

# **BIODIVERSIDADE, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**VOLUME XXI**



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE

Frederico Celestino Barbosa

Biodiversidade, meio ambiente e desenvolvimento sustentável

21<sup>a</sup> ed.

Piracanjuba-GO  
Editora Conhecimento Livre  
Piracanjuba-GO

21ª ed.

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**

Barbosa, Frederico Celestino  
B238B Biodiversidade, meio ambiente e desenvolvimento sustentável  
/ Frederico Celestino Barbosa. – Piracanjuba-GO

Editora Conhecimento Livre, 2025

57 f.: il

**DOI:** 10.37423/2025.edcl1145

**ISBN:** 978-65-5367-679-4

Modo de acesso: World Wide Web

Incluir Bibliografia

1. agricultura 2. pecuária 3. sustentabilidade I. Barbosa, Frederico Celestino II. Título

CDU: 577

<https://doi.org/10.37423/2025.edcl1145>

**O conteúdo dos artigos e sua correção ortográfica são de responsabilidade exclusiva dos seus respectivos autores.**

# EDITORIA CONHECIMENTO LIVRE

## Corpo Editorial

MSc Edson Ribeiro de Britto de Almeida Junior

MSc Humberto Costa

MSc Thays Merçon

MSc Adalberto Zorzo

MSc Taiane Aparecida Ribeiro Nepomoceno

PHD Willian Douglas Guilherme

MSc Andrea Carla Agnes e Silva Pinto

Dr. Walmir Fernandes Pereira

MSc Edisio Alves de Aguiar Junior

MSc Rodrigo Sanchotene Silva

MSc Adriano Pereira da Silva

MSc Frederico Celestino Barbosa

MSc Guilherme Fernando Ribeiro

MSc. Plínio Ferreira Pires

MSc Fabricio Vieira Cavalcante

PHD Marcus Fernando da Silva Praxedes

MSc Simone Buchignani Maigret

Dr. Adilson Tadeu Basquerote

Dra. Thays Zigante Furlan

MSc Camila Concato

PHD Miguel Adriano Inácio

Dra. Anelisa Mota Gregoleti

PHD Jesus Rodrigues Lemos

MSc Gabriela Cristina Borborema Bozzo

MSc Karine Moreira Gomes Sales

Dr. Saulo Cerqueira de Aguiar Soares

MSc Pedro Panhoca da Silva

MSc Helton Rangel Coutinho Junior

MSc Carlos Augusto Zilli

MSc Euvaldo de Sousa Costa Junior

Dra. Suely Lopes de Azevedo

Dr. Francisco Odecio Sales

MSc Ezequiel Martins Ferreira

MSc Eliane Avelina de Azevedo Sampaio

MSc Carlos Eduardo De Oliveira Gontijo

Dr. Rodrigo Couto Santos

Dra. Milena Gaion Malosso

PHD Marcos Pereira Dos Santos

|                                                                                                                                                       |               |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| <b>CAPÍTULO 1 .....</b>                                                                                                                               | <b>5</b>      |
| PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL(SGA) PARA UMA INDÚSTRIA DE LACTICÍNIO                                                                      |               |
| ANDRE LUIZ FIQUENE DE BRITO                                                                                                                           |               |
| Ana Cristina Silva Muniz                                                                                                                              |               |
| Andre Luiz Muniz Brito                                                                                                                                |               |
| Maria Eduarda de Lira e Silva                                                                                                                         |               |
| <b>DOI 10.37423/250710168</b>                                                                                                                         |               |
| <br><b>CAPÍTULO 2 .....</b>                                                                                                                           | <br><b>18</b> |
| USO SUSTENTÁVEL DO LODO DE ESGOTO: ANÁLISE DE SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA PARA APLICAÇÃO AGRÍCOLA                                                          |               |
| Eduardo Antonio Bechinski                                                                                                                             |               |
| Camila Zoe Correa                                                                                                                                     |               |
| Flávia Gonçalves Pissinati Pelaquim                                                                                                                   |               |
| <b>DOI 10.37423/250710181</b>                                                                                                                         |               |
| <br><b>CAPÍTULO 3 .....</b>                                                                                                                           | <br><b>26</b> |
| FUNGOS ASSOCIADOS A NINHOS DE NASUTITERMES CORNIGER (ISOPTERA: TERMITIDAE) EM ÁRVORES DE SYZYGIIUM MALACCENSE (MYRTACEAE).                            |               |
| RAIMUNDA LIÉGE SOUZA DE ABREU                                                                                                                         |               |
| KATARINA DA SILVA COUTO                                                                                                                               |               |
| CECI SALES-CAMPOS                                                                                                                                     |               |
| MARIA APARECIDA DE JESUS                                                                                                                              |               |
| <b>DOI 10.37423/250710186</b>                                                                                                                         |               |
| <br><b>CAPÍTULO 4 .....</b>                                                                                                                           | <br><b>42</b> |
| CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO NA NASCENTE DO CÓRREGO DO BARREIRO: COMPARAÇÃO DO ANTES E DEPOIS DA CERCAMENTO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL |               |
| Saulo Gonçalves Pereira                                                                                                                               |               |
| Adilson Tadeu Basquerote                                                                                                                              |               |
| Mauro Gomes de Lima Junior                                                                                                                            |               |
| Willyder Leandro Rocha Peres                                                                                                                          |               |
| Eni Aparecida do Amaral                                                                                                                               |               |
| <b>DOI 10.37423/250710206</b>                                                                                                                         |               |



# Capítulo 1



10.37423/250710168

## PROPOSTA DE UM SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL(SGA) PARA UMA INDÚSTRIA DE LACTICÍNIO

*ANDRE LUIZ FIQUENE DE BRITO*

*UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE*

*Ana Cristina Silva Muniz*

*UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE*

*Andre Luiz Muniz Brito*

*UNIVERSIDADE Estadual da PARAIBA*

*Maria Eduarda de Lira e Silva*

*UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE*



**Resumo:** Preservar o meio ambiente não é mais um modismo de minorias, mas uma necessidade. Descartar os resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) de forma adequada não é apenas uma questão de organização, mas também um ato em favor da vida e do meio ambiente. O Sistema de Gestão Ambiental (SGA) é um programa criado para atender a uma norma de qualidade ambiental em conformidade com uma política ambiental que visa à redução de impactos ao ecossistema e a melhoria contínua do desempenho ambiental. O objetivo do presente trabalho é sugerir um roteiro e plano para a implementação de um SGA em uma indústria de laticínios. A metodologia foi dividida em três etapas principais: Avaliação qualitativa, Proposta de Roteiro e elaboração do plano de gestão ambiental. Os resultados mostraram que as indústrias de laticínios, no contexto do perfil estudado, estão ameaçadas pela questão ambiental. A indústria deve melhorar os requisitos ambientais para alcançar o bom desempenho ambiental, como tratar os efluentes e realizar reciclagens dos seus rejeitos líquidos.

**Palavras-chave:** Sistema de Gestão Ambiental; Meio Ambiente, Semi Árido.



## 1. INTRODUÇÃO

O setor leiteiro está entre os seis primeiros produtos mais importantes da agropecuária brasileira, ficando à frente de produtos tradicionais como café beneficiado e arroz. O Agronegócio do Leite e seus derivados desempenham um papel relevante no suprimento de alimentos e na geração de emprego e renda para a população. Para cada real de aumento na produção no sistema agroindustrial do leite, há um crescimento de, aproximadamente, cinco reais no aumento do Produto Interno Bruto – PIB, o que coloca o agronegócio do leite à frente de setores importantes como o da siderurgia e o da indústria têxtil (CARVALHO, et al, 2003).

A indústria de laticínios possui um impacto na economia mundial e o Brasil se encontra na sexta posição, quando se trata na produção de leite no mundo. No ano de 2008 produziu 27 bilhões de litros e uma produtividade em torno de 1,21 toneladas leite/cabeça/ano, e em 2010, uma produtividade de aproximadamente 29 milhões de toneladas de leite. A cada R\$1,00 gerado em leite, faz-se o aumento de R\$5,00 do Produto Interno Bruto (PIB) do país (BERGAMASCHI, 2010; CARVALHO E CARNEIRO, 2010).

Em 2008, o País produziu 27,5 bilhões de litros de leite, gerando renda de R\$ 17 bilhões, que corresponde a 10% do valor gerado pela agropecuária brasileira e 76% do valor gerado pela pecuária (IBGE, 2010). Considerando o valor da produção, o leite ocupa o 4º lugar entre as commodities agropecuárias produzidas no Brasil, perdendo apenas para soja, cana-de-açúcar e milho (SIQUEIRA, et. al., 2010).

Braile e Cavalcanti (1993) ressaltam em termos de carga orgânica que, as etapas mais expressivas de geração de efluentes são lavagem e desinfecção de equipamentos, quebra de embalagens contendo leite e derivados e lubrificação de transportadores. Em muitas indústrias de laticínios o soro do leite leva o mesmo destino dos demais efluentes, porém este é aproximadamente cem vezes mais poluente que o esgoto doméstico. Por esse motivo, o leite de manteiga, o soro e o leite ácido devido aos seus valores nutritivos e elevadas cargas orgânicas, devem receber destinação diferente. Uma opção é a viabilização para a fabricação de outros produtos lácteos ou utilização direta na alimentação de animais (HENARES, 2015).

De acordo com Omil et al. (2003), é estimado que as perdas de leite, em uma dada indústria, para o efluente estejam em torno de 0,5 a 4% da quantidade total de leite. Esses danos afetam na

produtividade, assim como, agrava na carga poluidora do efluente final, sendo que um litro de leite integral contém aproximadamente 110.000 mg de DBO e 210.000 mg de DQO (MAGANHA, 2006). Segundo os parâmetros de DBO (Demanda Química de Oxigênio) e DQO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) são os mais utilizados quando se fala de poluição e pode ainda servir de principal indicador de eficiência dos processos de tratamento (BRIÃO, 2000).

As estações de tratamentos podem ser do tipo físico-químico e do tipo biológico. Os processos físico-químicos estão inter-relacionados, mas suas denominações separadamente são da seguinte forma: processos físicos (são processos de tratamento de águas residuais em que são aplicados fenômenos de natureza física como, por exemplo, gradeamento, peneiramento, sedimentação, floculação, decantação, filtração, osmose reversa, entre outros); processos químicos (são conseguidos com a aplicação de produtos químicos ou reações químicas como: coagulação, neutralização, homogeneização, precipitação, oxidação, redução, adsorção, troca

iônica, desinfecção, entre outros); e por fim, os processos biológicos, que são conseguidos por meio de atividades biológicas ou bioquímicas, como, por exemplo: remoção da matéria orgânica, que podem ser anaeróbios, aeróbios ou facultativos (lodos ativados, lagoas de estabilização, lagoas aeradas, filtros biológicos, biodiscos, reatores anaeróbios, entre outros) e remoção de nitrogênio e fósforo que vai depender do tipo de sistema adotado (NUNES, 2012).

É importante realizar análises físico-químicas para caracterizar os efluentes, e em casos necessários de tratamento, propor uma intervenção eficaz que atenda a legislação ambiental e sanitária em vigor no País. A poluição da água é uma problemática social que vem aumentando num ritmo cada vez mais acelerado. Este elemento faz parte de um conjunto de condições que afetam a existência, desenvolvimento e bem-estar dos seres vivos, incluindo não apenas o lugar no espaço, mas todas as condições físicas, químicas e biológicas (ambientes naturais e artificiais).

A implantação de um sistema de gestão ambiental descreve positivamente uma organização que tem iniciativa frente à questão ambiental. A elaboração e implantação do SGA devem ser feito de forma a se adaptar às características da empresa, no que se trata aos processos, legislação, emissões e recursos disponíveis. Nessa fase, a coordenação deve avaliar quais os aspectos e impactos ambientais estão envolvidos no processo. E a empresa precisa enxergar a ISO 14001 como um benefício para ela e não um empecilho.

Para direcionar os esforços para encontrar ações que vão trazer benefícios é identificar os chamados pontos críticos (são aqueles pontos que há grande consumo de água ou grande geração de resíduos).

A norma também define impacto ambiental como toda modificação no meio ambiente, tanto adversa como benéfica, resultante total ou parcialmente dos aspectos ambientais da organização. Deste modo, a Norma possibilita a flexibilidade e liberdade para que uma organização escolha por modelos distintos de implementação e, também, de demonstração no cumprimento de um ou outro requisito. Esse trabalho tem o objetivo de propor um roteiro e um plano de gestão ambiental em uma indústria de laticínios. O trabalho proposto tem por objetivo a elaboração de um roteiro e plano para a implementação de um sistema de gestão ambiental em uma indústria de laticínios.

## 2. METODOLOGIA

Este trabalho de Pesquisa está sendo realizado no LABGER – Laboratório de Gestão Ambiental e Tratamento de Resíduos, localizado na UFCG, CCT, pertencente à Unidade Acadêmica de Engenharia Química. O trabalho foi dividido em três etapas.

### 2.1. AVALIAÇÃO QUALITATIVA

Na primeira etapa foi realizada uma avaliação ambiental qualitativa, seguindo a metodologia de North (1992), para pequenas e médias empresas do setor de laticínios. Nesta etapa, a indústria foi avaliada quanto aos aspectos de poluição gerada e potencial poluidor, bem como medidas voltadas para o tratamento de resíduos já estabelecidos, investimento em pesquisa e desenvolvimento além de reciclagem e reaproveitamento de materiais diversos.

Para cada aspecto analisado foi definida uma classificação visando caracterizar a indústria de laticínios como agressiva ou amigável ao meio ambiente e identificar possíveis oportunidades de melhorias de desempenho ambiental através da implementação de um SGA.

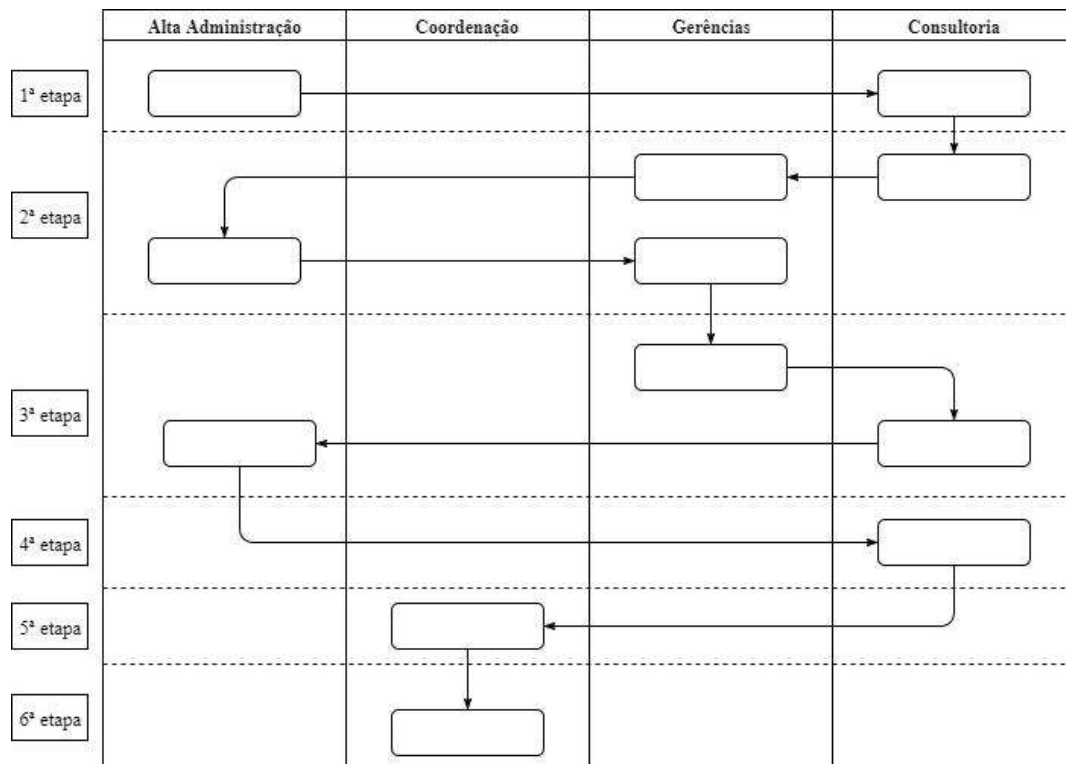
### 2.2. ROTEIRO PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM SGA (ISO 14.001)

Na segunda etapa foi proposto um roteiro de implementação de um sistema de gerenciamento ambiental em uma indústria de laticínios (ABDALA DE MOURA, 1998).

Este roteiro contou com as etapas necessárias para a implementação do SGA, tendo suas responsabilidades divididas dentre os diversos setores que formam a organização, desde administração, coordenação, gerência e consultoria (REIS, 1996).

