

Tecnologias Sustentáveis:

Ideias para mitigação e
adaptação às mudanças
climáticas em nosso
território

Aurélio Kubo
organizador

CEFET-MG Campus Timóteo



Tecnologias Sustentáveis:

**Ideias para mitigação e
adaptação às mudanças
climáticas em nosso
território**

Aurélio Kubo
organizador

CEFET-MG Campus Timóteo

2025

Tecnologias Sustentáveis:

Ideias para mitigação e adaptação às
mudanças climáticas em nosso território

Aurélio Kubo

organizador

CEFET-MG Campus Timóteo

2025

Grafia atualizada segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, que entrou em vigor no Brasil em 2009.

Os capítulos assinados são de responsabilidade de seus autores, não traduzindo, necessariamente, a opinião do CEFET-MG

Os capítulos deste livro, no todo ou em partes, podem ser reproduzidos para fins educacionais e de pesquisa, porém, é vedada sua comercialização.

Capa

Matheus Mechetti Lulli

Ilustração da capa

Vista do prédio escolar. Foto de Julio Sardinha

T255 Tecnologias Sustentáveis: ideias para mitigação e adaptação às mudanças climáticas em nosso território / Organização Aurélio Takao Veira Kubo. - Timóteo : CEFET/MG, 2025.

189 p. : il.

ISBN 978-65-01-84022-2

Trabalhos realizados pelos alunos das primeiras séries dos cursos técnicos integrados do CEFET/MG – Campus Timóteo, para o Projeto Tecnologias Sustentáveis, do Departamento de Formação Geral.

Bibliografia.

1. Sustentabilidade e meio ambiente. 2. Poluição urbana. 3. Mudanças climáticas – Influência do homem. I. Kubo, Aurélio Takao Vieira. II. Título.

CDU: 504

Ficha elaborada pela Biblioteca — campus Timóteo — CEFET-MG
Bibliotecária: Monalisa Mendonça Moraes Silva - CRB6-2308



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons
Atribuição Não-Comercial 4.0 Internacional.

Sumário

APRESENTAÇÃO	7
---------------------	----------

CAPÍTULO 1	11
-------------------	-----------

CAPIM-VETIVER: FITORREMEDIAÇÃO PARA SOLOS CONTAMINADOS NO LEITO EXPANDIDO DO RIO PIRACICABA

Beatriz Isabelle Silva Sousa; Claryce Ketelyn Moreira Maia; Davi Souza Sales; Gustavo Henrique Silva Rena; Maria Clara Quintão Lopes.

CAPÍTULO 2	27
-------------------	-----------

EUTROFIZAÇÃO: CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E COMO REVERTER ESSE FENÔMENO DE FORMA NATURAL

Antonela Figueiredo Carvalho; Lara Dornelas Silva Almeida; Leticia Vitória Neubert Andrade; Melissa Araújo Andrade; Rayssa Ventura da Costa.

CAPÍTULO 3	43
-------------------	-----------

WETLANDS: TRATAMENTO HÍDRICO SUSTENTÁVEL

Luiz Felipe da Silva Moraes; Miguel da Silva Ribeiro; Nicolas Oliveira Santos; Paulo Enrick Oliveira Alves; Samuel Freitas Valadares da Silva.

CAPÍTULO 4	53
-------------------	-----------

JAGUARAÇU RESILIENTE: UM ALERTA URBANO E AMBIENTAL A PARTIR DA REALIDADE DE UM MUNICÍPIO AFETADO POR INUNDAÇÕES

Erick Franco Pessoa; Gabriel Barbosa Ribeiro; Lucas Valentim Santos; Miguel Passos Martins; Pedro Carvalho Luppi.

CAPÍTULO 5	69
-------------------	-----------

IMPACTOS DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NO VALE DO AÇO: EMISSÕES INDUSTRIAIS, SAÚDE PÚBLICA E MITIGAÇÃO SUSTENTÁVEL

Guilherme Magalhães Souza; Kauã Victor Santos Roldão; Lucas Eduardo de Paula Lopes; Lucas Figueiredo Franco; Otavio Augusto Santos Patrocínio.

