ambiente tratado.
- **Digestão de sólidos e aglutinantes** – redução volumétrica de lodo e degradação de subprodutos sólidos presentes no efluente.
- **Biodegradação de compostos orgânicos complexos** – decomposição de matéria orgânica de difícil degradação, aumentando a eficiência global do sistema.
- **Biodigestão de hidrocarbonetos e organoclorados** – degradação de compostos derivados do petróleo e contaminantes organoclorados.
- **Biotransformação de resíduos sólidos e líquidos** – conversão de resíduos em compostos menos nocivos ou ambientalmente inócuos.

5. ESCOPO DE TRABALHO DA LEGUN

Para assegurar a **efetiva aplicação do processo de Biodegradação de lodo residual e tratamento anaeróbio de efluentes** com base na **microbiota local integral**, a **LEGUN Biotecnologia** realiza, de forma sistemática e tecnicamente assistida, um conjunto de atividades operacionais, técnicas e laboratoriais. Tais ações são executadas conforme protocolos internos e melhores práticas do setor, garantindo rastreabilidade, segurança ambiental e desempenho contínuo. As principais atividades compreendem:

- **Fornecimento de equipamentos e insumos** – disponibilização de todos os recursos materiais necessários, direta ou indiretamente vinculados à produção, cultivo, ativação e aplicação da microbiota local integral;

- **Gestão técnica dos produtos biotecnológicos** – fornecimento e gerenciamento operacional de todos os insumos utilizados ao longo do processo de biodegradação, com aplicação controlada em tanques e lagoas de equalização, sejam estes isolados ou integrados a sistemas completos de tratamento de efluente residual;
- **Monitoramento técnico e acompanhamento de campo** – realização de visitas técnicas periódicas com registro, inspeção e verificação da eficácia do tratamento em curso, mediante indicadores de performance operacionais e ambientais;
- **Capacitação e treinamento operacional** – fornecimento de suporte técnico e treinamento contínuo aos operadores e servidores responsáveis pela preparação, aplicação e manutenção da técnica biológica, conforme as boas práticas de biossegurança e operação;
- **Análise técnica de laudos laboratoriais** – acompanhamento crítico e técnico dos laudos de controle de qualidade da água e do lodo, com fins de comprovação dos resultados, desempenho do tratamento e validação dos marcos do cronograma de execução.

Infraestrutura Técnica e Suporte Científico

A **LEGUN Biotecnologia** dispõe atualmente de **laboratório próprio de microbiologia**, em fase de expansão, estruturado para apoiar e monitorar todos os processos aplicados junto aos seus diversos clientes. Este laboratório atua no isolamento, cultivo, análise e potencialização da microbiota nativa, além da realização de testes de eficiência biológica sob parâmetros controlados.

Adicionalmente, a empresa conta com **assessoria científica permanente da RBIO Empreendimentos Biotecnológicos e Participações Ltda.**, especializada em microbiologia ambiental, engenharia bioquímica e processos biotecnológicos aplicados à remediação de efluentes e lodos.

Inovação Tecnológica e Proteção Intelectual

Em consonância com sua política de inovação e aprimoramento contínuo, a LEGUN protocolou o **pedido de patente do processo de tratamento de lodo residual**,

objeto de sua metodologia exclusiva. O protocolo foi registrado junto ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI) sob o número: **BR 10 2023 013335 5**.

6. PLANO DE APLICAÇÃO DA TÉCNICA LEGUN – METODOLOGIA

O presente protocolo descreve as etapas metodológicas do **processo anaeróbio desenvolvido pela LEGUN Biotecnologia**, fundamentado na utilização da **microbiota local integral**, bioestimulada in situ, sem isolamento artificial. O método tem por finalidade promover a **biodegradação de lodo residual e a redução de carga orgânica em efluentes**, com elevada eficiência e mínima interferência nos ecossistemas tratados.

Materiais e Insumos Requeridos

- **Lodo residual precipitado** no fundo das lagoas, tanques ou reatores anaeróbios existentes no sistema de tratamento;
- **Efluente bruto** coletado no ponto de entrada da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) ou lagoa de estabilização;
- **Reatores biológicos de cultivo anaeróbio**, previamente instalados pela LEGUN no local da aplicação;
- **Macronutrientes e micronutrientes específicos**, utilizados para a bioestimulação da microbiota nativa, conforme formulação própria e patenteada.