O fluxograma ilustrado na Figura 1 ilustra o modelo do roteiro para a implementação do Sistema de Gestão Ambiental, composto das etapas e responsabilidades. As atividades descritas no roteiro têm um período de tempo previsto para sua execução de 12 a 18 meses.

**Figura 1 - Modelo de roteiro do SGA.**



Fonte: NBR ISO 14.001(2004)

O roteiro foi elaborado baseando-se nas diretrizes apresentada na norma brasileira ABNT NBR ISO 14001, considerando os requisitos para implementação de um sistema de gestão ambiental e seguindo os preceitos básicos:

- Estabelecimento da política ambiental,
- Planejamento, implementação e operação,
- Verificação e
- Análise pela administração.

O roteiro é uma ferramenta que visa planejar o processo de obtenção da certificação ambiental pela indústria de laticínios.

### 2.3. ELABORAÇÃO DO PLANO DE GESTÃO – SGA

Na terceira etapa foi proposto um plano de gestão visando implantar um sistema de gerenciamento ambiental – SGA de uma indústria de laticínios, apresentando aspectos e impactos ambientais, bem como requisitos legais, critérios internos de desempenho ambiental além dos objetivos e metas para a empresa (BREGMAN, 1999). A Tabela 1 apresenta os principais tópicos que foram desenvolvidos na elaboração do plano de gestão.

**Tabela 1** - Principais componentes para a elaboração de um plano de gestão - SGA.

| Aspectos Ambientais       | Impactos Ambientais | Requisitos legais | Crítérios de Desempenho | Objetivo | Meta | Prazo | Responsável |
|---------------------------|---------------------|-------------------|-------------------------|----------|------|-------|-------------|
| Emissões Líquidas         |                     |                   |                         |          |      |       |             |
| Emissões Gasosas          |                     |                   |                         |          |      |       |             |
| Emissões Sólidas          |                     |                   |                         |          |      |       |             |
| Consumo de água e energia |                     |                   |                         |          |      |       |             |

Fonte: Adaptado ABNT ISO 14.001(2004)

Para a elaboração do plano de ação foram avaliados elementos quantitativos de cada aspecto ambiental, bem como a legislação pertinente ao seu controle. Dessa forma foi possível definir metas e sugerir ações no intuito de mitigar os impactos ambientais gerados. Além disso, os prazos sugeridos no plano de ação foram baseados na gravidade e urgência de cada aspecto avaliado.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 AVALIAÇÃO QUALITATIVA E POSICIONAMENTO DA INDÚSTRIA DE LATICÍNIO

A verificação de posicionamento de empresa em relação a esses aspectos, permitiu avaliar até que ponto os negócios da empresa poderão ser atingidos pela variável ambiental.

**O Erro! Fonte de referência não encontrada.** mostra o posicionamento da indústria de laticínio estudada em relação à questão ambiental (Modelo proposto por North). A avaliação foi feita de forma subjetiva com base nos perfis ambientais do setor de laticínio, conferindo nota 1 para a pior classificação e nota 5 para a melhor classificação.



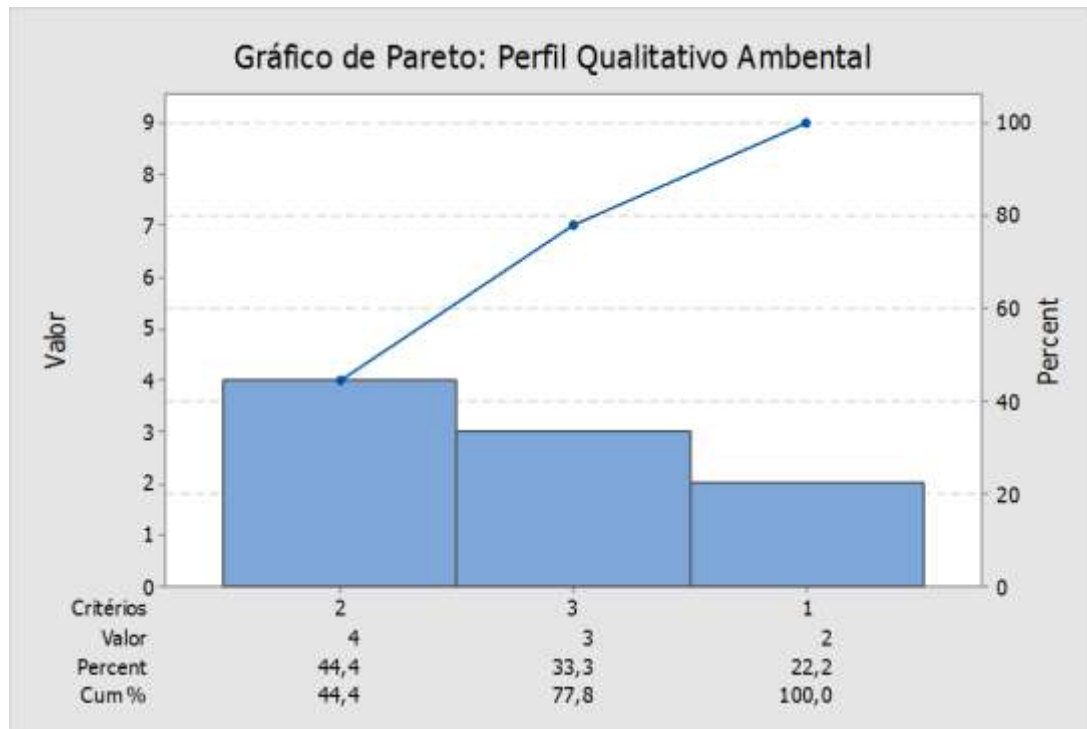
**Quadro 1** - Posicionamento da organização em relação a questão ambiental.

| Empresas agressivas                                                                                                                                                                                                             | Classificação |   |   |   |   | Empresas amigáveis                                                                                                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---|---|---|---|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                 | 1             | 2 | 3 | 4 | 5 |                                                                                                                                                                                                           |
| <b>1. Ramo de atividade</b>                                                                                                                                                                                                     | X             |   |   |   |   |                                                                                                                                                                                                           |
| <b>2. Produtos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• MP não renováveis</li> <li>• Não há reciclagem</li> <li>• Não há aproveitamento de resíduos</li> <li>• Poluidores</li> <li>• Consumo de energia</li> </ul>          |               |   | X |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• MP renováveis</li> <li>• Reciclagem</li> <li>• Reaproveitamento de resíduos</li> <li>• Não poluidores</li> <li>• Baixo consumo de energia</li> </ul>             |
| <b>3. Processo</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluente</li> <li>• Resíduos perigosos</li> <li>• Alto consumo energético</li> <li>• Ineficiente uso dos recursos</li> <li>• Insalubre aos trabalhadores</li> </ul> |               | X |   |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não poluentes</li> <li>• Poucos resíduos</li> <li>• Baixo consumo energético</li> <li>• Eficiente uso dos recursos</li> <li>• Não afeta trabalhadores</li> </ul> |
| <b>4. Consciência ambiental</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumidores não conscientes</li> </ul>                                                                                                                |               | X |   |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Consumidores conscientes</li> </ul>                                                                                                                              |
| <b>5. Padrões ambientais</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixos padrões</li> <li>• Não obediência as restrições</li> </ul>                                                                                         |               | X |   |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Altos padrões</li> <li>• Obediência às restrições</li> </ul>                                                                                                     |
| <b>6. Comprometimento gerencial</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Não comprometido</li> </ul>                                                                                                                        | X             |   |   |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Comprometido alto</li> </ul>                                                                                                                                     |
| <b>7. Nível de capacidade pessoal</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo</li> <li>• Longos ciclos de desenvolvimento</li> </ul>                                                                                     |               | X |   |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alto</li> <li>• Voltado a novas tecnologias</li> </ul>                                                                                                           |
| <b>8. Capacidade de P&amp;D</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixa criatividade</li> <li>• Longos ciclos de desenvolvimento</li> </ul>                                                                              |               |   | X |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta criatividade</li> <li>• Curtos ciclos de desenvolvimento</li> </ul>                                                                                         |
| <b>9. Capital</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ausência de capital</li> </ul>                                                                                                                                       |               |   | X |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Existência de capital</li> </ul>                                                                                                                                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pouca possibilidade de empréstimos</li> </ul>                                                                                                                                          |               |   |   |   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Alta possibilidade de empréstimos</li> </ul>                                                                                                                     |

A utilização do **Erro! Fonte de referência não encontrada.** pode ser feita da seguinte maneira: Se a empresa é muito ameaçada pela questão ambiental marca-se 1, caso a questão ambiental constitui oportunidade de crescimento assinala-se 5.

Se a situação da empresa está mais próxima da situação da esquerda ou da direita, assinalar respectivamente 2 ou 4. Finalmente, adotar 3 para uma situação intermediária.

O Gráfico de Pareto , mostra avaliação ambiental sob o ponto de vista qualitativo da indústria de laticínio.



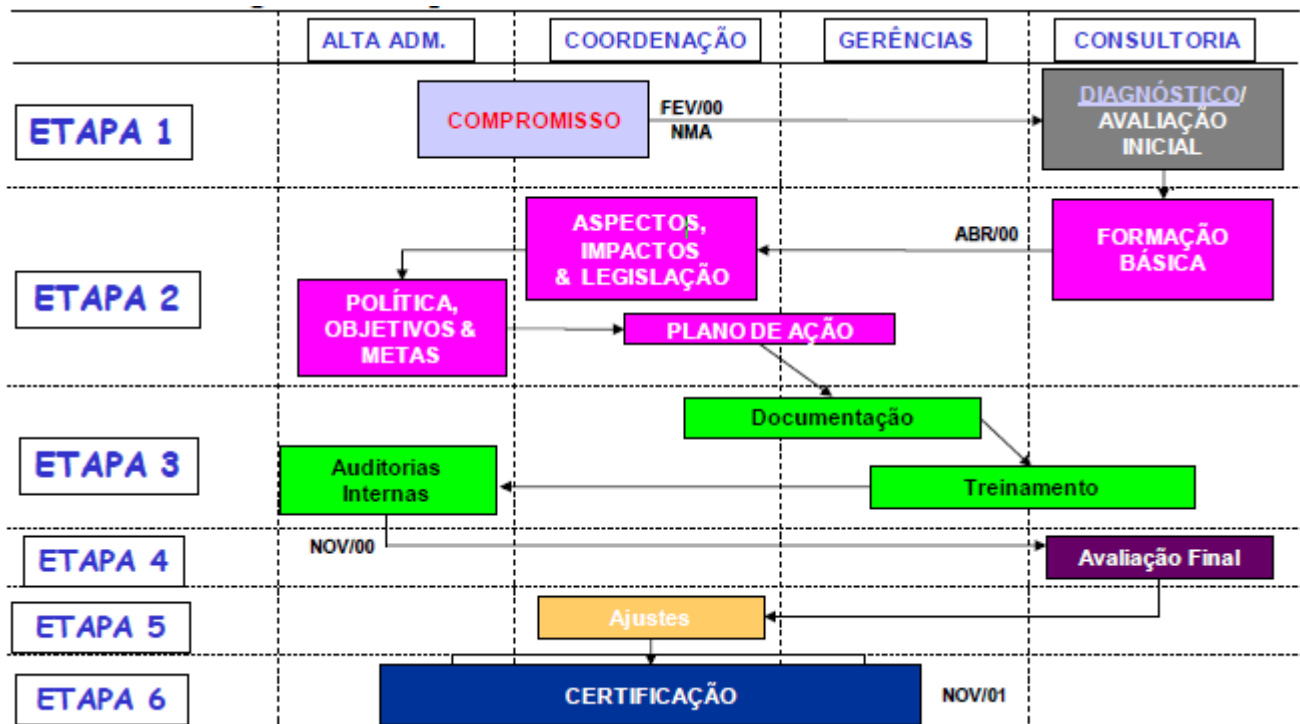
Como as maiorias dos valores atribuídos estão entre 1 e 2, a empresa está provavelmente diante de um importante desafio.

O Gráfico de PARETO mostra que quatro (ramo de atividade, Consciência Ambiental, padrões ambientais e capacidade de pessoal) critérios receberam avaliação 1, totalizando 44,4%, enquanto dois critérios receberam avaliação 2 (processo e padrões ambientais), totalizando 22,2%. Por outro lado três critérios receberam nota 3 (Ramo de atividade, P&D e Capital), totalizando 33,33%. Pode se constatar que as avaliações 1 e 2 correspondem a 66,66%. Esse valor indica que a indústria de laticínio, neste contexto do estudo, está ameaçada pela questão ambiental. A indústria deve melhorar os requisitos ambientais para alcançar o bom desempenho ambiental.

### 3.2 PROPOSTA DE ROTEIRO

A Figura 2 mostra a proposta de roteiro da indústria de laticínio.

**Figura 2:** Proposta de roteiro da indústria de laticínio



Na Figura 2, a alta administração da organização é a responsável pela condução da implantação do SGA. A coordenação, as gerências e a consultoria são importante responsáveis diretas pela implantação

### 3.3 PROPOSTA DE PLANO

A Tabela 2 mostra os parâmetros dos efluentes da indústria de laticínios em relação à DQO, DBO5, pH, nitrogênio, sólidos dissolvidos, sólidos totais fixos e temperatura.

**Tabela 2 -** Parâmetros de efluente Indústria de Laticínio

| Parâmetro                  | Valor            | Valores máx. Permitido        |
|----------------------------|------------------|-------------------------------|
| <b>DQO</b>                 | 61045 (mg/L)     | xx                            |
| <b>DBO</b>                 | 19964            | Até 60 mg/L LEI N° 14.675/09  |
| <b>pH</b>                  | 14               | 6,0 a 9,5 PORTARIAS N° 518/04 |
| <b>Nitrogênio Total</b>    | 4 400 (mg/L)     | Até 20 mg/L CONAMA n° 430     |
| <b>Sólidos Dissolvidos</b> | 4 3541           | xx                            |
| <b>Turbidez</b>            | 4 0,5 (NTU)      | 5 (NUT) CONAMA 357            |
| <b>Sólidos Totais</b>      | 4 4678,66 (mg/L) | xx                            |

|                             |               |    |
|-----------------------------|---------------|----|
| <b>Sólidos Totais fixos</b> | 4 1144 (mg/L) | xx |
|-----------------------------|---------------|----|

Observa-se que ocorre uma grande variação dos resíduos líquidos e esta variação é decorrente ao porte das indústrias de laticínio, em análise. Contudo quanto menor for a empresa mais agressiva ela é ao meio ambiente por não ter recursos para implantar uma ETE.

**Tabela 3-** Planos de Gestão Ambiental Indústria de Laticínios: Aspectos, impactos e legislação

| <b>Aspecto Ambiental</b> | <b>Impacto Ambiental</b>                                                                          | <b>Legislação</b>                         |
|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Lançamento de DQO        | Redução de O <sub>2</sub> na água                                                                 | —                                         |
| Lançamento de DBO        | Influência de matéria orgânica presente na água envolve o consumo de oxigênio dissolvido na água. | Portaria N° 518/04 do Ministério da saúde |
| pH                       | Precipitação ácida ou Número de plantas e matéria orgânica na água                                | Resolução CONAMA Art. 34/4°               |
| Lançamento de NT         | Causa eutrofização na água                                                                        | Resolução CONAMA Art. 9/3°                |
| Sólidos Totais           | Influência no peso total dos constituintes minerais presentes na água                             | PORTARIA N° 518/04 do Ministério da Saúde |

Na tabela 3, para controlar o volume e carga poluente dos resíduos gerados durante o processamento é preciso compreender as etapas de produção e os principais fatores que influenciam a sua geração. Os aspectos relacionados, referem-se aos efluentes e os impactos são decorrentes dos aspectos, como redução de oxigênio na água, eutrofização e acidez nos efluentes.

**Tabela 4 -** Planos de Gestão Ambiental Indústria de Laticínios: Objetivos e Metas

| <b>Parâmetro</b>  | <b>Objetivo</b>                        | <b>Meta</b>     |
|-------------------|----------------------------------------|-----------------|
| Lançamento de DQO | Reduzir o lançamento de DQO            | Reduzir 20%     |
| Lançamento de DBO | Diminuir a DBO                         | Reduzir em 30 % |
| pH                | Neutralizar o pH                       | Reduzir em 50%  |
| Lançamento de NT  | Diminuir a emissão de nitrogênio total | Reduzir em 25%  |
| Sólidos Totais    | Diminuir os sólidos totais             | Reduzir em 20 % |

Na tabela 4, os objetivos a serem alcançados dependem de cada aspecto ambiental. Por exemplo, os objetivos serão sempre com o intuito de reduzir os impactos ambientais. Por outro lado as metas para todos os aspectos ficarão entre 20 a 30%. Neste contexto, as reduções dos impactos ambientais são de suma importância para implementar o SGA e consequentemente a obtenção da certificação ISO 14.001.