CAPÍTULO 6	85
-------------------	-----------

POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA: SAÚDE RESPIRATÓRIA EM TIMÓTEO

Amanda Santana Rodrigues; Any Vitoria Simplicio Calixto; Gabriela Bernardino Scopinho; Giovanna Valadares Silva; Laura Vitoria Delmasquiao Pereira.

CAPÍTULO 7

99

SOLUÇÕES DE CLIMATIZAÇÃO PARA O VALE DO AÇO: AR-CONDICIONADO INDIANO COMO ALTERNATIVA DE BAIXO IMPACTO AMBIENTAL

Letícia Maschi Soares; Lucas Pereira Sette Nascimento; Maria Fernanda de Souza Assis; Pedro Henrique Soares da Silva; Pedro Luccas de Melo Soares.

CAPÍTULO 8

109

RECICLAGEM DE RCD NO VALE DO AÇO: IMPACTOS E SOLUÇÕES

Adryele Martins Batista dos Santos; Anna Julia Barbosa Moreira; Clara Antonelli Gentile; Laura Menezes de Oliveira; Letícia Fernandes Pinheiro.

CAPÍTULO 9

121

ENERGIA DAS PLANTAS: TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL QUE GERA ELETRICIDADE

Arthur Jales Campos de Freitas; Davi Macedo Ferreira Braga; João Paulo Leite Oliveira Vieira; Kayky Gustavo Silva Elias; Lucas Lopes Arthuso.

CAPÍTULO 10

135

ENERGIA DAS ÁGUAS: TURBINAS QUE GERAM ENERGIA NA ETA

Larissa Maria da Rocha Machado; Letícia Vieira de Oliveira; Maria Isabelle Firme Rocha; Marianne Mascarenhas Lima; Rafaela Miranda Souza.

CAPÍTULO 11

147

ENERGIA EÓLICA EM AUTOESTRADAS: O POTENCIAL DOS AEROGERADORES PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA EÓLICA

Enzo Gustavo da Costa Silva; Felipe Pinho Fiedler Bremer; Gabriel Magalhães Lessa; Luiz Henrique Teobaldo Rios; Samuel Pires Gomes de Noronha.

CAPÍTULO 12

157

GINÁSIO COMUNITÁRIO MULTIFUNCIONAL ADAPTÁVEL PARA ABRIGO DE EMERGÊNCIA

Lavinia Maria de Medeiros Gonçalves; Luiza Orlanda Sousa Moreira; Maria Júlia Lana Arthuso; Sara Luiza de Paula Lopes; Vitória Batista de Souza.

CAPÍTULO 13

176

INCÊNDIOS EM TIMÓTEO: PREVENÇÃO E COMBATE EM ÁREAS DE RISCO INCENDIÁRIO

Daniel Lourenço Santana; Daniel Victor Silva Barbosa; Diego Barbosa de Freitas Martins; Gabriel de Castro Ribeiro Silva.

Apresentação

Dão-se a ler neste volume as ideias e preocupações de jovens estudantes interessados em participar na construção de futuros melhores. Como qualquer proposta em debate público, estas também requerem o olhar interessado e o escrutínio atento do leitor. Até porque estes capítulos são os primeiros passos de suas autoras e autores na esfera da produção do conhecimento científico. É trôpego (talvez lindo, porque trôpego) este início de uma jornada longa, com muitas aprendizagens e mudanças de rumo porvir.

No início do ano, nesta última edição do projeto de ensino “Tecnologias Sustentáveis”, o convite foi à imaginação de futuros possíveis. Sempre é preciso criá-los, ainda mais diante dos cenários sombrios acarretados pelas mudanças climáticas. Como não poderia deixar de ser, contemplar os riscos existenciais em sua escala planetária é intimidador. Daí ser mais fácil enfrentar e compreender tais riscos a partir de uma visada local. Por ser local, mais próxima, concreta e modificável ao nível das municipalidades.

Deste lugar, os autores e autoras apresentam-se publicamente também como jovens cidadãos interessados em refletir sobre as questões locais e intervir no planejamento futuro das cidades que habitamos. Há muito sobre o que refletir, investigar sistematicamente, compreender e planejar em termos de mudança. De modo que a questão mais ampla, que iniciou os trabalhos apresentou-se quanto às ações que os municípios de nossa região poderiam desenvolver para mitigar ou adaptar-se às mudanças climáticas.