Etapas do Processo

1. Coleta e Inoculação Inicial:

- Coleta de **lodo do fundo das lagoas ou tanques de tratamento**, contendo a microbiota autóctone adaptada ao ecossistema local;
- Mistura deste lodo com **efluente bruto recém-chegado à ETE** em reator anaeróbio fechado, promovendo o ambiente ideal para multiplicação microbiana.

2. Bioestimulação Controlada:

- Adição de formulação nutricional balanceada (macro e micronutrientes) ao reator, com o objetivo de **estimular o crescimento da microbiota integral**, abrangendo microrganismos **cultiváveis e não cultiváveis**;
- Condições de anaerobiose mantidas durante o processo, com temperatura e pH monitorados conforme protocolo técnico;
- **Tempo de incubação: 72 horas**, com acompanhamento da atividade metabólica microbiana.

3. Aplicação Recorrente da Microbiota Bioestimulada:

- A cada **48 horas**, é realizada a aplicação da microbiota bioativada nas **lagoas ou tanques de estabilização**, com o objetivo de:
 - Incrementar a população microbiana anaeróbia residente;
 - Aumentar a taxa de biodegradação do lodo residual;
 - Reduzir de forma contínua a carga orgânica (DBO e DQO) presente no efluente.

Observações Técnicas Adicionais

- A metodologia proposta **não utiliza organismos geneticamente modificados**, nem introduz espécies exógenas ao sistema.
- A **microbiota trabalhada é exclusivamente local**, com adaptação comprovada ao perfil do efluente tratado.
- O protocolo é adaptável a sistemas com diferentes configurações hidráulicas e volumes operacionais.

7. CRONOGRAMA DE EXECUÇÃO GERAL

A execução do processo biotecnológico é organizada em **quatro fases sequenciais**, com duração total estimada de **12 meses**, e envolve ações técnicas, laboratoriais e operacionais conforme detalhado a seguir:

Primeira Fase – Implantação e Ativação Inicial (30 dias)

1. **Instalação dos reatores biológicos de bioestimulação** junto às lagoas ou tanques de estabilização.
2. **Coleta de lodo e efluente** das lagoas de tratamento para inoculação nos reatores.
3. **Cultivo anaeróbio por 72 horas**, com posterior análise microbiológica por microscopia e contagem microbiana indireta.
4. **Batimetria inicial da lagoa**, para aferição volumétrica do lodo sedimentado.
5. **Início da aplicação in situ da microbiota bioestimulada** diretamente nos corpos d'água.
6. **Manutenção periódica das aplicações in situ** conforme cronograma técnico.
7. **Início efetivo do tratamento do esgoto e da degradação do lodo residual.**
8. **Amostragem do efluente tratado (saída da ETE)** para análises laboratoriais de:
 - DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio);
 - DQO (Demanda Química de Oxigênio);
 - ESS (Elementos Sólidos Suspensos).

Segunda Fase – Estabilização e Avaliação Intermediária (120 dias)

9. **Manutenção das aplicações in situ da microbiota**, com periodicidade técnica.
10. **Apresentação de resultados laboratoriais e batimetria I (intermediária).**
11. **Nova amostragem do efluente da ETE** para comprovação da:
 - Redução contínua de DBO e DQO;
 - Diminuição de ESS.
12. **Aferição do percentual de redução de lodo residual** com base em dados batimétricos.
13. **Verificação da conformidade dos parâmetros com as normas legais vigentes**, especialmente:
 - Resolução CONAMA nº 430/2011;
 - Resolução CONAMA nº 357/2005.

Terceira Fase – Consolidação e Performance Avançada (120 dias)

14. **Continuidade das aplicações in situ** da microbiota bioativada.
15. **Atualização dos relatórios laboratoriais com nova série de dados.**

16. **Amostragem da saída da ETE** para avaliação de DBO, DQO e ESS.
17. **Nova aferição do percentual de redução de lodo residual.**
18. **Verificação da manutenção dos níveis bioquímicos exigidos pelos órgãos fiscalizadores ambientais.**

Quarta Fase – Otimização Final e Validação Técnica (90 dias)

19. **Manutenção final das aplicações in situ da microbiota**, conforme protocolos anteriores.
20. **Realização da batimetria III**, comparativa com as fases anteriores.
21. **Amostragem do efluente final tratado (saída da ETE)** para avaliação de desempenho contínuo.
22. **Aferição definitiva do percentual de redução do lodo residual.**
23. **Validação da eficiência de tratamento com base na redução das cargas orgânicas (DBO/DQO)**, em conformidade com:
 - Resolução CONAMA nº 430/2011;
 - Resolução CONAMA nº 357/2005.
24. **Apresentação dos resultados consolidados de desempenho laboratorial e operacional.**

Para garantir a efetividade do processo e a conformidade com os requisitos legais e ambientais, **será elaborado um Plano de Aplicação específico para cada cliente**, considerando as **condições locais**, o **tipo de efluente** e o **grau de contaminação da área a ser tratada**. Esse plano técnico-operacional será adaptado conforme:

- As características físico-químicas e microbiológicas do lodo e do efluente;
- A infraestrutura existente (tanques, lagoas, sistemas complementares);
- As metas ambientais estabelecidas pelas autoridades reguladoras;
- As necessidades operacionais e a logística do sistema de tratamento.