## 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Pode-se concluir que, este estudo possibilitou conhecer as etapas do processo produtivo e os principais resíduos sólidos, líquidos e gasosos que estão envolvidos no setor leiteiro, propiciou uma visão de implementação do Sistema de Gestão Ambiental, no que diz respeito a melhorar o posicionamento da indústria de laticínio.

O estudo identificou, portanto, a necessidade de a empresa focar, em objetivos claros, os aspectos ambientais referentes ao tratamento de seus efluentes que apresentam elevada DQO e DBO5.

As metas a serem atingidas referem se aos aspectos de lançamento de efluentes do setor de laticínios.

## REFERÊNCIAS

- ABDALA DE MOURA, L. A. Qualidade e gestão ambiental. São Paulo : editora Oliveira Mendes. 1998.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). ISO 14.001:2004. Sistema de gestão ambiental: requisitos com orientações para uso. Disponível em: <http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasghislaine/iso-14001-2004.pdf>. Data: 20 de outubro de 2019.
- BERGAMASCHI, Marco Aurélio. Produção de Leite Gera Valor Agregado, 2010. Disponível em: <http://www.pecuaria.com.br/info.php?ar=1&&ver=9435>. Acesso em: 17 agosto. 2019.
- BREGMAN, J. I. (1999). Environmental impact statements. 2nd. Ed. Lewis Publishers. 420p
- BRIÃO, V. B. Estudo de Prevenção à Poluição de Resíduos Líquidos em uma Indústria de Laticínios. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), Programa de Pós-graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá. Maringá/PR, 2000.
- CARVALHO, Glauco Rodrigues; CARNEIRO, Alziro Vasconcelos. Principais Indicadores Leites e Derivados: boletim eletrônico mensal. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, v. 3, n. 19, 07 de janeiro de 2010.
- CARVALHO, L.A.; NOVAES, L.P.; GOMES, A.T.; MIRANDA, J.E.C.; RIBEIRO, A.C.C.L; Sistema de produção de Leite (Zona da mata Atlântica). Embrapa Gado de Leite; Sistema de Produção. Janeiro de 2003. Disponível em :<  
<https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Leite/LeiteZonadaMataAtlantica/autor es.html#Limirio> >
- HENARES, Juliana F. Caracterização do Efluente de Laticínio: análise e proposta de tratamento. 2015. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.
- MAGANHA, M. F. B. Guia Técnico Ambiental da Indústria de Produtos Lácteos. São Paulo: CETESB, 2006; p. 95. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 21/08/2019.
- NORTH, K. Environmental business management. Genebra: ILO, 1992.
- NUNES, José A. Tratamento Biológico de Águas Residuárias. 3ª edição; Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade, 2012.
- OMIL, F.; GARRIDO, J. M.; ARROJO, B.; MÉNDEZ, R. Anaerobic Filter Reactor Performance for the Treatment of Complex Dairy Wastewater at Industrial Scale. Water Research, v. 37, n. 17, p. 4099-4108, 2003.
- REIS, M. J. L., 1995, ISO 14000: Gerenciamento Ambiental: Um Novo Desafio para a sua Competitividade. 1 ed., Rio de Janeiro, Qualitymark Ed.
- SIQUEIRA, K.B.; CARNEIRO, A. V.; ALMEIDA, M. F.; NALON, R. C. O mercado lácteo brasileiro no contexto mundial. Circular Técnica. Juiz de Fora, MG. Dezembro, 2010.



## Capítulo 2



10.37423/250710181

# USO SUSTENTÁVEL DO LODO DE ESGOTO: ANÁLISE DE SUA COMPOSIÇÃO QUÍMICA PARA APLICAÇÃO AGRÍCOLA

*Eduardo Antonio Bechinski*

*1Universidade Estadual de Ponta Grossa*

*Camila Zoe Correa*

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*

*Flávia Gonçalves Pissinati Pelaquim*

*Universidade Tecnológica Federal do Paraná*



**Resumo:** Este estudo avaliou a viabilidade do uso agrícola do lodo gerado em uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETE) localizada em Ponta Grossa, Paraná. A estação atende cerca de 15% da população do município e adota tratamento preliminar com gradeamento e desarenadores, seguido por reatores anaeróbios de leito fluidizado e lagoa de polimento. O lodo analisado passou por desaguamento, higienização e calagem, sendo submetido à caracterização química pela concessionária local. As análises indicaram que as concentrações de metais pesados (Cd, Pb, Cu, Cr, Hg e Zn) estavam abaixo dos limites estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 498/2020 e SEMA nº 021/2009, demonstrando a viabilidade ambiental do resíduo para fins agrícolas. Em relação aos macronutrientes, destacaram-se os elevados teores de cálcio, magnésio, nitrogênio e fósforo, que conferem ao lodo potencial como condicionador do solo e fonte de nutrientes. A baixa concentração de potássio, entretanto, aponta para a necessidade de complementação. Os resultados corroboram a literatura quanto aos benefícios agronômicos do uso do lodo na agricultura, reforçando seu reaproveitamento como estratégia sustentável de destinação, alinhada aos princípios da economia circular. Ressalta-se, contudo, a importância da caracterização prévia e do monitoramento técnico contínuo para garantir a segurança e eficácia da aplicação agrícola.

**Palavras-chave:** biossólido, nutrientes, metais pesados, agricultura, sustentabilidade, economia circular.

## 1. INTRODUÇÃO

As estações de tratamento de esgoto (ETE) têm como função principal a remoção de cargas poluentes do esgoto sanitário, possibilitando o retorno do efluente tratado ao meio ambiente, dentro dos padrões estabelecidos pela legislação vigente. Como subproduto desse processo, destaca-se a geração de lodo, cuja gestão adequada é essencial para minimizar os impactos ambientais.

As ETEs geram entre 1% e 2% do volume total de esgoto tratado na forma de lodo, o que representa milhões de toneladas anualmente (Krause; Bronstein, 2024). No Brasil, estima-se a produção diária de aproximadamente 365 toneladas de lodo de esgoto, totalizando cerca de 133.225 toneladas por ano. A maior parte desse material é destinada a aterros sanitários, o que evidencia a necessidade de práticas de reciclagem mais sustentáveis (Sobrinho et al., 2019). Entre as alternativas promissoras, destacam-se o reaproveitamento agrícola, a recuperação de áreas degradadas, o reuso industrial e a aplicação florestal — estratégias que visam transformar o resíduo em um recurso útil (Rosa et al., 2016).

A utilização agrícola do lodo de esgoto é considerada uma alternativa ambientalmente adequada, pois permite a reciclagem de nutrientes e o aporte de matéria orgânica ao solo, promovendo melhorias em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (Bittencourt, 2014). Essa prática contribui para o fechamento do ciclo dos elementos, com o retorno dos nutrientes ao ambiente (Ferreira; Andreoli, 1999).

O lodo originado do tratamento de esgoto sanitário apresenta, quando devidamente tratado, concentrações significativas de nutrientes essenciais e propriedades que podem beneficiar o solo e a produtividade agrícola. No entanto, seu uso deve ser criteriosamente avaliado, pois pode conter patógenos, metais pesados e outros contaminantes. Dessa forma, a realização de análises prévias é indispensável para garantir sua aplicação segura na agricultura.

Do exposto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a concentração de metais de alta massa molecular e de nutrientes presentes em amostra de lodo gerado em uma ETE, presente na cidade de Ponta Grossa-PR.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

O lodo caracterizado nesta pesquisa foi proveniente de uma Estação de Tratamento de Esgoto Sanitário (ETE) localizada no município de Ponta Grossa, no estado do Paraná. Essa unidade é

responsável pelo tratamento do esgoto gerado por aproximadamente 15% da população do município.

O tratamento preliminar da estação é realizado por meio de gradeamento e desarenadores ciclônicos do tipo *air lift*. O tratamento secundário ocorre em reatores anaeróbios de leito fluidizado (RALF), operando com vazão nominal de 70 L/s. Como etapa de pós-tratamento (tratamento terciário), é utilizada uma lagoa de polimento.

O lodo passou por processos de desaguamento, higienização e calagem, com adição de hidróxido de cálcio  $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ . Sua caracterização química foi realizada pela própria companhia de saneamento, que disponibilizou o respectivo laudo após a amostragem.

Neste laudo foram analisadas as concentrações de metais pesados inorgânicos: cádmio (Cd), chumbo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), mercúrio (Hg) e zinco (Zn). Em relação aos macronutrientes, foram avaliadas as concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S). É importante destacar que, devido ao tempo de execução da pesquisa, este artigo apresenta os resultados obtidos de apenas um laudo disponibilizado pela concessionária.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 01 apresenta os resultados das concentrações das substâncias químicas analisadas na amostra de lodo gerado no processo de tratamento de esgoto sanitário. Nesta Tabela também são apresentadas as concentrações máximas permitidas pela CONAMA 498/2020 e Resolução SEMA 021/2009.

A análise química do lodo, em relação aos metais de alta massa molecular, demonstrou que esses se encontram dentro dos valores máximos estipulados pelo CONAMA 498/2020 e a SEMA 021/2009 (Tabela 01). A concentração desses elementos varia em função da sua origem e do processo de pré tratamento que o lodo foi submetido.

Deste modo, as baixas concentrações encontradas podem estar associadas à origem doméstica do lodo monitorado e ao pré-tratamento realizado. Ainda, observa-se que ao comparar esses valores com as concentrações permitidas pela legislação de países como os Estados Unidos e União Europeia, os mesmos estariam aquém dos níveis críticos permitidos. Portanto confirma-se a probabilidade de uso agrícola do lodo de esgoto como alternativa de destinação final em diferentes países, conforme mencionado por Bittencourt (2014).



**Tabela 01** – Concentração de substâncias inorgânicas encontradas no Lodo e concentrações máximas permitidas pela CONAMA (2020) e SEMA (2009).

| Substâncias Inorgânicas | Resultado (mg kg <sup>-1</sup> ) | Concentração máxima permitida (mg kg <sup>-1</sup> ) |                            |
|-------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------|----------------------------|
|                         |                                  | CONAMA 498/20 <sup>1</sup>                           | SEMA 021/2009 <sup>2</sup> |
| Cádmio (Cd)             | 6                                | 39                                                   | 20                         |
| Chumbo (Pb)             | 20                               | 300                                                  | 300                        |
| Cobre (Cu)              | 99                               | 1500                                                 | 1000                       |
| Cromo (Cr)              | 25                               | 1000                                                 | 1000                       |
| Mercúrio (Hg)           | 0,5                              | 17                                                   | 16                         |
| Zinco (Zn)              | 412                              | 2800                                                 | 2500                       |

<sup>1</sup> CONAMA (2020)

<sup>2</sup> SEMA (2009)

Na Tabela 02 são apresentados os resultados obtidos na análise dos nutrientes presentes na amostra de lodo.

**Tabela 02** – Concentração de nutrientes presentes na amostra de lodo estudada.

| Nutrientes (mg kg <sup>-1</sup> ) |              |             |             |               |             |
|-----------------------------------|--------------|-------------|-------------|---------------|-------------|
| Nitrogênio (N)                    | Potássio (K) | Fósforo (P) | Cálcio (Ca) | Magnésio (Mg) | Enxofre (S) |
| 14.083                            | 1.016        | 4.233       | 67.200      | 32.977        | 10.813      |

Em relação aos macronutrientes o Cálcio e o Magnésio foram os nutrientes presentes em maiores quantidades no lodo. A concentração maior destes nutrientes é decorrente do tratamento com calcário para higienização do lodo.

O Potássio foi o macronutriente que apresentou menor concentração na amostra de lodo avaliada. O baixo teor de K no lodo pode ser uma consequência da permanência deste elemento em solução, sendo com isso eliminado juntamente com a água residual do tratamento de esgoto, como relatado por Pedrosa *et al.* (2017). Devido a isso a complementação potássica é frequentemente apontada como imprescindível para a obtenção de boas produções conforme alertam Silva *et al.* (2001).

Testando a influência de lodo de esgoto nas doses de 30 e 60 mg ha<sup>-1</sup> na reestruturação de um solo degradado, Bonini *et al.* (2015) observaram que o lodo de esgoto influenciou positivamente os componentes químicos do solo estudados (pH, CTC, SB, MO, P, Ca, Mg e K). Resultados semelhantes foram obtidos por Garcia *et al.* (2009), em experimento com cinco doses de lodo de esgoto doméstico

correspondentes a 0, 25, 50, 75 e 100 t ha<sup>-1</sup>, visando melhorias das propriedades químicas de um solo degradado, os autores observaram um aumento do pH, nos teores de matéria orgânica, fósforo, potássio, sódio, cálcio CTC total e efetiva, soma de bases e diminuição dos valores de alumínio e H+Al no solo.

Ao utilizar o biossólido em doses crescentes para a cultura da soja, Lemainski & Silva (2006) verificaram que a eficiência agrônômica dos tratamentos, em média, foi 18% superior aos tratamentos com fertilizante mineral. Os autores concluíram que os resultados mostram a viabilidade agrônômica e econômica com o uso do biossólido em substituição ao fertilizante mineral para a cultura, apresentando um potencial para suprir as necessidades nutricionais das plantas de forma igualitária à adubação mineral conforme assevera Pedrosa *et al.*, 2017. Já Pires *et al.* (2015), aplicando sucessivas doses de lodo de esgoto na cultura do milho, observaram que ele é mais efetivo em fornecer nitrogênio à cultura, em longo prazo, do que a adubação mineral.

Utilizando lodo na cultura de girassol, Lobo e Grassi Filho (2007) obtiveram aumento significativo na produtividade de grãos, óleo e matéria seca. Os autores concluíram que o N proveniente da adubação mineral pode ser substituído pelo N proveniente do lodo de esgoto. Blum (2016), adubando rúcula com lodo de esgoto, observou que as plantas responderam positivamente às crescentes doses do resíduo, resultando em um aumento linear no número de folhas, índice de área foliar, massa seca, massa fresca e índice de clorofila, a autora concluiu que o lodo de esgoto tem potencial para ser utilizado como fertilizante agrícola.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização química do lodo de esgoto analisado neste estudo demonstrou que as concentrações de metais de alta massa molecular estão abaixo dos limites estabelecidos pelas resoluções CONAMA nº 498/2020 e SEMA nº 021/2009, indicando a viabilidade ambiental do resíduo para uso agrícola, desde que observadas as boas práticas de manejo e aplicação.

Além disso, a análise dos macronutrientes revelou teores expressivos de elementos como Cálcio, Magnésio, Nitrogênio e Fósforo, os quais conferem ao lodo potencial agrônômico como condicionador do solo e fonte alternativa de nutrientes para culturas agrícolas. A menor concentração de Potássio reforça a necessidade de complementação nutricional, especialmente em culturas exigentes neste elemento.

Os resultados experimentais corroboram estudos prévios que demonstram os benefícios do uso agrícola do lodo de esgoto, tanto na melhoria das propriedades químicas do solo quanto no aumento da produtividade de culturas. Assim, o reaproveitamento agrícola do lodo se apresenta como uma alternativa técnica, econômica e ambientalmente viável para a destinação desse resíduo, contribuindo para a gestão sustentável dos efluentes gerados nas estações de tratamento de esgoto.

Contudo, ressalta-se a importância da caracterização prévia do lodo e do acompanhamento técnico contínuo para garantir a segurança da aplicação, evitar contaminações e maximizar os benefícios agrônômicos. Diante do crescente volume de lodo gerado com a expansão dos sistemas de esgotamento sanitário no Brasil, soluções baseadas na economia circular, como a valorização agrícola desse resíduo, devem ser incentivadas e incorporadas às políticas públicas de saneamento e agricultura sustentável.