Enquanto o eixo mitigação parece ser mais suscetível aos humores das esferas decisivas superiores, as estratégias de adaptação manifestam-se mais claramente como uma tarefa local. Muitos dos riscos e vulnerabilidades inerentes aos fenômenos climáticos já são conhecidos desde há muito. Em que pese o horror das calamidades passadas, não faz muito sentido deixar-se surpreender com as vindouras. É preciso que todos, coletivamente, separemos um tempo para planejar e organizar os recursos necessários para a superação das contingências do futuro.

Em linhas gerais, esta é a tônica dos capítulos que compõem este volume. Eles tratam de observar a realidade local tanto para identificar problemas e danos a se

corrigir; quanto para investigar e propor modificações em busca de mais resiliência em face das mudanças climáticas.

Claramente, esta não é tarefa simples, nem pode ser respondida com abordagens simplórias. Daí a importância de comunicar e compreender questões complexas. Nesta tentativa, abordam-se nossas relações com os leitos dos rios, os solos e nossas vulnerabilidades a inundações nos quatro primeiros capítulos. Novamente, enquanto os primeiros trabalhos assentam-se na literatura consolidada, há avanços por fazer quanto à mitigação dos impactos provocados por chuvas intensas. Em nossas casas, há que se garantir que o teto se assente sobre chão firme e válido.

Conquanto menos calamitosas que as cenas de inundações, a “insustentável leveza” da poluição atmosférica é, paradoxalmente, um dos pontos mais concretos quando se deseja falar sobre melhores condições de vida. Afinal, “poluição do ar, todo mundo entende”, por mais amor que tenhamos às empresas que participam de sua poluição. Analogamente, não se podem ignorar as altas temperaturas a que se incorre no Vale do Rio Doce. Esse cotidiano, bem comezinho de faxina contra o pó no calor, manifesta-se como preocupação à meia altura do livro (capítulos 5 a 7). Porém, sem que se fale em faxina.

Experimentar é preciso. Uma vez mais, as condições, recursos e limitações locais são excelentes incentivos para isso. Tal é o esforço do que se manifesta quanto ao reaproveitamento de recursos naturais ou à sempre premente geração de energia. Se a reciclagem e o reúso de matérias-primas já não podem erguer sobrolhos, a dimensão econômica continua a impor-se em sua preponderância. Senão pela técnica em si, é preciso traçar rotas que incorporem essa dimensão, cada vez mais óbvia, em direção a um futuro melhor. Os capítulos 8 a 11 refletem sobre essas relações entre sustentabilidade e economia. Não trazem respostas de prontidão, mas identificam com clareza em que se pensar quanto à construção civil, as cidades e suas possibilidades (até econômicas) quanto à geração e ao uso de energia.

Conforme se disse, o futuro pode ser sombrio e isso não é uma ficção. O passado já nos revelou calamidades que, sabemos, podem intensificar-se. Os capítulos finais são muito claros quanto a duas trajetórias elementares: é preciso sobreviver às águas, é preciso sobreviver ao fogo. Ambos tão únicos e maravilhosos no universo conhecido. É preciso que a vida seja digna e boa — *agora*, no único tempo que temos para viver —, mas também é óbvio que a sucessão do porvir tem que incorporar planos para futuros sombrios. Tal é o chamado feito pelos capítulos finais, que, praticamente, constituem-se em planos de ação a se implementar desde já.

Ainda assim, se tardar, seriam excelentes propostas para campanhas eleitorais para o ano vindouro, já tão próximo, quando muitos dos autores e autoras já serão também eleitoras e eleitores. E é necessário que os representantes democraticamente eleitos estejam atentos às múltiplas formas de conhecimento que emergem da coletividade.

O poder de decidir — nesta democracia que queremos mais participativa — há de estar com as cidadãs e cidadãos. Conforme esta é uma luta contínua, que a Fortuna nos favoreça a todas e todos. Os melhores entre vós, que nos representem.