Dessa forma, as **fases previstas no cronograma padrão** poderão **sofrer variações de escopo, prazos e metodologia**, respeitando a singularidade de cada aplicação.

Além disso, **ao final de cada fase operacional**, será elaborado um **Relatório Técnico Individualizado**, contendo:

- Descrição detalhada das atividades executadas;
- Resultados laboratoriais obtidos (DBO, DQO, ESS, entre outros);
- Análise comparativa com os parâmetros exigidos pelas Resoluções CONAMA nº 430/2011 e nº 357/2005;
- Evidências fotográficas e batimétricas (quando aplicável);
- Parecer técnico conclusivo com recomendações para a fase subsequente.

Tais relatórios servirão como instrumento de **transparência técnica, rastreabilidade operacional e prestação de contas aos órgãos fiscalizadores**, além de embasar decisões estratégicas relacionadas à continuidade, expansão ou readequação do processo.

8. DA EFICIÊNCIA

A LEGUN tem como objetivo assegurar alta eficiência na remoção de lodo residual das Estações de Tratamento de Esgoto, atingindo até 85% do volume total a ser tratado, bem como promover a redução superior a 65% da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) dos efluentes. Todas as metas são estabelecidas com o propósito de atender rigorosamente à legislação ambiental vigente à qual o cliente está subordinado.

9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A LEGUN tem aplicado com sucesso sua metodologia de tratamento biológico anaeróbio em diversos clientes no território nacional, obtendo níveis de eficiência superiores aos preconizados pelas agências ambientais, em conformidade com as legislações vigentes.

Destaca-se que se trata de um **processo microbiológico de médio prazo**, uma vez que demanda tempo adequado para o **estabelecimento, adaptação e multiplicação natural das comunidades microbianas** autóctones, fundamentais para o desempenho sustentado do sistema.

Ademais, compreende-se que o tratamento de efluentes **exige comprometimento técnico contínuo**, uma vez que os resíduos líquidos apresentam variações físico-químicas constantes que, não raramente, impactam negativamente a eficiência dos sistemas convencionais. Apesar das diferenças regionais, tais variações **seguem padrões**

semelhantes em diversas localidades, o que possibilita a adoção de soluções padronizadas, porém com **ajustes específicos a cada realidade operacional**.

Nesse sentido, a LEGUN adota uma postura colaborativa, **atuando em conjunto com o cliente** para promover os ajustes necessários e garantir a **otimização contínua do tratamento proposto**, com foco na sustentabilidade ambiental, segurança operacional e conformidade regulatória.

10. RESPONSABILIDADE TÉCNICA.

Carlos Manuel Laia de Sousa

LEGUN TECNOLOGIA AMBIENTAL

9-REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARRUDA, M. H. et al. Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa. **Revista científica eletrônica de agronomia**, Garça, v. 1, n. 2, 2002.

ATLAS, R.M., BARTHA, R. 1993. *Microbial Ecology, Fundamentals and Applications*, 3rd Ed., The Benjamin / Cummings Pub Co, Inc

CETESB: COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. **Decisão de Diretoria nº 103/2007/C/E**, de 22 de junho de 2007, 2007a. 40p. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/>.

DUARTE, A. C. E. **Caracterização de produto bioaumentador comercial para tratamento de efluente líquido de uma indústria pesqueira**. 95 f. Dissertação de Mestrado em Tecnologia e Gestão Ambiental. Ecossistemas Aquáticos. Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2010

GRANT, W.D. y LONG, P.E. **Microbiologia Ambiental**. Zaragoza, Espanha: Acribia, 1989.

MADIGAN, M.T., MARTINKO, J.M., PARKER, J. 2005. **Microbiologia de Brock** 10 edição, Prentice Hall.

VON SPERLING, M. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**, v.01. Minas Gerais: ABES, 1995.

VON SPERLING, M. (1996). **Princípios Básicos do Tratamento de Esgotos**. Belo Horizonte: DESA-UFGM, 1996. 210 p.