## REFERÊNCIAS

- BITTENCOURT, S. Gestão do processo de uso agrícola de lodo de esgoto no Estado do Paraná: aplicabilidade da resolução Conama 375/06. 2014. 220 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- BLUM, P. G. Lodo de esgoto como fertilizante na cultura da rúcula. 2016. 37 p. Monografia (Conclusão de Curso de Graduação em Agronomia) – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, PR, 2016.
- BONINI, C. S. B.; ALVES, M. C.; MONTANARI, R. L. Lodo de esgoto e adubação mineral na recuperação de atributos químicos de solo degradado. *Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental*, v. 19, n. 4, p. 388-393, 2015.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução N° 498, de 19 de ago. 2020. Define critérios e procedimentos para produção e aplicação de biossólido em solos, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 19 de ago. 2020. Edição: 160. Seção 1, 2020.
- FERREIRA, A. C.; ANDREOLI, C. V. Produção e características dos biossólidos. In: ANDREOLI, C. V. *Uso e Manejo do lodo de esgoto na agricultura*. Curitiba: PROSAB, 1999. Cap. 1, p. 8-17.
- KRAUSE, M. J.; BRONSTEIN, K. Estimating national sludge generation and disposal from US drinking water and wastewater treatment plants. *Journal of Cleaner Production*, 2024.
- LOBO, F. T.; GRASSI FILHO, H. Níveis de lodo de esgoto na produtividade do girassol. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, v. 7, n. 3, p. 16-25, 2007.
- PARANÁ. Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Resolução SEMA 021/09. *Diário Oficial do Estado do Paraná*, Curitiba, 7962:13-16, 2009.
- PEDROSA, M. V. B.; LIMA, W. L.; AMARAL, A. A.; CARVALHO, A. H. O. Biossólido de lodo de esgoto na agricultura: desafios e perspectivas. *Revista Agrogeoambiental*, v. 9, n. 4, p. 125–142, 2017.
- PIRES, A. M. M. *Uso agrícola do lodo de esgoto: aspectos legais*. Embrapa meio ambiente. Jaguariuna, São Paulo, 4p, 2006.
- ROSA, A. P.; LOBATO, L. C. da S.; BORGES, J. M.; MELO, G. C. B. de; CHERNICHARO, C. A. de L. Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB. *Revista Engenharia Sanitária*, v. 21, p. 315-328, 2016.
- SILVA, F. C.; BOARETTO, A. E.; BERTON, R. S.; ZOTELLI, H. B.; PEXE, C. A.; BERNARDES, E. M. Efeito do lodo de esgoto na fertilidade de um Argissolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 5, p. 831-840, 2001.
- SOBRINHO, M. A. da M.; TAVARES, R. G.; ARRUDA, V. C. M. de; CORRÊA, M. M.; PEREIRA, L. Generation, treatment and final disposal of the waste of water treatment stations in the state of Pernambuco, Brazil. 2019.

## Capítulo 3



10.37423/250710186

# FUNGOS ASSOCIADOS A NINHOS DE NASUTITERMES CORNIGER (ISOPTERA: TERMITIDAE) EM ÁRVORES DE SYZYGium MALACCENSE (MYRTACEAE).

*RAIMUNDA LIÉGE SOUZA DE ABREU*

*INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA  
AMAZÔNIA*

*KATARINA DA SILVA COUTO*

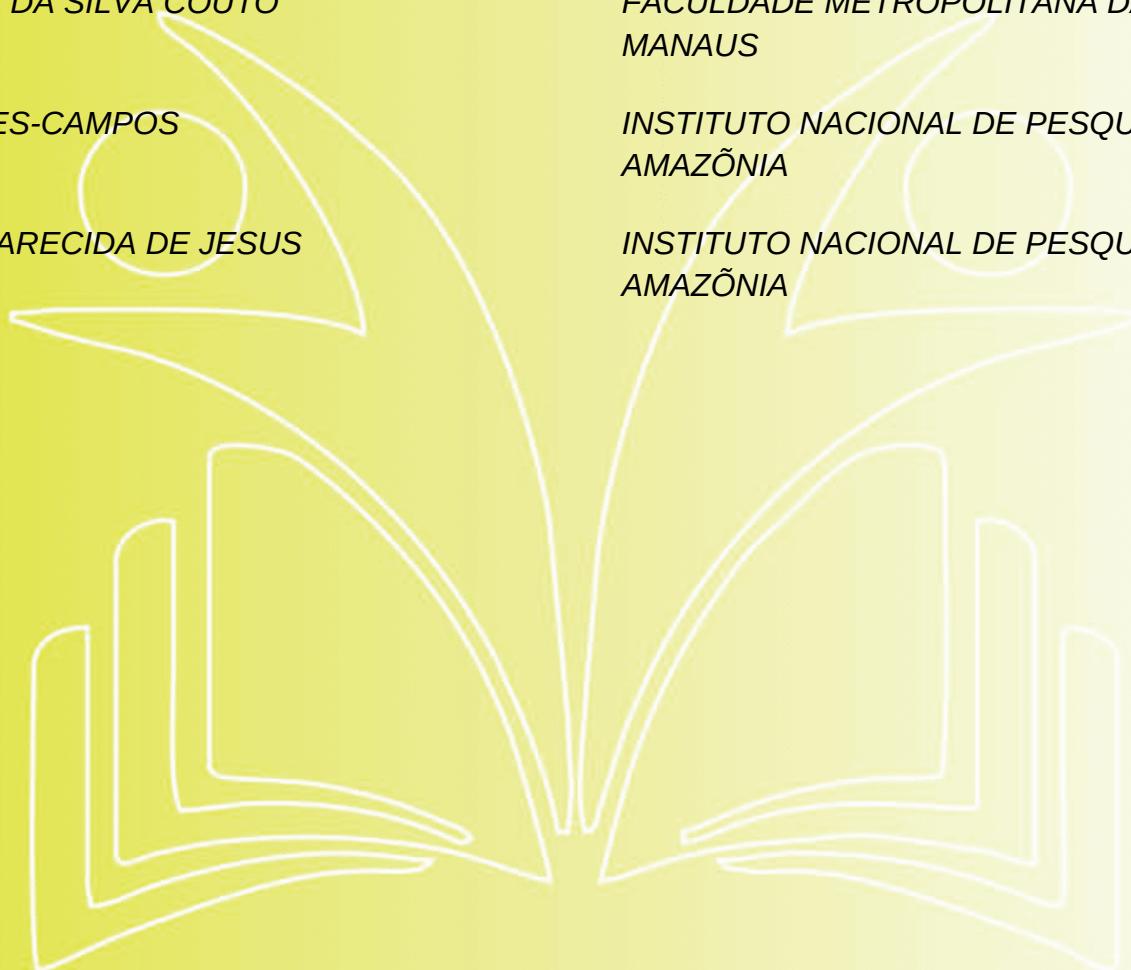
*FACULDADE METROPOLITANA DA  
MANAUS*

*CECI SALES-CAMPOS*

*INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA  
AMAZÔNIA*

*MARIA APARECIDA DE JESUS*

*INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA  
AMAZÔNIA*



**Resumo:** Os cupins são insetos sociais pertencentes à infra ordem Isoptera com mais de 3 mil espécies descritas mundialmente e ocorrem em áreas tropicais e subtropicais. A espécie *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) pertence à família Termitidae e é encontrada principalmente em áreas urbanas e em locais com certo grau de perturbação. Devido a sua alta plasticidade alimentar, pode consumir madeira em diferentes estágios de deterioração e de diferentes espécies, além de gramíneas e outras fontes de celulose. A estratégia de se alimentar de materiais abundantes na natureza, permitiu que surgisse uma série de associações simbióticas entre cupins e microrganismos, como fungos, e entre os próprios microrganismos que utilizam o ninho e também tubo digestivo dos cupins como habitat. Diante do exposto, este estudo analisou a comunidade de fungos associado a amostras de 3 ninhos de *N. corniger* construídos em árvores de *Syzygium malaccense* (L. Merr. & L. M. Perry) (jambeiro) em ambiente urbano de Manaus, avaliando a riqueza, abundância e a diversidade, através da Anova de Friedman e do índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ). Como resultado, os três ninhos avaliados apresentaram 66 linhagens fúngicas, divididos em 10 morfotipos e 6 gêneros. No primeiro ninho foram isoladas 20 linhagens, sendo identificados os gêneros *Penicillium* e *Paecilomyces*. No segundo ninho, com 26 linhagens, foram obtidos 4 gêneros sendo eles *Mortierella*, *Verticillium*, *Penicillium* e *Helicocephalum*. No terceiro ninho, de 20 isolados foram identificados além de *Penicillium* e *Paecilomyces*, o gênero *Trichoderma*. A maior estimativa de riqueza foi representada no ninho 3 e análise de variância não mostrou diferença estatística significativa na micótica associada aos ninhos dos cupins. A maior diversidade de fungos (0.8228) ocorreu no ninho 1, com 6 morfotipos e 2 gêneros isolados.

**Palavras-Chaves:** Cupins, ninhos, fungos simbiontes.



## INTRODUÇÃO

Os cupins ou térmitas pertencentes à Infraordem Isoptera (Blattodea) por participarem ativamente da decomposição de materiais ricos em lignocelulose, especialmente em regiões tropicais, são considerados um dos mais importantes grupos de insetos terrestres nessas regiões, pois contribuem com o aumento da fertilidade do solo e do rendimento das colheitas (Ohkuma 2003; Brune 2014). A alimentação de materiais lignocelulósicos que são abundantes na natureza, propiciou associações simbióticas entre cupins e microrganismos e também entre os próprios microrganismos que vivem no tubo digestivo dos cupins. Esta associação viabiliza o processamento do carbono e fixação de nitrogênio por meio de vias metabólicas, que até pouco tempo eram desconhecidas para a ciência (Douglas 2009; Watanabe e Tokuda 2010; Brune 2014; Brune e Dietrich 2015; Fang *et al.* 2016).

Embora existam estudos abordando essas interações (Sands 1969; Tho 1978; Hyodo *et al.* 1999; 2000; Rojas *et al.* 2001; Barbosa-Silva *et al.* 2016; Melo *et al.* 2016), a maioria concentra-se na subfamília Macrotermitinae, cupins originários da África ou da Ásia. Nos ninhos desses cupins foram encontradas inúmeras espécies de fungos do gênero *Termitomyces*, verificando aqui o mais alto nível de especialização da associação entre fungos e cupins, com os característicos jardins de fungos (Aanen *et al.*, 2009; Nobre e Aanen 2012; Bastien *et al.* 2013; Poulsen *et al.* 2014; Bourguignon *et al.* 2018; Ahmad *et al.* 2021; 2022). Outros trabalhos abordaram os benefícios dos fungos decompositores da lignocelulose para os cupins colonizadores de madeira (Rouland- Lefevre 2000; Rojas *et al.* 2001; Mathew *et al.*, 2013; Peterson *et al.* 2015).

Estudos acerca de aspectos bioecológicos dos cupins no Brasil são escassos e em se tratando da composição micótica dos ninhos, sendo que os trabalhos se restringem à família Termitidae. Como exemplo, o trabalho de Melo *et al.* (2016) relatam a existência de 23 morfotipos e 8 gêneros de Ascomycota em ninhos de *Masutitermes corniger* e o de Barbosa-Silva *et al.* (2016), registraram 10 espécies em ninhos de *Constrictotermes cyphergaster*, sendo *Aspergillus* o gênero mais abundante.

As espécies da família Termitidae são consideradas superiores, pois possuem associação com fungos e procariontes para digerir a celulose (Correia *et al.* 2008). Entre os cupins, esta família possui o maior número de espécies, sendo o gênero *Nasutitermes* seu maior representante e a espécie *Nasutitermes corniger* a mais abundante na cidade de Manaus, em arborização urbana e em fragmentos florestais, ocasionando danos em postes, construções, árvores, e outros substratos lenhosos (Abreu *et al.* 2014; 2020; 2024; Gazal *et al.* 2019). Constrói ninhos em árvores e por isso é conhecida como cupim arborícola. Os ninhos ou colônias são policálicos, geralmente grandes e de coloração escura, estão

ligados ao solo por tuneis, visto que não coletam material da árvore onde nidificam, mas sim do solo. A construção de ninhos policíclicos aumenta significativamente a área de forrageamento e a capacidade reprodutiva de cada colônia, permitindo que o cupim se espalhe e colonize novos habitats, que podem incluir áreas urbanas (Thorne 1982; Vasconcellos e Bandeira 2006). De acordo com Thorne (1980), um ninho grande abriga de 500.000 a 900.000 indivíduos e 20% desse são soldados. Os operários constroem tuneis e galerias por todo o ninho com madeira mastigada, material fecal e terroso, juntamente com fezes que adicionam um componente orgânico, oriundo dos resíduos alimentares.

Diante do exposto e em função de lacunas sobre as associações entre cupins e fungos, este estudo analisou a comunidade de fungos associado aos ninhos de *N. corniger* em árvores de *S. malaccense*, em ambiente urbano de Manaus, avaliando a riqueza e a diversidade, bem como o potencial lignocelulolítico através de comparação com a literatura.

## MATERIAL E MÉTODOS

### ÁREA DE ESTUDO

As coletas de ninhos foram realizadas na cidade de Manaus, em três localidades distintas para parâmetros de comparação, sendo elas nos bairros Lírio do Vale, Cidade Nova e Adrianópolis. Todos os ninhos coletados se encontravam associados a espécie arbórea *Syzygium malaccense*, pertencente à família Myrtaceae.

### COLETA DAS AMOSTRAS DOS NINHOS

De cada ninho ativo foram coletadas amostras, provenientes da parte interna, embaladas em sacos plástico estéreis, colocadas em caixas de isopor e transportadas até o Laboratório de Fungos Comestíveis (LFC) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia.

### ISOLAMENTO DE FUNGOS PRESENTES NOS NINHOS DE CUPINS

Após a retirada dos cupins das amostras dos ninhos para que não houvesse a interferência nas análises, as amostras foram maceradas com o auxílio de um almofariz de porcelana. Após o maceramento, 10g de amostra de cada ninho foi colocada em frascos do tipo Enlarmayers, contendo 90 ml de água destilada. Os frascos foram agitados em shake orbital a 220 RPM, durante 30 min para homogeneização, em seguida foi empregada a técnica de diluição seriada de até  $10^{-4}$  g/ml, sendo retirada de cada diluição 0,1 ml, semeadas em placas de Petri esterilizadas, contendo meio B.D.A

(batata, ágar e dextrose) e antibiótico (Tetraciclina), para conter a contaminação por bactérias (Mello *et al.* 2016). As diluições seriadas foram espalhadas sobre o meio com o auxílio da alça de Drigalsky (técnica de distensão), sendo o experimento realizado em triplicata. As placas foram incubadas em câmara B.O.D a 25°C até o crescimento das colônias.

## PRESERVAÇÃO DOS ISOLADOS

Após o isolamento, os fungos foram mantidos na coleção de trabalho do LFC e preservados a partir do crescimento em BDA a  $25 \pm 2^\circ\text{C}$ . Após crescimento, 8 discos de 3 mm foram retirados da parte marginal do crescimento micelial de cada isolado e preservados em duplicata a temperatura ambiente (em torno de 25°C), em tubos de penicilina contendo 10 mL de água destilada estéril (Castellani 1967).

## ANÁLISE QUANTITATIVA DOS FUNGOS ISOLADOS.

A frequência absoluta dos fungos foi estimada pela quantidade total dos isolados. Os dados foram avaliados através do teste Qui Quadrado de Aderência ou Ajustamento conforme descrito em Callegari-Jacques (2002). O teste comparou a frequência absoluta total dos diferentes isolados nos diferentes ninhos. Já a abundância relativa das espécies foi submetida à análise multivariada de agrupamento, empregando como medida de similaridade/dissimilaridade a distância Euclidiana e como método de ligação a descrição encontrada (Ward Jr., 1963).

A riqueza, a abundância e a diversidade entre os ninhos foram comparadas por meio da ANOVA de Friedman, uma vez que os dados não apresentaram distribuição normal e homocedasticidade (Zar 2009). A análise da diversidade de fungos associados ao ninho dos cupins foi realizada pelo índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ) e pelo índice de dominância de Berger-Parker (Magurran, 1988). Enquanto a similaridade entre os ninhos foi estimada pelos coeficientes Jaccard ( $S_j$ ), Sørensen ( $S_s$ ) e Morisita ( $C_{mh}$ ) e pela porcentagem de similaridade (Krebs, 1998).

## IDENTIFICAÇÃO DOS FUNGOS ISOLADOS

Os fungos foram identificados em nível de gênero, por meio da observação dos caracteres morfológicos, como: a superfície e o reverso das colônias, o diâmetro das colônias, a cor dos conídios e micélio, a textura, a presença de exsudados e pigmentos solúveis. As estruturas microscópicas (conidióforos, células conidiogênicas e conídios) foram comparadas às chaves de classificação descritas em Singh *et al.* (1991) e Barnett; Hunter (1998).



## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os dados registrados na Tabela 1, os três ninhos de *N. corniger*, resultaram em 66 linhagens fúngicas, divididas em 10 morfotipos e 6 gêneros. No primeiro ninho foram obtidos 20 isolados, tendo sido identificados os gêneros *Penicillium* e *Paecilomyces* em 6 e 1 isolados respectivamente, além de 5 morfotipos. Não foi possível a identificação de todos os fungos devido ao crescimento insuficiente do corpo de frutificação. No segundo ninho dos 20 isolados foram obtidos 4 gêneros identificados: *Mortierella* sp. com 4 isolados, *Penicillium* sp. com 2 isolados, *Helicocephalum* sp. com 3 representantes isolados, *Verticillium* sp. em 3 isolados e 2 morfotipos. No terceiro ninho foram 26 isolados, sendo identificado além de *Penicillium* sp. e *Paecilomyces* sp. com 5 isolados cada, o gênero *Trichoderma* sp. com 1 isolado e mais 2 morfotipos. Os gêneros que apresentaram maior abundância entre os isolados, foram *Penicillium* e *Paecilomyces* pertencentes a família *Trichomaceae* e foi observada maior quantidade de isolados no ninho 3.