Aurélio Kubo

Capítulo 1

Capim-vetiver: fitorremediação para solos contaminados no leito expandido do rio Piracicaba

Beatriz Isabelle Silva Sousa; Claryce Ketelyn Moreira Maia; Davi Souza Sales; Gustavo Henrique Silva Rena; Maria Clara Quintão Lopes.

Prof.^a Júlia Junqueira (orientadora); Matheus Mechetti Lulli (coorientador).

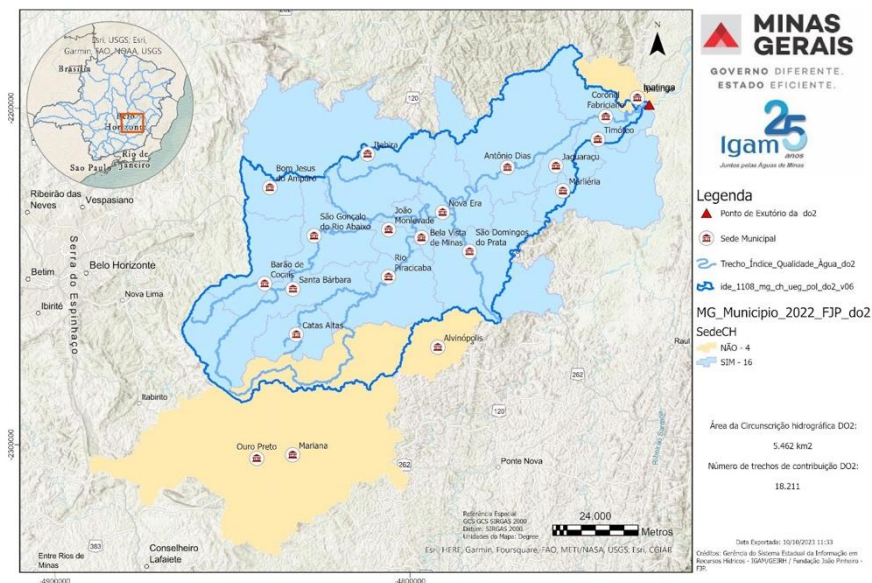
Resumo: O presente trabalho apresenta uma análise sobre o potencial da fitorremediação, com foco no uso do *Chrysopogon zizanioides* (conhecido popularmente como capim-vetiver e, anteriormente, classificado como *Vetiveria zizanioides*), como uma estratégia sustentável para a mitigação da contaminação por metais pesados em áreas degradadas do Vale do Aço, particularmente nas margens do rio Piracicaba. A região em questão possui um histórico de intensa atividade siderúrgica, que resultou em uma contaminação significativa, representando uma ameaça tanto para a saúde humana quanto para os ecossistemas aquáticos e terrestres. A fitorremediação emerge como uma alternativa de baixo custo, ecologicamente segura e adaptável às condições locais, oferecendo uma abordagem promissora para a recuperação ambiental. Além disso, a proposta alinha-se à *Agenda 2030* da Organização das Nações Unidas (ONU), contribuindo especificamente para com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 15, que visa proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, deter e reverter a degradação da terra e frear a perda de biodiversidade. Dessa forma, o estudo busca não apenas solucionar um problema local, mas também se insere em um contexto global sobre sustentabilidade.

Palavras-chave: fitorremediação; metais pesados; capim-vetiver; Vale do Aço; rio Piracicaba.

A região do Vale do Aço, especialmente no leito expandido do rio Piracicaba (ver mapa 1), apresenta áreas com histórico de contaminação por metais pesados, que é o resultado da intensa atividade siderúrgica no local. Relatórios técnicos da Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM, 2023, p. 18) registram episódios de contaminação associados a efluentes industriais na bacia do rio Doce, particularmente na área de influência da empresa Usiminas, localizada no município de Ipatinga (MG). Devido à ameaça que

esses contaminantes representam para a saúde humana e para os ecossistemas aquáticos e terrestres, propõe-se avaliar a viabilidade da aplicação do capim-vetiver na fitorremediação do solo contaminado nessa respectiva área.