**Tabela 1.** Frequência absoluta de fungos isolados dos ninhos 1, 2 e 3 de *N. corniger* coletado em diferentes pontos da cidade de Manaus-AM.

| Fungos                    | Frequência absoluta |         |         |
|---------------------------|---------------------|---------|---------|
|                           | Ninho 1             | Ninho 2 | Ninho 3 |
| <i>Penicillium</i> sp.    | 6                   | 2       | 5       |
| <i>Paecilomices</i> sp.   | 1                   | 0       | 5       |
| <i>Mortierella</i> sp.    | 0                   | 4       | 0       |
| <i>Helicocephalum</i> sp. | 0                   | 3       | 0       |
| <i>Verticillium</i> sp.   | 0                   | 3       | 0       |
| <i>Trichoderma</i> sp.    | 0                   | 0       | 1       |
| Morfotipo 01              | 3                   | 0       | 1       |
| Morfotipo 02              | 0                   | 0       | 10      |
| Morfotipo 03              | 3                   | 0       | 0       |
| Morfotipo 04              | 0                   | 7       | 0       |
| Morfotipo 05              | 0                   | 0       | 4       |
| Morfotipo 06              | 3                   | 0       | 0       |
| Morfotipo 07              | 2                   | 0       | 0       |
| Morfotipo 08              | 1                   | 0       | 0       |
| Morfotipo 09              | 1                   | 0       | 0       |
| Morfotipo 10              | 0                   | 1       | 0       |
| <b>Total</b>              | 20                  | 20      | 26      |

De acordo com trabalhos realizados por (Domsch et al. 1993; Cavalcanti e Maia 1994; Moreira e Siqueira 2006; Barbosa-Silva et al, 2016), os seis gêneros de fungos encontrados nos ninhos de *N.*

corniger possuem a capacidade de digerir a celulose e a lignina e são comumente encontrados no solo. A ocorrência desses organismos nos ninhos é atribuída às atividades de forrageamento e escavação que os cupins realizam no solo e em substratos vegetais, corroborando a observação feita por Sands (1969). Barbosa-Silva et al (2016) afirmam que são degradadores de matéria orgânica e também fazem uma pré-digestão do material que servirá de alimento para os cupins. Neste processo, esses insetos ingerem os esporos desses fungos junto com o alimento e após a digestão os fungos são defecados podendo também ser abundante nos ninhos. Isto ocorre porque seus esporos aderem às cutículas de cupins forrageiros que os transportam para os ninhos e o material fecal é utilizado para a construção e reparo dos ninhos. (Sands, 1969, Cavalcanti e Maia, 1994. Mello *et al.* 2016). Os gêneros de fungos filamentosos mais comumente encontrados no solo são *Mucor*, *Rhizopus*, *Aspergillus*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Fusarium* e *Verticillium* (Moreira e Siqueira, 2002; Gams 2017).

Esta associação pode estar relacionada às condições favoráveis que o interior dos ninhos fornece aos fungos, tais como controle parcial de temperatura e umidade (cerca de 20 ° C e 96%, respectivamente), fator fundamental para esporulação e crescimento de colônias (Domsch *et al.* 1993, Alves, 1998, Mello et al. 2016), se tornando um ambiente favorável para que estes gêneros de fungos sejam encontrados. Hoje em dia sabe-se que esses simbioss agem bem sobre a celulose, que é retirada de fontes difusas pelos cupins para sua alimentação. Os simbioss são conhecidos por ampliar capacidades fisiológicas e ecológicas nos hospedeiros. As associações de microorganismos de insetos são extremamente comuns e muitas vezes estão relacionadas à exploração de nichos novos, vantagens de fitness e até mesmo eventos de especiação (Peterson et al. 2015)

As associações desses cupins com fungos permitem que utilizem uma variedade de substratos como recurso alimentar, pois ao se alimentarem, não conseguem digerir totalmente a celulose. Este trabalho é desempenhado com maestria em conjunto com os protozoários que vivem em seus intestinos e que também são encontrados em seus ninhos. Acredita-se que esses microrganismos possuem enzimas que hidrolisam a lignina, celulose e outros polímeros da madeira, transformando-os em açúcares fermentáveis, que podem ser absorvidos pelo trato intestinal dos cupins. Dessa forma recebem nutrição e energia que, ao mesmo tempo, podem ser utilizados nas vias metabólicas dos microrganismos. Assim, no trato intestinal de cupins, enzimas originadas tanto da microbiota quanto do hospedeiro podem colaborar aditiva ou sinergisticamente na digestão do alimento (Scharf et al., 2011).

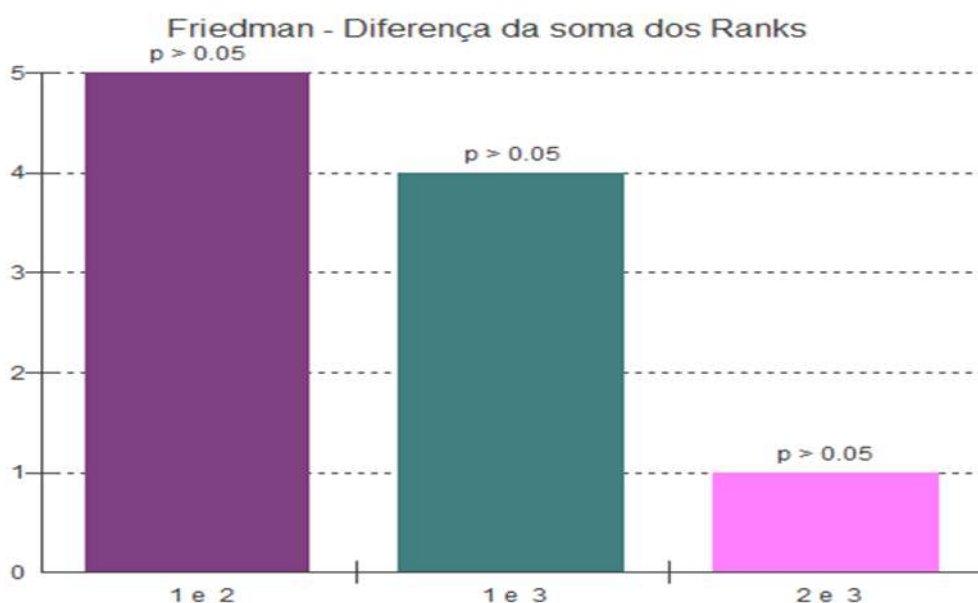
Watanabe e Tokuda (2010) analisando os simbioss de *N. corniger* detectaram atividades celulolítica, hemicelulolítica, amilolítica e proteolítica no intestino de operários. Verificaram ainda que, as enzimas

digestivas sintetizadas pelos cupins eram incapazes de degradar a lignocelulose proveniente da madeira e que as enzimas produzidas pelos simbiontes eram as responsáveis por decompor esse composto, que é o alimento dos cupins. Wong e Check (2001) observaram também que, os cupins se associam a fungos como colonizadores e degradadores da madeira, em função de que os fungos decompõem previamente o material lignocelulósico e, ao mesmo tempo, degradam substâncias tóxicas aos cupins.

### RIQUEZA, ABUNDÂNCIA E DIVERSIDADE FÚNGICA DOS NINHOS DE *N. CORNIGER*

A maior estimativa de riqueza de fungos foi encontrada no ninho 3 com 26 isolados. O teste de (ANOVA) de Friedman para avaliação de variância em relação a riqueza, abundância e diversidade entre os ninhos, não mostrou grande diferença conforme a Figura 1. No entanto, o índice de Shannon-Wiener ( $H'$ ), utilizado para determinar onde ocorre maior diversidade de fungos, demonstrou maior diversidade fúngica (0,6833) no ninho 1, coletado no bairro Lírio do Vale.

**Figura 1** – V variação de riqueza, abundancia e diversidade entre os ninhos



### CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA DOS GÊNEROS ISOLADOS

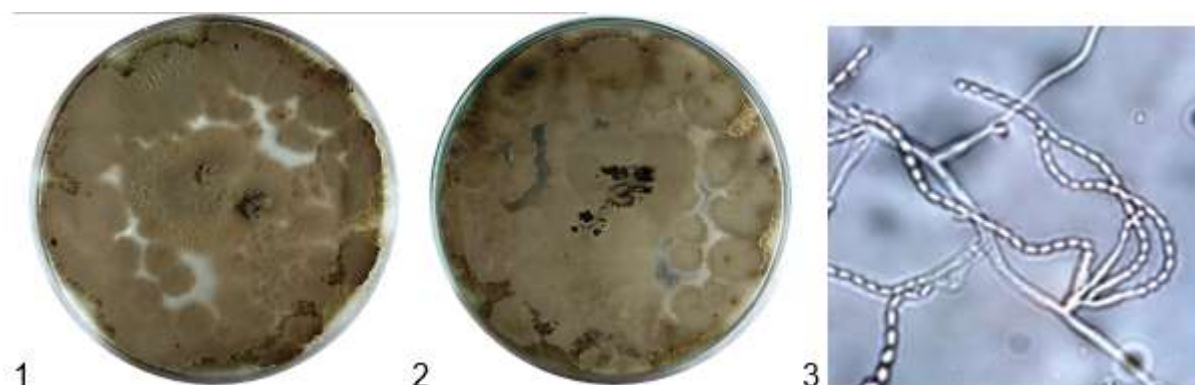
O gênero *Penicillium* apresentou colônias múltiplas, de aspecto superficial pulverulento, de cor verde-escuro e reverso verde-claro. Conidiogênese abundante, produzindo conídios de cor verde. Hifas

hialinas e septadas. Conidióforos ramificados, com células conidiogênicas alongadas. Conídios escuros, de formato globoso (redondo), formados em cadeia. (Figura 1)



**Figura 1.** Aspecto superficial (1), reverso (2) e microscópico (3) dos isolados de *Penicillium* sp.

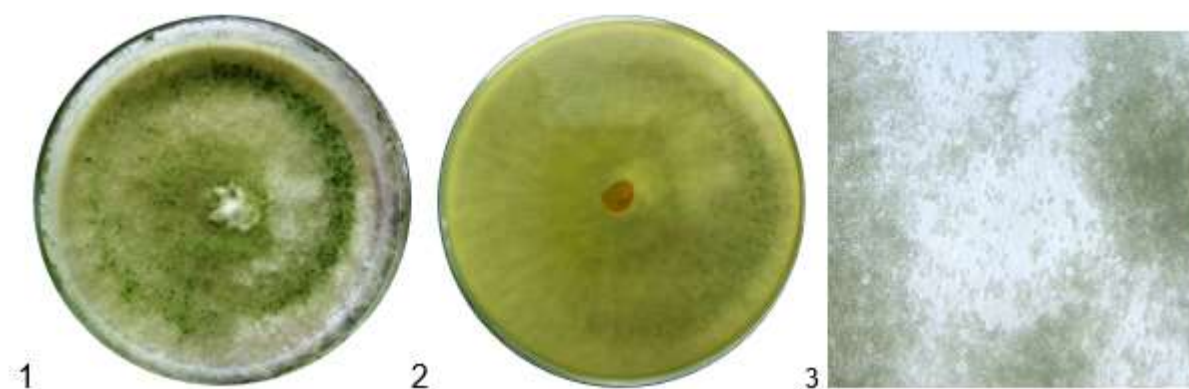
O gênero *Paecilomyces* apresentou colônias múltiplas, de aspecto superficial pulverulento e coloração verde-acinzentada. Conidiogênese abundante. Hifas hialinas, septadas e ramificadas. Conidióforos hialinos, bem desenvolvidos e ramificados. Conídios hialinos de célula única, com formato elipsoidal a cilíndrico e formados em longas cadeias. (Figura2)



**Figura 2.** Aspecto superficial (1), reverso (2) e microscópico (3) dos isolados de *Paecilomyces* sp.

Os demais gêneros isolados *Trichoderma*, *Mortierella*, *Verticillium* e *Helicocephalum* apresentaram a descrição a seguir:

*Trichoderma* possui colônia única, de crescimento difuso, aspecto superficial arenoso ou pulverulento. Cor esbranquiçada, sendo o reverso de cor amarela. Conidiogênese abundante, produzindo conídios fortemente pigmentados de verde-brilhante. (Figura 3)



**Figura 3.** Aspecto superficial (1), reverso (2) e microscópico (3) dos isolados de *Trichoderma* sp.

*Mortierella* apresentou colônia única, de crescimento zonado e aspecto superficial felpudo. Cor branco acinzentado e reverso sem pigmentos. Conidióforo ereto seguido de uma inchação bulbosa, produzindo conídios globulosos. (Figura 4)



**Figura 4.** Aspecto superficial (1), reverso (2) e microscópico (3) dos isolados de *Mortierella* sp.

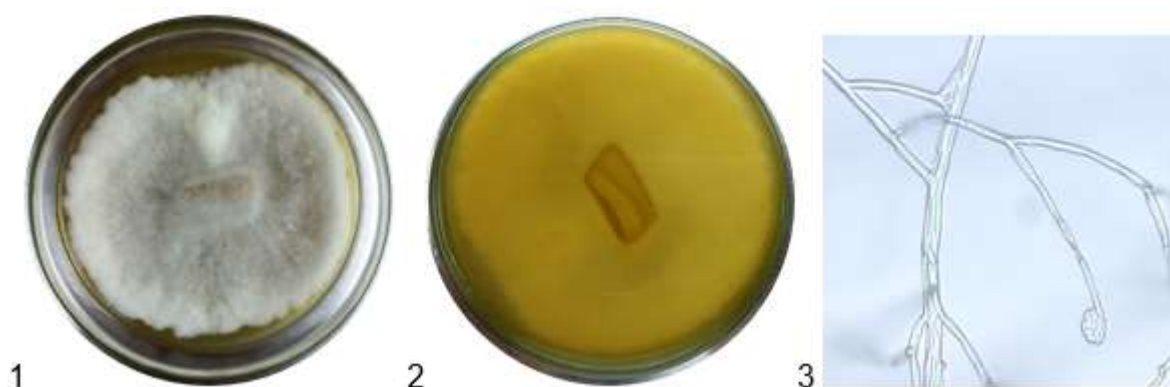
*Verticillium* obteve colônia única, com bordas irregulares e diâmetro pouco menor que a placa. Micélio branco, de aspecto algodinoso, com coloração escura em sua região central. Reverso com coloração central negra. Observa-se a presença de exsudados de aspecto límpido e incolor. Hifas hialinas, septadas e multinucleadas. Conidióforos longos e ramificados, produzindo em suas extremidades um único conídio hialino, de formato elipsoidal ou ovoide. (Figura 5).





**Figura 5.** Aspecto superficial (1), reverso (2) e microscópico (3) dos isolados de *Verticillium* sp.

*Helicocephalum* mostrou colônia única, de cor clara, bordas levemente irregulares e aspecto algodinoso. Reverso de cor fortemente amarelada. Hifas hialinas e cenocíticas. Conidióforo estreito e alongado, produzindo conídios hialinos aglomerados em espiral. (Figura 6)



**Figura 5.** Aspecto superficial (1), reverso (2) e microscópico (3) dos isolados de *Helicocephalum* sp

## CONCLUSÃO

Os resultados apresentados permitem concluir que os gêneros fúngicos encontrados nos ninhos são habitantes comuns do solo, que possuem enzimas que tem a capacidade de hidrolisar a lignina, celulose e outros polímeros da madeira, transformando-os em açúcares fermentáveis, o que explica o cultivo desses fungos em ninhos de *Nasutitermes Corniger*. A expansão e investigação da prospecção de fungos como potencial biotecnológico é de interesse econômico, pois, as enzimas produzidas pelos fungos de origem microbiana possuem muitas vantagens sobre as equivalentes de origem animal ou vegetal que necessitam de elevados custos de produção. Assim, os estudos sobre fungos associados aos ninhos, resultam numa maior compreensão no que diz respeito a digestão da celulose e possibilita conhecimento sobre um estudo pouco abordado no Brasil, no que diz respeito a associação entre



cupins e fungos presentes em seus ninhos, bem como outros possíveis potenciais que esses fungos degradadores possam apresentar a utilização na biotecnologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aanen, D.K.; Henrik, H.; Debets, A.J.; Kerstes, N.A.; Hoekstra, R.F.; Boomsma, J.J. 2009. High symbiont relatedness stabilizes mutualistic cooperation in fungusgrowing termites. *Science*, 326:1103–1106. <https://doi.org/10.1126/science.1173462>.
- Abreu, R.L.S.; Ribeiro, M.L.O. 2024. Entomofauna de cupins em um fragmento de floresta secundária na cidade de Manaus, Amazonas, com ênfase em hábitos xilófagos. p. 63-76. In: Bianchessi, C. (Org.). *Ensaio nas Ciências Ambientais e Agrárias: Pesquisa e Desafios e Perspectivas*, vol. 4. Editora Bagai, Curitiba-PR. 109p.
- Abreu, R.L.S.; Queiroz, L.O.; Vianez, B.F.; Gouveia, F.B.P.; Sales-Campos, C. 2020. Cupins associados a árvores urbanas de 10 bairros da cidade de Manaus, Amazonas. *Brazilian Journal of Development*, 6: 88793-88809.
- Abreu, R.L.S.; Batista, D.S. 2014. Fauna de cupins associadas a espécies arbóreas do campus do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas. p. 293-308. In: *Estudos sistemáticos, concepções e atualizações em Ciências Agrárias*. Martins, W.S.; Muraishi, C.T.; Ataide, K.S. (Eds.). Editora Conhecimento Livre, Piracanjuba, GO.
- Ahmad, F.; Yang, G.Y.; Liang, S.Y.; Zhou, Q.H.; Gaal, H.; Mo, J. 2021. Multipartite symbioses in fungus-growing termites (Blattodea: Termitidae, Macrotermitinae) for the degradation of lignocellulose. *Insect Science*, 28:512–1529. <https://doi.org/10.1111/1744-7917.12890>.
- Ahmad, F.; Yang, G.; Zhu, Y.; Poulsen, M.; Li, W.; Yu, T.; Moa, J. 2022. Tripartite Symbiotic Digestion of Lignocellulose in the Digestive System of a Fungus-Growing Termite. *Microbiology Spectrum*, 10: 1-18.
- Alves, S.B. 1998. *Controle microbiano de insetos*. 2. ed. São Paulo, FEALQ, 407p.
- Barbosa-Silva, A.M.; Farias, M.A.A.; Mello, A.P.; Souza, A.E.F.; Garcia, H.H.M.; Bezerra-Gusmão, M.A. 2016. Lignocellulosic fungi in nests and food content of *Constrictotermes cyphergaster* and *Inquilinitermes fur* (Isoptera, Termitidae) from the semiarid region of Brazil. *Fungal Ecology*, 20: 75-78.
- Barnett, H.L.; Hunter, B.B. 1998. *Illustrated Genera of Imperfect Fungi*. 4ª ed. Physical Description. APS Press. St. Paul, Minn., 218 p.
- Bastien, G.; Arnal, G.; Bozonnet, S.; Laguerre, S.; Ferreira, F.; Fauré, R.; Henrissat, B.; Lefèvre, F.; Robe, P.; Bouchez, O.; Noirot, C.; Dumon, C.; O'Donohue, M. 2013. Mining for hemicellulases in the fungus-growing termite *Pseudacanthotermes militaris* using functional metagenomics. *Biotechnology Biofuels*, 6:78. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-78>.
- Bourguignon, T.; Lo, N.; Dietrich, C.; Šobotník, J.; Sidek, S.; Roisin, Y.; Brune, A.; Evans, T.A. 2018. Rampant host switching shaped the termite gut microbiome. *Current Biology*, 28:649–654.e2. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.01.035>.
- Brune, A. 2014. Symbiotic digestion of lignocellulose in termite guts. *Nature Reviews Microbiology*, 12:168–180. <https://doi.org/10.1038/nrmicro3182>.
- Brune, A.; Dietrich, D.C. 2015. The gut microbiota of termites: digesting the diversity in the light of ecology and evolution. *Review in Advance* first posted online on July 16, 145-166.

- Callegari-Jacques, S.M. 2003. *Bioestatística: Princípios e Aplicações*. Editora Artemed. 255p.
- Castellani, A. 1967. Maintenance and cultivation of common pathogenic fungi in man in sterile distilled water: further researches. *Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 70: p. 181-184.
- Cavalcanti, M.A.; Maia, L.C. 1994. Cellulolytic fungi isolated from alluvial soil in semi-arid area of the northeast of Brazil. *Revista de Microbiologia*, 25, 251e254.
- Correia, M.E.F; Aguiar Menezes, E.L.; Aquino, A.M. 2008. Associação entre térmitas e microrganismos. Embrapa Agrobiologia. *Documentos Embrapa/Agrobiologia*. ISSN 1517-8498. 254. 20pp.
- Domsch, K.H.; Gams, W.; Anderson, T.H. 1993. *Compendium of soil fungi*. San Francisco, Academic Press. 406 p.
- Douglas, A. E. 2009. The microbial dimension in insect nutritional ecology. *Functional Ecology*, Oxford, 23: 38–47.
- Fang, H.; Chen, W.; Wang, B.; Li, X.; Liu, S.; Yang, H. 2016. Cultivation and characterization of symbiotic bacteria from the gut of *Reticulitermes chinensis*. *Applied Environmental Biotechnology*, 1: 3–12.
- Gams, W. 2017. An annotated checklist of epithets published in *Verticillium* and *Acrostalagmus*, some similar genera, and teleomorphs associated with verticillium-like anamorphs. *Nova Hedwigia*, 104:381–450.
- Gazal, V.; Bailez, O.; Viana-Bailez, A.M. 2019. Termite (Isoptera) survey in urban area in Northern of Rio de Janeiro State, Brazil. *Revista Colombiana de Entomología*, 45: e7813 <https://doi.org/10.25100/socolen.v45i1.7813>.
- Hyodo, F.; Azuma, J.; Abe, T. 1999. A new pattern of lignin degradation in the fungus comb of *Macrotermes carbonarius* (Isoptera, Termitidae Macrotermitinae). *Sociobiology*, 34: 591-596.
- Hyodo, F.; Inoue, T.; Azuma, J.I.; Tayasu, I.; Abe, T. 2000. Role of the mutualistic fungus in lignin degradation in the fungus-growing termite *Macrotermes gilvus* (Isoptera; Macrotermitinae). *Soil Biology and Biochemistry*, 32:653–658. [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(99\)00192-3](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(99)00192-3).
- Krebs, C.J. 1998. *Ecological Methodology*. 2nd Edition, Addison Wesley Longman, Menlo Park. 620p.
- Mello A.P.; Corrêa, E.B.; Barbosa-Silva. A.M.; Bezerra-Gusmão, M.A. 2016. Fungi associated with nests of *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) (Isoptera: Nasutitermitinae) in a semiarid region of Brazil. *Entomotropica*, 31: 302-310.
- Magurran, A.E. 1988. *Ecological Diversity and Its Measurement*. Springer-Science+Business Media. 179p.
- Mathew, G.M.; Mathew, D.C.; Lo, S.C.; Alexios, G.M.; Yang, J.C.; Sashikumar, J.M.; Shaikh, T.M.; Huang, C.C. 2013. Synergistic collaboration of gut symbionts in *Odontotermes formosanus* for lignocellulosic degradation and bio-hydrogen production. *Bioresource Technology*, 145: 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.12.05>.

Moreira, F.M.S.; Siqueira, J.O. 2006. *Microbiologia e bioquímica do solo II*. 2da ed. Editora UFLA, Lavras, 729p.

Ohkuma, M. 2003. Termite symbiotic systems: efficient bio-recycling of lignocellulose. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 61:1–9. DOI 10.1007/s00253-002-1189-z.

Peterson, B.F.; Stewart, H.L.; Scharf, M.E. 2015. Quantification of symbiotic contributions to lower termite lignocellulosic digestion using antimicrobial treatments. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 59: 80-88.

Poulsen, M.; Hu, H.; Li, C.; Chen, Z.; Xu, L.; Otani, S.; Nygaard, S.; Nobre, T.; Klaubauf, S.; Schindler, P.M.; Hauser, F.; Pan, H.; Yang, Z.; Sonnenberg, A.S.M.; Beer, Z.W.; Zhang, Y.; Wingfield, M.J.; Grimmelikhuijzen, C.J.P.; Vries, R.P.; Korb, J.; Aanen, D.K.; Wang, J.; Boomsma, J.J.; Zhang, G. 2014. Complementary symbiont contributions to plant decomposition in a fungus-farming termite. *Proc Natl Acad Sci U S A* 111:14500–14505. <https://doi.org/10.1073/pnas.1319718111>.

Rouland-Lefevre, C. 2000. Symbiosis with fungi. In: Abe T.; Bignell D.E.; Higashi M. (Eds.). *Termites: Evolution, Sociality, Symbioses, Ecology*. França, Kluwer Academic Publishers. pp. 289-305.

Sands, W.A., 1969. The association of termites and fungi. pp. 495-519. In: Krishna, K.; Weesner, F.M. (Eds.). *Biology of Termites*. Academic Press, New York.

Scharf, M.E.; Karl, Z.J.; Sethi, A.; Boucias, D.G. 2011. Multiple levels of synergistic collaboration in termite lignocellulose digestion. *Plos One*: 6: 7p. doi: 10.1371/journal.pone.0021709.

Rojas, M.G.; Morales-Ramos, J.A.; Klich, M.A.; Right, M.W. 2001. Three fungal species isolated from *Coptotermes formosanus* (Isoptera: Rhinotermitidae) bodies, carton material, and infested wood. *Florida Entomologist*, 84: 156-158.

Singh, K.; Frisvad, J.C.; Thrane, U.; Mathur, S.B. 1991. *An illustrated manual on identification of some seed-borne Aspergilli, Fusaria, Penicillia and their mycotoxins*. Danish Government Institute of Seed Pathology for Developing Countries, Copenhagen, 132p.

Tho, Y.P. 1978. The common mound-building termite. *Nature Malaysiana*, 3: 16-23.

Thorne, B.L. 1980. Differences in nest architecture between the eotropical arboreal termites *Nasutitermes corniger* and *Nasutitermes ephratae* (Isoptera: Termitidae). *Psyche: A Journal of Entomology*, 87: 235-243. DOI: 10.1155/1980/12305.

Thorne, B.L. 1982. Polygyny in termites: multiple primary queens in colonies of *Nasutitermes corniger* (Motschulsky) (Isoptera: Termitidae). *Insectes Sociaux*, 29: 102-117. <https://doi.org/10.1007/BF02224531>

Vasconcellos, A.; Bandeira, A. G. 2006. Populational and reproductive status of a polycalic colony of *Nasutitermes corniger* (Isoptera, Termitidae) in the urban area of João Pessoa, NE Brazil. *Sociobiology*, 47: 165-174.

Ward Jr., J.H. 1963. Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function. *Journal of the American Statistical Association*, 58, 236-244.

Watanabe, H., Tokuda, G. 2010. Cellulolytic Systems in Insects. *Annual Review Entomology*, 55: 609–632.

Wong, A.H.H.; Check, K.S. 2001. Observations of termite-fungus interactions of potential significance to wood biodeterioration and Protection. Timber Technology Centre (TTC). 24: 11p.

Zar, J.H. 2009. Biostatistical analysis. 5ª edição. Prentice Hall, New Jersey. 896p.

<https://doi.org/10.1080/01621459.1963.10500845>



## Capítulo 4



10.37423/250710206

# CARACTERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO DA QUALIDADE DO SOLO NA NASCENTE DO CÓRREGO DO BARREIRO: COMPARAÇÃO DO ANTES E DEPOIS DA CERCAMENTO E RECUPERAÇÃO AMBIENTAL

*Saulo Gonçalves Pereira*

*Faculdade Patos de Minas*

*Adilson Tadeu Basquerote*

*Centro universitário para o Desenvolvimento do Alto Vale do Itajaí (Unidavi)*

*Mauro Gomes de Lima Junior*

*Faculdade Patos de Minas*

*Willyder Leandro Rocha Peres*

*Faculdade Patos de Minas*

*Eni Aparecida do Amaral*

*Prefeitura Municipal de Patos de Minas*





**Resumo:** Esta pesquisa aborda a importância do solo, da revegetação, cercamento e manutenção das nascentes de água e sua indispensabilidade na produção de alimentos e outras atividades econômicas. O solo em uma nascente desempenha um papel significativo na sustentação dos ecossistemas aquáticos e terrestres, contribuindo diretamente para a qualidade da água e a saúde dos seres vivos. A integridade do solo na nascente é importante para evitar a contaminação da água e preservar a saúde dos ecossistemas circundantes. A qualidade do solo tem impacto direto na retenção e filtragem de nutrientes, sedimentos e poluentes que podem afetar a água que emerge da nascente. Assim, o solo saudável é essencial para prevenir doenças e garantir a qualidade de vida das comunidades que dependem desses recursos hídricos. A compreensão e o manejo adequado do solo em uma nascente são elementos fundamentais para promover a qualidade da água e a sustentabilidade dos ecossistemas associados. O objetivo deste estudo foi realizar a caracterização do solo na nascente do córrego Barreiro localizado na fazenda São Francisco de Alagoas na, microbacia do ribeirão da Cota, bacia do rio Paranaíba, por meio dos seguintes parâmetros Alumínio; Cálcio; Carbono Orgânico; Cobre Total; Enxofre; Ferro; Fósforo; H+Al; Magnésio; Manganês; Matéria Orgânica; pH em Água; pH em CaCl<sub>2</sub>; Potássio; Saturação de Alumínio (M%); Saturação de Base (V%); Sódio; Zinco total; CTC a pH 7,0; Soma de Bases e detalhar da qualidade do solo na nascente ao longo de 22 meses através de duas coletas uma antes do cercamento da área e outra após o cercamento da nascente fornecendo, deste modo, informações sobre a evolução da qualidade do solo e conseqüentemente da água. A comparação entre 2023 e 2025 mostrou melhorias nos parâmetros químicos do solo da nascente do córrego Barreiro, especialmente com o aumento do pH e enriquecimento gradual do solo devido ao cercamento da área de preservação. Destaca-se a recuperação ecológica e a importância da vegetação na proteção e nutrição do solo. Apesar dos avanços, a queda no teor de cálcio e a variabilidade de outros elementos indicam a necessidade de monitoramento contínuo e ações sustentáveis integradas. Esta pesquisa foi coordenada pela Faculdade Patos de Minas (FPM); ProNascentes; Prefeitura Municipal de Patos de Minas, apoio e participação da Escola Estadual José Eustáquio Silva (distrito de Alagoas) Sr. Laércio José de Sousa, sob patrocínio da empresa Limpebras.

**Palavras-chave:** Nascente, Patos de Minas, Qualidade do Solo; Podologia

## 1. INTRODUÇÃO

A conservação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) desempenha um papel de relevância na preservação da integridade ecológica das nascentes, bem como na salvaguarda da qualidade das águas emanadas por essas fontes hídricas. As nascentes são componentes dos sistemas hídricos, representando os pontos de partida das águas superficiais e subterrâneas que abastecem rios, riachos e aquíferos. Nesse contexto, a preservação dessas áreas configura-se como um elemento significativo para a sustentabilidade dos ecossistemas tanto aquáticos como terrestres (De Ávila, 2019).

A relevância das APPs mantém uma relação intrínseca, sobretudo, com a conservação dos processos hidrológicos que subsistem nas nascentes. Tais áreas abrigam vegetação que desempenha um papel análogo a um "filtro natural", regulando a infiltração e a recarga dos aquíferos subterrâneos. Isso culmina na manutenção de uma vazão constante das nascentes, contribuindo para a estabilidade dos fluxos hídricos e prevenindo a manifestação de secas extremas e inundações de grande magnitude (De Oliveira *et al.*, 2022).

Ademais, a preservação das APPs repercute diretamente na qualidade da água das nascentes. A vegetação que subsiste nesses espaços desempenha um papel crítico na mitigação da erosão do solo e na filtragem dos contaminantes existentes nas precipitações pluviais. Em decorrência disso, são obtidas águas mais límpidas, o que acarreta impactos diretos na preservação da saúde dos ecossistemas aquáticos e na qualidade de vida das comunidades que dependem desses recursos hídricos (Amaral; Pereira; Borges, 2013).

A preservação do solo desempenha um papel relevante na manutenção da qualidade e da saúde das nascentes. O solo é um componente fundamental no ciclo hidrológico, atuando como um reservatório natural de água e contribuindo para a regulação do fluxo de água em direção às nascentes. A cobertura vegetal presente no solo desempenha um papel importante na proteção contra a erosão, evitando o carreamento de sedimentos e poluentes para os cursos d'água. Além disso, a infiltração da água no solo promove a recarga dos aquíferos subterrâneos, que por sua vez são fontes essenciais para a alimentação das nascentes. Portanto, a conservação do solo é um fator determinante para a manutenção da disponibilidade e da qualidade das águas nas nascentes, contribuindo diretamente para a preservação dos ecossistemas aquáticos e terrestres que delas dependem (Da Silva *et al.*, 2020).

A bacia hidrográfica do rio Paranaíba, abrangendo os paralelos 15° e 20° sul e os meridianos 45° e 53° oeste, é a segunda maior unidade da Região Hidrográfica do Paraná, representando 25,4% de sua área.