Mapa 1: Circunscrição hidrográfica CBH – DO2: rio Piracicaba



Fonte: Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). Mapa da Circunscrição Hidrográfica CBH - DO2: rio Piracicaba. Belo Horizonte: IGAM, 2023. Escala: 1:24.000.

Nesse cenário, a fitorremediação apresenta-se como alternativa científica e tecnologicamente viável, alinhada aos princípios da sustentabilidade ambiental. Tal técnica fundamenta-se na utilização de espécies vegetais capazes de absorver, acumular ou estabilizar contaminantes, reduzindo sua mobilidade e toxicidade. Entre as espécies com maior destaque encontra-se o capim-vetiver (*Chrysopogon zizanioides*), cuja morfologia radicular profunda, elevada tolerância a condições edáficas adversas e comprovada capacidade de fitoestabilização conferem-lhe um papel estratégico em projetos de recuperação de áreas degradadas.

Embora o capim-vetiver já tenha eficácia comprovada e uma grande adaptabilidade a condições extremas, sua aplicação no Vale do Aço ainda é limitada por fatores como a falta de políticas públicas, o desconhecimento técnico e a escassez de estudos regionais. Assim, este capítulo tem como objetivo analisar, sob a perspectiva da literatura científica e dos dados regionais disponíveis, o potencial da fitorremediação com o capim-vetiver na remediação de solos contaminados por metais pesados nas margens do rio Piracicaba. Pretende-se, ainda, situar tal

proposta no contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da *Agenda 2030* da Organização das Nações Unidas, em especial do ODS 15, que preconiza a proteção, restauração e uso sustentável dos ecossistemas terrestres. Para tanto, foi necessário: *i)* caracterizar a área de estudo com base em dados geográficos e ambientais, a fim de identificar as principais fontes de poluição industrial (siderurgia); *ii)* descrever as características botânicas e fisiológicas do capim-vetiver, com foco em seu sistema radicular profundo, sua tolerância a condições adversas de solo (como pH extremo) e sua comprovada capacidade de absorver e estabilizar metais pesados, como arsênio (As), cádmio (Cd), cromo (Cr), níquel (Ni), chumbo (Pb) e zinco (Zn); *iii)* e realizar uma revisão bibliográfica sobre os estudos já publicados que documentam os níveis de contaminação por metais pesados.

Dessa forma, este estudo propõe avaliar a viabilidade do uso do capim-vetiver na fitorremediação de solos contaminados por metais pesados no Vale do Aço. Embora ainda sejam necessárias pesquisas de campo para confirmar sua aplicabilidade regional, a proposta busca, neste momento, ampliar o debate sobre soluções sustentáveis para áreas impactadas pela atividade industrial, servindo como base para futuras práticas de recuperação do meio ambiente.

Fundamentação conceitual

O estudo se concentrou no leito expandido do rio Piracicaba, localizado no leste de Minas Gerais e integrante da bacia hidrográfica do rio Doce. A região de deságue no Vale do Aço, incluindo os municípios de Ipatinga, Coronel Fabriciano e Timóteo, é um foco de intensa atividade siderúrgica, que historicamente resultou na contínua e, em grande parte, inadequada descarga de efluentes — metais pesados (Morais, 2009, p. 21).

O rio Piracicaba (MG) tem 241 km de extensão, desde suas nascentes no maciço do Caraça (Ouro Preto, 1.710 m de altitude) até a foz no rio Doce (Ipatinga/Timóteo, 192 m), drenando 21 municípios e constituindo-se uma bacia de 5.684 km². Seu leito recebe águas de importantes afluentes — Santa Bárbara, Peixe, Prata, Turvo, Maquiné, Una e Machado —, além de dezenas de córregos e ribeirões. A bacia possui o clima temperado, com chuvas de verão, verões quentes ou temperados, predominantemente composta pelo bioma Mata Atlântica, contendo uma pequena área de Cerrado (Gonçalves, 2023, p. 15-21). Sua área apresenta treze categorias de cobertura da terra. Entre elas, destacam-se como predominantes a formação florestal, as pastagens e as florestas plantadas. Já as categorias de mineração e infraestrutura urbana, embora menos extensas, concentram-se em áreas específicas, principalmente no município de Itabira e na região do Vale do Aço (Belotti *et al.*, 2022, p. 193).

Na bacia do rio Piracicaba (MG), a classificação dos graus de influência antrópica sobre a paisagem revelou o predomínio das categorias mínimo e médio, que representam, respectivamente, 43% e 32% da área total, correspondendo às formações florestais, pastagens, áreas agrícolas e não vegetadas. Em menor proporção, aparecem as classes muito baixo e baixo, associadas a florestas plantadas e formações savânicas e campestres. Os graus de hemerobia classificados como muito alto e máximo correspondem, respectivamente, a 2,7% e 1,2% da área da bacia, concentrando-se principalmente na região do Vale do Aço e no município de Itabira, locais fortemente dependentes da siderurgia e da mineração.

Isso está relacionado ao desenvolvimento do Vale do Aço, que esteve diretamente ligado à instalação das siderúrgicas Acesita, em Timóteo, e Usiminas, em Ipatinga, nas décadas de 1940 e 1950, respectivamente. Esse processo resultou tanto na emancipação dos antigos distritos de Coronel Fabriciano — Timóteo e Ipatinga —, quanto em um rápido e, posteriormente, desordenado crescimento urbano. E a busca por moradia e terras mais acessíveis impulsionou esse crescimento, que, por sua vez, gerou problemas de conurbação (Belotti *et al.*, 2022, p. 192-194).

E vale ressaltar que os principais polos industriais do rio Piracicaba são: mineração, siderurgia e metalurgia. A cidade de Rio Piracicaba, por exemplo, tem forte presença da Companhia Vale S.A., por exemplo, que atua no complexo minerador de Água Limpa, formado pelas minas de Água Limpa, Morro Agudo e Cururu. Essas minas foram originalmente exploradas pela Samitri (S/A Mineração da Trindade), posteriormente, adquirida pela Vale, consolidando o município como um importante polo minerador do quadrilátero ferrífero (Melo, 2017, p. 25-31). A região também tem destaque na monocultura de eucalipto para abastecer empreendimentos siderúrgicos (Melo, 2017, p. 18), bem como a metalurgia no Vale do Aço. Logo, percebe-se o quanto a região está inserida em atividades econômicas que envolvem o uso de metais pesados.

O termo metais pesados é aplicado a um grupo de elementos metálicos e metaloides que, em função de sua densidade, persistência e toxicidade, representam riscos à saúde e ao meio ambiente. Assim, é crucial distinguir entre elementos biologicamente essenciais, como zinco (Zn), cobre (Cu) e manganês (Mn) — necessários em baixas concentrações, mas tóxicos em excesso —, e metais não essenciais e altamente tóxicos, como chumbo (Pb), cádmio (Cd), arsênio (As) e mercúrio (Hg) (Morais, 2009, p. 3; Cunha; Machado, 2005, p. 7). A toxicidade desses elementos decorre de sua não degradação no meio ambiente, o que confere um elevado potencial para bioacumulação e biomagnificação nas cadeias alimentares. As principais fontes de contaminação antrópica incluem os efluentes

industriais (siderurgia e mineração), a queima de resíduos e as emissões veiculares (Morais, 2009, p. 3).

O Vale do Aço, com seu histórico de intensa atividade siderúrgica, é uma fonte crônica de poluição por metais pesados. A liberação desses contaminantes está diretamente associada aos processos produtivos, sendo a siderurgia um setor industrial notório pela emissão de zinco (Zn) e manganês (Mn), além da presença de chumbo (Pb) e alumínio (Al) em seus efluentes (Morais, 2009, p. 20 e 25). A persistência dessa contaminação é evidenciada por achados alarmantes na bacia do rio Piracicaba, como, por exemplo, o chumbo (Pb), um metal não essencial e altamente tóxico, com grave potencial de bioacumulação. O estudo de Moraes (2009) identificou uma concentração média de 141,49 mg/kg (141,49 miligramas por quilograma) de chumbo no músculo de peixes teleósteos coletados no rio Piracicaba, cerca de 471,6 vezes maior que o Limite Máximo de Tolerância (LMT) determinado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Este valor é alarmante, pois excede por muito o limite máximo da concentração determinada para o consumo humano, sendo aproximadamente 0,3 mg/kg (miligramas por quilograma) (ANVISA, 2022, p. 26). E o capim-vetiver demonstra um potencial notável na remoção de chumbo. Em um estudo de 2023, foi registrada uma taxa de absorção de 50% do teor de chumbo do solo (Schottz, 2023, p. 28). Esse resultado valida uma grande tolerância e uma grande capacidade de acúmulo da planta para este elemento.