Sua nascente localiza-se na Serra da Mata da Corda, em Rio Paranaíba, MG, a aproximadamente 1.100 m de altitude, o rio percorre cerca de 100 km até chegar a Patos de Minas/MG. Ao longo de 150 km, marca a divisa entre Goiás e Minas Gerais até Paranaíba/MS, onde delimita os estados de Minas Gerais e Mato Grosso do Sul até a confluência com o rio Grande, formando o rio Paraná (Braga; Rezende, 2007; Silva, 2006; Langeani *et al.*, 2007; Brasil, 2018; Frois, Pereira, 2020; Gonçalves *et al.*, 2020). De acordo com Rassi *et al.* (2017, p. 13),

O município de Patos de Minas se localiza no extremo leste da unidade Cráton do São Francisco, no limite com a unidade Faixa Brasília. A geologia da região estudada é representada pelo Grupo Bambuí, fazendo-se presente com a Formação Serra da Saudade. Esta Formação ainda é acompanhada de Coberturas Detríticas Cenozoicas Indiferenciadas e pelo Grupo Mata da Corda Indiviso (Mesozoico), o qual é constituído de rochas vulcânicas alcalinas [...] No âmbito pedológico, os solos predominantes na região de Patos de Minas são classificados como Latossolos. Além desses, há a presença de Cambissolos, Argissolos e Neossolos, assim como afloramentos rochosos expostos. Os Latossolos se caracterizam por estágio avançado de intemperização.

**Figura 1 - Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos do Alto Paranaíba - PN1.**



Fonte: IGAM (2018).

O município de Patos de Minas localiza-se na região do Alto Paranaíba, contando com uma área de 3.336 Km<sup>2</sup>, com uma população de cerca de 160.000 habitantes, de acordo com o último anuário estatístico do IBGE 2018 (IBGE, 2020). No âmbito mais abrangente, é imperativo enfatizar que a

preservação das Áreas de Preservação Permanente e a preservação do solo para melhoria da qualidade das águas das nascentes estão intrinsecamente vinculadas à capacidade de resistência dos ecossistemas perante as transformações climáticas e a pressão imposta pela atividade humana.

A adoção de medidas de conservação do solo que propiciem a restauração e salvaguarda das APPs desempenha um papel fundamental na viabilização da sustentabilidade dos recursos hídricos, na manutenção da estabilidade dos sistemas ecológicos e no bem-estar das populações. Diante desse contexto, é fundamental reconhecer a relevância importante das APPs para a vitalidade das nascentes e para a qualidade das águas, fator que deve guiar as políticas e práticas de manejo sustentável, a fim de assegurar a preservação desses recursos naturais essenciais (Ribeiro *et al.*, 2021).

O objetivo deste artigo foi realizar uma análise dos parâmetros de qualidade de solo em uma nascente, incluindo a avaliação de: Alumínio, Cálcio, Carbono Orgânico, Cobre Total, CTC a pH 7,0, Enxofre, Ferro, Fósforo, H<sup>+</sup>, Al, Magnésio, Manganês, Matéria Orgânica, pH em Água, pH em CaCl<sub>2</sub>, Potássio, Saturação de Alumínio (M%), Saturação de Base (V%), Sódio, Soma de Bases e Zinco total antes e depois do seu cercamento pelo projeto Pro-naescnetes. O estudo bucou, através das naálises e observações, a compreensão detalhada da qualidade do solo na nascente, bem como comparar ao longo de 22 meses se o cercamento da APP alterou a qualidade do solo.

## 2. MATERIA|IS E MÉTODOS

Esta pesquisa adotou uma abordagem qualitativa, exploratória e descritiva, conforme delineado por Augusto *et al.* (2013), com o intuito de analisar e discutir os resultados obtidos, e propor soluções para os fenômenos estudados. Inicialmente, foi realizada uma revisão bibliográfica abrangente sobre a preservação de nascentes e a qualidade da água, enfatizando suas implicações para a saúde humana e animal.

A primeira coleta de amostras ocorreu no dia 22 de maio de 2023, em dois locais distintos na fazenda São Francisco de Alagoas: um a montante da nascente do córrego Barreiro (coordenadas 18°39'50.20"S; 46°39'19.24"O) e outro a jusante, ao longo do curso do córrego (coordenadas 18°40'2.30"S; 46°39'28.29"O). A segunda coleta foi realizada em 14 de março de 2025, respeitando os mesmos padrões e localizações da coleta anterior.

As amostras obtidas na primeira campanha foram coletadas pelo pesquisador e encaminhadas a um laboratório comercial situado em Patos de Minas, onde foram manipuladas por profissionais qualificados, em conformidade com os critérios de coleta estabelecidos e validados. A análise da

segunda campanha ocorreu no laboratório de solos e água da FPM, seguindo os mesmos critérios aplicados na primeira coleta e análise. Ressalta-se que as metodologias analíticas e os métodos de detecção utilizados respeitaram as diretrizes da Embrapa/Mehlich.

Os resultados obtidos foram organizados em tabelas e interpretados à luz da literatura científica disponível. Os parâmetros avaliados incluíram: alumínio, cálcio, carbono orgânico, cobre total, capacidade de troca catiônica (CTC) a pH 7,0, enxofre, ferro, fósforo, H<sup>+</sup>, Al, magnésio, manganês, matéria orgânica, pH em água, pH em CaCl<sub>2</sub>, potássio, saturação de alumínio (M%), saturação de base (V%), sódio, soma de bases e zinco total.

### 3. RESULTADOS PRELIMINÁRES E DISCUSSÃO

#### 5.2 DESCRIÇÃO DOS PONTOS DE COLETA E RESULTADOS

As Figuras 2, 3 3 4 detalham o ponto de coleta, apresentando de forma clara e ilustrativa a sua localização exata, a estrutura física do local, bem como os principais elementos que o compõem. Através dessas imagens, é possível compreender melhor a disposição dos espaços, os acessos disponíveis, as sinalizações utilizadas e outros aspectos relevantes que contribuem para a organização e eficiência do processo de coleta."

**Figura 2** - Localização dos pontos de coleta.



**Fonte:** (IGAM, 2018) adaptado.

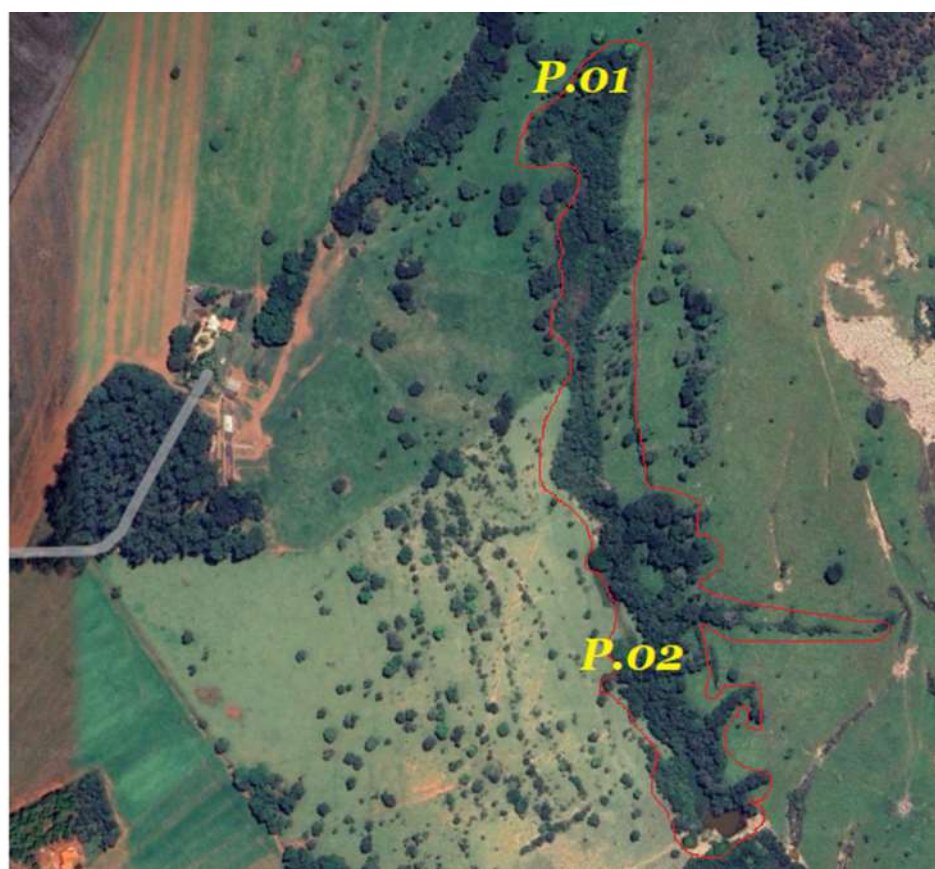


**Figura 3** - Imagem de setélite da Região do Empreendimento



**Fonte:** (Google Earth, 2025) adaptado.

**Figura 4** - Imagem de setélite da Região do Empreendimento – Delimitação da APP da Nascente



**Fonte:** (Google Earth, 2025) adaptado.

O ponto de coleta 01 está situado a montante na nascente do córrego Barreiro, que faz parte da microbacia do Ribeirão da Cota, um afluente do rio Paranaíba (Sub-bacia do rio Paraná). Neste local, a mata ciliar está presente, acompanhando um curso d'água de águas límpidas e corrente. No entanto, observam-se evidentes alterações na nascente, caracterizadas por sinais de assoreamento e indícios de pisoteio por animais nas áreas circundantes. Estas modificações são indicativas de perturbações de origem antropogênica e biológica, com potencial impacto na integridade do ambiente da nascente.

O ponto de coleta 2, a jusante, representa uma área em que o córrego está em fase de formação. Neste estágio inicial, antes de se constituir como um córrego propriamente dito, a região apresenta uma fase intermediária com a presença de um brejo em terreno hidromorfo. Nessa fase inicial, é notável o acúmulo de água, e as condições do solo e topografia favorecem o desenvolvimento de áreas alagadiças temporárias ou permanentes, conhecidas como brejos ou pântanos.

Este ambiente hidromorfo desempenha um papel na regulação hídrica, atuando como um reservatório natural e regulador de água, contribuindo para a retenção e filtragem de sedimentos e nutrientes. Outrossim, os brejos oferecem habitats únicos e significativos para diversas espécies da fauna e flora, adaptadas a essas condições específicas.

Dentro do contexto do ponto 2, a jusante, a presença deste terreno hidromorfo antes da formação do córrego indica um estágio inicial de sucessão ecológica, que eventualmente levará à constituição do corpo d'água propriamente dito.



**Figura 5:** coleta no ponto 01 – montante (22/05/2023).



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

**Figura 6:** coleta no ponto 02 – jusante (22/05/2023).



**Fonte:** Dados da pesquisa (2023).

**Figura 7:** coleta no ponto 01 – montante (14/03/2025).



**Fonte:** Dados da pesquisa (2025).

**Figura 7:** coleta no ponto 01 – montante (14/03/2025).



**Fonte:** Dados da pesquisa (2025).

Os Quadros 1 e 2 apresentam de forma detalhada os resultados obtidos a partir das coletas e das análises realizadas durante as diferentes campanhas. Nessas tabelas, estão dispostos os principais parâmetros avaliados, os respectivos valores encontrados e, quando aplicável, as comparações com os limites estabelecidos pelas normas vigentes. Esses resultados permitem uma análise mais aprofundada do comportamento das variáveis monitoradas ao longo do tempo, fornecendo subsídios importantes para a avaliação da eficiência das ações adotadas e para a tomada de decisões futuras relacionadas ao monitoramento ambiental.

**Quadro 1 - Dados da 1ª amostragem.**

| Dados da 1ª amostragem                                          |                                                              |
|-----------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de Amostra:</b> Solo                                    | <b>Local da Amostragem:</b> Montante                         |
| <b>Data Coleta:</b> 22/05/2023                                  | <b>Data Entrada Laboratório:</b> 22/05/2023                  |
| <b>Responsabilidade da Coleta:</b> Coleta Efetuada pelo Cliente | <b>Condições climáticas das últimas 24 horas:</b> Ensolarado |
| <b>Coletor Responsável:</b> Cliente                             | <b>Tipo de Amostragem:</b> Simples                           |

| Descrição                  | Método                | Resultado Montante | Resultado Jusante | I M E | Unidade   | Data Análise |
|----------------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|-------|-----------|--------------|
| Alumínio                   | Embrapa - KCL         | 0,9                | 0,3               | NA    | cmolc/dm³ | 30/05/2023   |
| Cobre Total                | Mehlich               | 4,22               | 2,52              | NA    | mg/dm³    | 31/05/2023   |
| Ferro                      | Mehlich               | 388,5              | 449,5             | NA    | mg/dm³    | 30/05/2023   |
| Manganês                   | Mehlich               | 149,4              | 29,0              | NA    | mg/dm³    | 30/05/2023   |
| pH em Água                 | Procedimento Interno  | 5,06               | 5,50              | NA    | -         | 31/05/2023   |
| Sódio                      | Embrapa - Mehlich     | 7,71               | 13,69             | NA    | mg/dm³    | 30/05/2023   |
| Matéria Orgânica           | Embrapa - Dicromato K | 2,97               | 3,71              | NA    | dag/kg    | 31/05/2023   |
| Zinco total                | Zinco                 | 1,14               | 1,66              | NA    | mg/dm³    | 30/05/2023   |
| Cálcio                     | Embrapa               | 0,24               | 1,11              | NA    | cmolc/dm³ | 30/05/2023   |
| Enxofre                    | Embrapa               | 52,0               | 49,14             | NA    | mg/dm³    | 30/05/2023   |
| H+Al                       | Embrapa               | 6,77               | 8,09              | NA    | cmolc/dm³ | 30/05/2023   |
| CTC a pH 7,0               | Embrapa               | 7,78               | 10,8              | NA    | cmolc/dm³ | 30/05/2023   |
| Saturação de Base (V%)     | Embrapa               | 13,04              | 25,11             | NA    | %         | 30/05/2023   |
| Saturação de Alumínio (M%) | Embrapa               | 47,0               | 9,96              | NA    | %         | 30/05/2023   |
| Potássio                   | Embrapa               | 201,0              | 258,5             | NA    | mg/dm³    | 30/05/2023   |
| pH em CaCl2                | Embrapa               | 4,11               | 4,49              | NA    | -         | 30/05/2023   |
| Magnésio                   | Embrapa               | 0,22               | 0,88              | NA    | cmolc/dm³ | 30/05/2023   |
| Soma de Bases              | Embrapa               | 1,01               | 2,71              | NA    | cmolc/dm³ | 30/05/2023   |
| Fósforo                    | Embrapa               | 0,81               | 2,3               | NA    | mg/dm³    | 30/05/2023   |
| Carbono Orgânico           | Embrapa               | 1,73               | 2,16              | NA    | dag/kg    | 30/05/2023   |

**Fonte:** CELASA (2023).

**Quadro 2 - Dados da 2ª amostragem.**

| Dados da 2ª amostragem                   |                                                              |
|------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|
| <b>Tipo de Amostra:</b> Solo             | <b>Local da Amostragem:</b> Montante                         |
| <b>Data Coleta:</b> 14/03/2025           | <b>Data Entrada Laboratório:</b> 14/03/2025                  |
| <b>Responsabilidade da Coleta:</b> Saulo | <b>Condições climáticas das últimas 24 horas:</b> Ensolarado |
| <b>Coletor Responsável:</b> Saulo        | <b>Tipo de Amostragem:</b> Simples                           |

| Descrição   | Método               | Resultado Montante | Resultado Jusante | I M E | Unidade   | Data Análise |
|-------------|----------------------|--------------------|-------------------|-------|-----------|--------------|
| Alumínio    | Embrapa - KCL        | 0,9                | 0,4               | NA    | cmolc/dm³ | 17/03/2025   |
| Cobre Total | Mehlich              | 4,15               | 2,55              | NA    | mg/dm³    | 17/03/2025   |
| Ferro       | Mehlich              | 378,5              | 4498,5            | NA    | mg/dm³    | 17/03/2025   |
| Manganês    | Mehlich              | 151,4              | 19,0              | NA    | mg/dm³    | 17/03/2025   |
| pH em Água  | Procedimento Interno | 6,9                | 6,50              | NA    | -         | 17/03/2025   |

|                            |                       |       |       |    |                       |            |
|----------------------------|-----------------------|-------|-------|----|-----------------------|------------|
| Sódio                      | Embrapa - Mehlich     | 7,77  | 13,69 | NA | mg/dm <sup>3</sup>    | 17/03/2025 |
| Matéria Orgânica           | Embrapa - Dicromato K | 2,91  | 3,77  | NA | dag/kg                | 17/03/2025 |
| Zinco total                | Zinco                 | 1,11  | 1,63  | NA | mg/dm <sup>3</sup>    | 17/03/2025 |
| Cálcio                     | Embrapa               | 0,14  | 1,18  | NA | cmolc/dm <sup>3</sup> | 17/03/2025 |
| Enxofre                    | Embrapa               | 50,0  | 49,21 | NA | mg/dm <sup>3</sup>    | 17/03/2025 |
| H+Al                       | Embrapa               | 6,70  | 8,13  | NA | cmolc/dm <sup>3</sup> | 17/03/2025 |
| CTC a pH 7,0               | Embrapa               | 7,88  | 10,10 | NA | cmolc/dm <sup>3</sup> | 17/03/2025 |
| Saturação de Base (V%)     | Embrapa               | 12,04 | 25,19 | NA | %                     | 17/03/2025 |
| Saturação de Alumínio (M%) | Embrapa               | 45,0  | 9,56  | NA | %                     | 17/03/2025 |
| Potássio                   | Embrapa               | 199,0 | 258,0 | NA | mg/dm <sup>3</sup>    | 17/03/2025 |
| pH em CaCl <sub>2</sub>    | Embrapa               | 4,12  | 4,09  | NA | -                     | 17/03/2025 |
| Magnésio                   | Embrapa               | 0,22  | 0,77  | NA | cmolc/dm <sup>3</sup> | 17/03/2025 |
| Soma de Bases              | Embrapa               | 1,07  | 2,78  | NA | cmolc/dm <sup>3</sup> | 17/03/2025 |
| Fósforo                    | Embrapa               | 0,88  | 2,9   | NA | mg/dm <sup>3</sup>    | 17/03/2025 |
| Carbono Orgânico           | Embrapa               | 1,77  | 2,1   | NA | dag/kg                | 17/03/2025 |

**Fonte:** FPM (2025).

Ressalta-se que alguns dos parâmetros investigados, como Alumínio, Cálcio, Carbono Orgânico, Cobre Total, CTC a pH 7,0, Enxofre, Ferro, Fósforo, H+Al, Magnésio, Manganês, Matéria Orgânica, pH em Água, pH em CaCl<sub>2</sub>, Potássio, Saturação de Alumínio (M%), Saturação de Base (V%), Sódio e Zinco total, não possuem valores máximos permitidos estabelecidos em regulamentações específicas. A ausência de valores máximos regulamentados para alguns dos parâmetros avaliados pode ser justificada pela variabilidade natural dos solos e das condições ambientais, que podem diferir entre regiões e contextos específicos.