Já a contaminação por cromo (Cr) é uma das evidências mais claras da poluição industrial crônica no rio Piracicaba. O estudo de Queiroz (2006) documenta a presença de cromo em concentrações de 447 ppm em amostras de sedimentos, um valor que é nove vezes superior ao limite legal. A alta concentração em sedimentos é preocupante, pois esse elemento funciona como um reservatório de poluentes ao longo do tempo. Esses contaminantes no leito do rio indicam que a poluição não é um evento isolado, mas sim um problema de acúmulo de longo prazo.

Em relação ao alumínio (Al), embora não tenham sido encontrados dados de concentração específicos para o rio Piracicaba, o monitoramento de outros rios mineiros, como o Paraopeba, após o rompimento da barragem de rejeitos da Vale em Brumadinho, demonstrou que as concentrações de alumínio e outros metais pesados podem alcançar valores “bastante acima do permitido” (IGAM, 2010, p. 50). Sua toxicidade para peixes, principalmente em pH ácido, é comprovada, podendo causar alterações no batimento cardíaco e afetar o desempenho reprodutivo. A bioconcentração de alumínio ocorre principalmente nas brânquias, fígado e encéfalo dos peixes (Correia, 2012, p. 38).

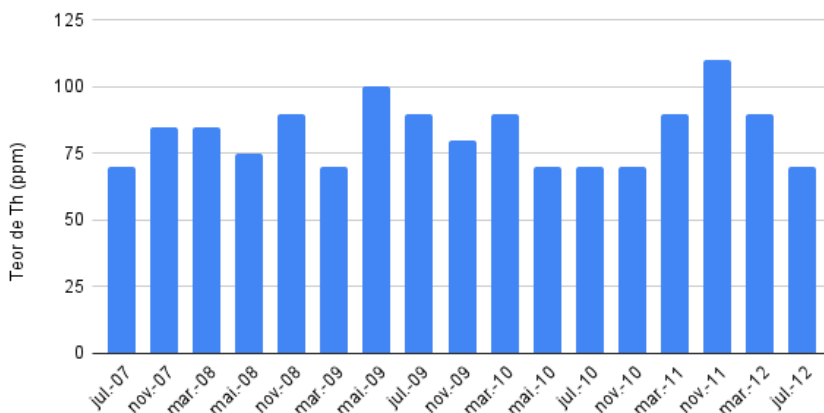
Por outro lado, o manganês (Mn) é um dos elementos mais utilizados na indústria metalúrgica, respondendo por mais de 95% do consumo industrial para a obtenção de ligas de ferro e aço (Morais, 2009, p. 25). Sua exploração, juntamente com o minério de ferro, é uma das maiores fontes de rejeitos em Minas Gerais. Estudos no rio Piracicaba indicam que a concentração de manganês e ferro em sedimentos se relaciona com o modelo de exploração econômica na região (IGAM, 2010, p. 14). Sua bioconcentração em peixes ocorre, especialmente, nas brânquias, embora em menor intensidade que o alumínio, e a exposição ao manganês pode potencializar os efeitos de bioconcentração do alumínio.

Já em relação ao zinco (Zn), um estudo inicial demonstrou que o capim-vetiver conseguiu remover 39,29% do zinco em solos contaminados em apenas 45 dias (Santos *et al.*, 2020, p. 53). No entanto, um estudo de 2012 realizado pela Embrapa revelou que, apesar do potencial geral, o capim-vetiver demonstrou “altíssima fitotoxidez” em doses intermediárias de zinco (Tavares; Oliveira, 2012, p. 91). Esta observação é de extrema importância para o estudo, dado que o zinco é um contaminante comum de atividades siderúrgicas no Vale do Aço. O estudo de Moraes (2009) também identificou uma concentração média de 50,41 µg/g (microgramas por grama) de zinco no músculo de peixes teleósteos, um valor que está dentro dos limites de toxicidade estabelecidos por algumas agências ambientais. Embora esse valor seja apenas um pouco acima do limite para consumo humano da ANVISA, que é de 50 mg/kg (50.000 µg/g), a presença de zinco bioacumulado em peixes indica o impacto da poluição industrial na cadeia alimentar.