A análise comparativa dos parâmetros químicos do solo antes e após o cercamento da nascente revela alterações importantes na qualidade do solo. Observou-se um aumento significativo do pH de 5,06 para 6,9, indicando uma redução da acidez do solo, o que representa uma melhoria para a disponibilidade de nutrientes e a saúde geral do ecossistema do solo. A matéria orgânica apresentou leve diminuição, passando de 2,97 dag/kg para 2,91 dag/kg, mas ainda mantendo-se em níveis satisfatórios, o que sugere a continuidade do aporte de nutrientes pela vegetação local.

Em relação aos macronutrientes, o cálcio demonstrou uma redução expressiva, possivelmente decorrente de processos naturais como a lixiviação, enquanto o fósforo apresentou uma discreta elevação, embora ainda em níveis baixos, sinalizando uma tendência inicial de recuperação do solo. A saturação de bases (V%) e a saturação de alumínio (M%) mostraram ligeira melhora, refletindo a recuperação gradual da qualidade química do solo.

A capacidade de troca catiônica (CTC) permaneceu praticamente estável, indicando que o solo mantém uma boa capacidade de retenção e troca de nutrientes essenciais para o desenvolvimento

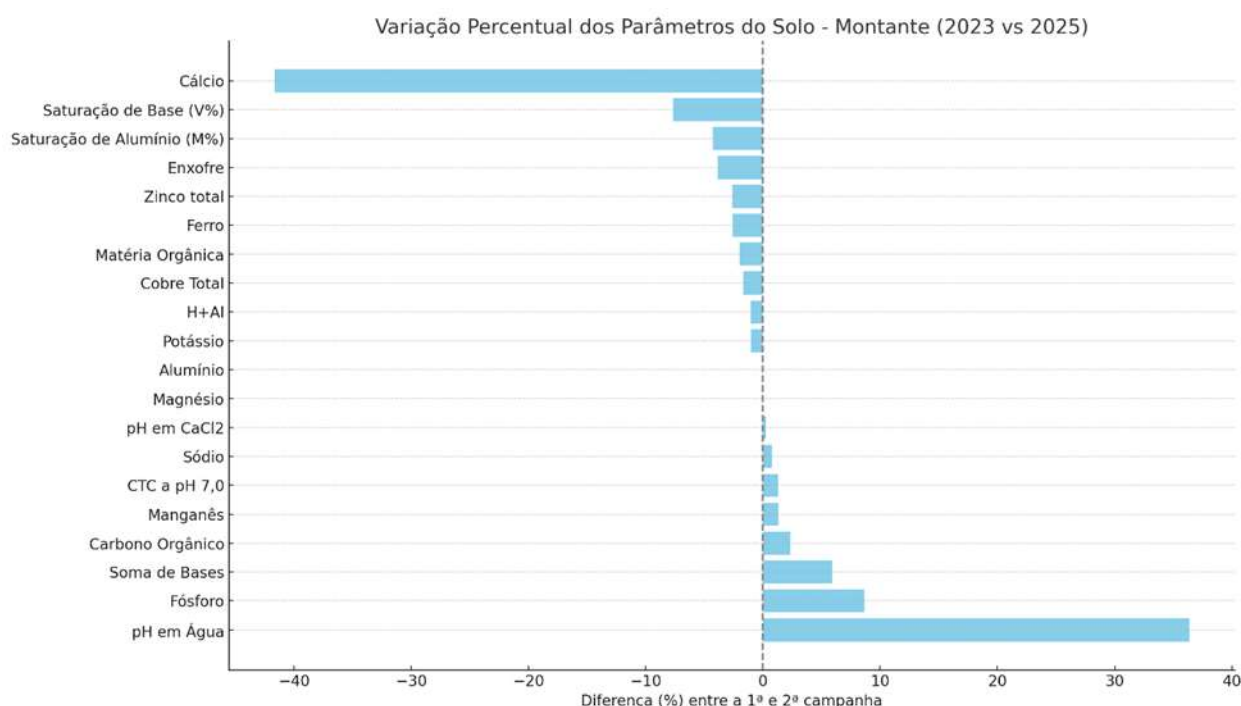


vegetal. Os teores de potássio e de micronutrientes como alumínio, cobre, ferro, manganês, sódio, zinco, enxofre e carbono orgânico apresentaram apenas variações mínimas, compatíveis com a recuperação natural do ambiente após o cercamento (De Sousa Nóbrega *et al.*, 2015).

É notável que a quantidade de matéria orgânica presente no solo da nascente se encontra em níveis mais elevados quando comparada a áreas com menor cobertura vegetal. Tal observação pode ser atribuída à influência da vegetação circundante, que contribui para a aporte de material orgânico e sua subsequente decomposição. A acidez do solo, evidenciada pelo pH ácido, pode ser associada à presença de Alumínio em teores significativos (Ranpim, Do Carmo Lana, 2013). A análise de macronutrientes revelou quantidades adequadas, sugerindo que o solo na nascente apresenta condições favoráveis para o desenvolvimento das plantas, contribuindo para a sustentabilidade dos ecossistemas locais (Crusciol *et al.*, 2013).

Como apresentado nos resultados o maior aumento foi no pH da água (+36,36%), indicando solo menos ácido após o cercamento. Ainda o maior decréscimo foi no cálcio (-41,67%), o que merece atenção em estratégias de manejo. O gráfico, a seguir, ilustra esses resultados.

**Figura 8** – Gráfico da variação percentual dos parâmetros analisados do solo, 2023 x 2025.



Dados da pesquisa (2025).

De modo geral, os dados sugerem que o cercamento da nascente contribuiu para a melhoria da condição química do solo, principalmente pela diminuição da acidez e pela estabilidade dos nutrientes,

elementos fundamentais para a regeneração e sustentabilidade da área ambientalmente protegida. Leal *et al.*, (2017) em trabalho semelhante atestou padrões semelhantes.

## 5. CONCLUSÃO

A comparação entre as campanhas de 2023 e 2025 evidenciou melhorias significativas nos parâmetros químicos do solo da nascente do córrego Barreiro, atribuídas ao cercamento da área de preservação permanente (APP). Destaca-se o aumento do pH em água de 5,06 para 6,90, indicando redução da acidez e melhores condições para o desenvolvimento da vegetação nativa. Houve incrementos moderados na soma de bases, fósforo e carbono orgânico, sinalizando um enriquecimento gradual do solo e a importância da cobertura vegetal para a conservação da qualidade do substrato, protegendo contra erosão e facilitando a retenção de nutrientes. Apesar desses avanços, observou-se uma diminuição expressiva no teor de cálcio, elemento essencial para a estruturação do solo e o crescimento vegetal, o que exige atenção nas futuras intervenções de manejo.

A proteção proporcionada pelo cercamento favorece o processo natural de sucessão ecológica, promovendo a restauração da integridade do solo e a recuperação dos ecossistemas associados, o que impacta positivamente a qualidade da água da nascente e a biodiversidade local. Considerando a complexidade dos solos e as oscilações em elementos como ferro, manganês, potássio e sódio, recomenda-se a continuidade do monitoramento e a aplicação de práticas complementares de conservação do solo e da vegetação. Ações integradas, aliadas ao engajamento das comunidades locais e à adoção de práticas sustentáveis, são fundamentais para assegurar a manutenção dos ganhos ambientais, proteger a nascente a longo prazo e garantir a provisão dos serviços ecossistêmicos essenciais para o equilíbrio ambiental regional.

## REFERÊNCIAS

AMARAL, Eni Aparecida do; PEREIRA, Saulo Gonçalves; BORGES, Daniela Cristina Silva. Avaliação de impactos ambientais em uma área de preservação permanente no bairro Céu Azul, em Patos de Minas-MG. *Cerrado e Agrociências*. v. 2178, p. 16-26, nov. 2013. Disponível em: <https://revistas.unipam.edu.br/index.php/cerradoagrociencias/article/view/4160>. Acesso em: 21 abr 2025

BRAGA, V. M.; REZENDE, J. L. P de. Proteção legal das áreas de preservação permanente no entorno de hidrelétricas no Estado de Minas Gerais. 2007. 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2007. Disponível em: [http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/15259/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O\\_Prote%C3%A7%C3%A3o%20legal%20das%20%C3%A1reas%20de%20preserva%C3%A7%C3%A3o%20permanente%20no%20entorno%20de%20hidrel%C3%A9tricas%20no%20Estado%20de%20Minas%20Gerais.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/15259/1/DISSERTA%C3%87%C3%83O_Prote%C3%A7%C3%A3o%20legal%20das%20%C3%A1reas%20de%20preserva%C3%A7%C3%A3o%20permanente%20no%20entorno%20de%20hidrel%C3%A9tricas%20no%20Estado%20de%20Minas%20Gerais.pdf). Acesso em 02 de abril de 2020. Acesso em: 21 abr 2025

BRASIL. ANA, Agência Nacional das Águas: Portal da Qualidade das águas. Enquadramento -Bases Legais, 2018. Disponível em: <http://pnqa.ana.gov.br/enquadramento-bases-legais.aspx>. Acesso em: 21 abr 2025

CRUSCIOL, Carlos Alexandre Costa et al. Desenvolvimento radicular e aéreo, nutrição e eficiência de absorção de macronutrientes e zinco por cultivares de arroz de terras altas afetadas pela adubação fosfatada. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 34, n. 5, p. 2061-2076, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/handle/doc/989969> Acesso em: 21 abr 2025

DA SILVA, Dhne Maria Pereira et al. Governança Das Águas E Indicadores De Pressão-Estado-Impacto-Resposta Na Bacia Hidrográfica Do Rio Tracuateua (Pará-Brasil). *Boletim de Geografia*, v. 38, n. 2, p. 165-184, 2020. Disponível em: <https://periodicos.uem.br/ojs/index.php/BolGeogr/article/view/45761>. Acesso em: 01 fev 2025

DE ÁVILA RODRIGUES, Rafael. Mapeamento E Análise De Impactos Ambientais De Nascentes Do Alto Curso Do Ribeirão Pirapitinga. *Building the way-Revista do Curso de Letras da UEG/Itapuranga*, v. 9, n. 1, 2019. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/buildingtheway/article/view/9142>. Acesso 01 fev 2025

DE OLIVEIRA FORNAZIERO, Danielly et al. Efeitos Da Urbanização E Atividades Agropecuárias Sobre As Enchentes No Córrego Do Gregório Em São Carlos, São Paulo, Brasil. *RECIMA21-Revista Científica Multidisciplinar-ISSN 2675-6218*, v. 3, n. 3, p. e331281-e331281, 2022. Disponível em: <https://recima21.com.br/index.php/recima21/article/view/1281>. Acesso em: 05 fev. 2025

DE SOUSA NÓBREGA, Murielly et al. Indicadores de capacidade de uso da terra para escala de propriedade rural: deficiência de fertilidade do solo. *Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)*, v. 2, n. 2, 2015. DOI: <https://doi.org/10.30612/agrarian.v12i44.8944>

FROIS, Ana Clara França; PEREIRA, Saulo Gonçalves. Qualidade Da Água Do Rio Paranaíba Na Região De Patos De Minas-Mg: organoclorados e metais pesados e a sua relação com saúde pública e coletiva. *Scientia Generalis*, v. 1, n. 3, p. 54-99, 2020. Disponível em: <https://scientiageneralis.com.br/index.php/SG/article/view/v1n3a4>. Acesso em: 1 maio. 2025.

GONÇALVES, Cristiane Júlio; MARTINS DE OLIVEIRA, Anna Carolina; ROSA SILVA DE OLIVEIRA, Josiane; BALIEIRO RIBEIRO, Rayssa. Estudo De Regionalização De Vazões Para A Bacia Hidrográfica Do Rio Paranaíba. Sustentare: Periódico da Universidade Vale do Rio Verde, Três Corações, v. 2, ed. 2, p. 90-101, 8 jul. 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/329994252\\_ESTUDO\\_DE\\_REGIONALIZACAO\\_DE\\_VAZOES\\_PARA\\_A\\_BACIA\\_HIDROGRAFICA\\_DO\\_RIO\\_PARANAIBA](https://www.researchgate.net/publication/329994252_ESTUDO_DE_REGIONALIZACAO_DE_VAZOES_PARA_A_BACIA_HIDROGRAFICA_DO_RIO_PARANAIBA). Acesso em: 8 jul. 2020.

LANGEANI, F., SERRA, J. P., CARVALHO, F. R., CHAVES, H. F., FERREIRA, C. P.; MARTINS, F.O. 2007. Fish, *Hasemania crenuchoides* Zarske & Géry, 1999 (Ostariophysi: Characiformes: Characidae): rediscovery and distribution extension in the upper rio Paraná system, Minas Gerais, Brazil. Check List, v. 3. N. 1, p. 119-122. 2007. Disponível em: <https://www.biotaxa.org/cl/article/view/3.2.119>. Acesso em 01 de julho de 2020.

LEAL, Mariana Santos et al. Caracterização hidroambiental de nascentes. Revista Ambiente & Água, v. 12, p. 146-155, 2017.DOI: <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1909>

RAMPIM, Leandro; DO CARMO LANA, Maria. Mecanismo de tolerância interna das plantas ao alumínio. In: Colloquium Agrariae. ISSN: 1809-8215. 2013. p. 72-89. Disponível em: <https://journal.unoeste.br/index.php/ca/article/view/601>. Acesso em: 12 mar 2025

RASSI, Raul et al. Caracterização geológica, geomorfológica e pedológica de Patos de Minas (MG): contribuição à interpretação das feições erosivas. Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento, v. 1, p. 6435-6439, 2017. Disponível em: <https://ocs.ige.unicamp.br/ojs/sbgfa/article/view/2334/2171>. Acesso em 01 de julho de 2020.

RIBEIRO, Brenda Tomáz et al. Análise E Intervenção Do Uso E Ocupação Da Área De Preservação Permanente No Bairro Da Gangorrinha Em Teófilo Otoni–MG. Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v. 3, n. 1, 2021. Disponível em: <https://revista.unipacto.com.br/index.php/multidisciplinar/article/view/842>. Acesso em 01 de julho de 2020.

# **BIODIVERSIDADE, MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL**

**VOLUME XXI**



[conhecimentolivre.org/home](https://conhecimentolivre.org/home)



[contato@conhecimentolivre.org](mailto:contato@conhecimentolivre.org)



[editoraconhecimentolivre](https://www.instagram.com/editoraconhecimentolivre)



EDITORA CONHECIMENTO LIVRE