Além da contaminação por elementos como chumbo e cromo, estudos mais recentes, como a pesquisa de Queiroz *et al.* (2017), complementam o diagnóstico, indicando que a poluição no rio Piracicaba é ainda mais complexa. A pesquisa de 2017, por exemplo, demonstrou que a presença de radioisótopos na bacia, provenientes de ações siderúrgicas, eleva o potencial de risco à saúde e ao meio ambiente, reforçando a urgência de uma estratégia de remediação abrangente e eficaz.

Já o tório (Th) é um metal radioativo que ocorre naturalmente em rochas e solos. O estudo de Queiroz *et al.* (2017) revela que a concentração de tório no sedimento do rio Piracicaba, especialmente nos pontos de coleta em Ipatinga (P4), alcançou valores de 108 mg/kg. Esses valores são alarmantes, pois extrapolam em mais de sete vezes o valor típico de 15 mg/kg para o tipo de sedimento da região (Queiroz *et al.*, 2017). Apesar de ser difícil de ser dissolvido em água, o estudo notou a presença de tório na fase líquida no ponto P4 (Ipatinga), uma situação que indica um “stress ambiental” e a possível descarga de efluentes industriais, como se percebe no gráfico 1.

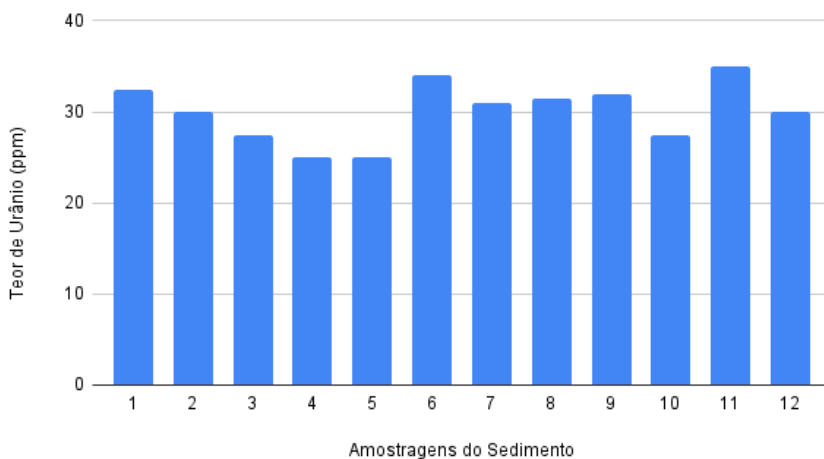
Gráfico 1: Concentração de tório no sedimento do rio Piracicaba nas coordenadas do ponto de coleta no rio Piracicaba e uso do solo a montante em Ipatinga (P4) -19.5118889, -42.5563611



Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos de Queiroz *et al.*, 2017.

Por fim, o urânio (U), outro elemento radioativo, também foi encontrado em altas concentrações no sedimento do rio Piracicaba, extrapolando os valores usuais, como é possível verificar no gráfico 2. No ponto das proximidades da foz, os teores de urânio atingiram 36,5 mg/kg, superando o valor médio de 1 a 10 mg/kg para solos da região (Queiroz *et al.*, 2017). A elevação do urânio no sedimento é atribuída à presença de minerais como a zeólita, que atua como uma “peneira molecular”, absorvendo o radioisótopo em sua estrutura. A toxicidade do urânio é tanto radiobiológica quanto química, com o potencial de causar doenças degenerativas graves. O estudo, no entanto, não detectou concentrações elevadas de urânio dissolvido na água, sugerindo que o elemento se encontra imobilizado no sedimento, o que reforça a necessidade de fitorremediação para evitar sua mobilização futura (Queiroz *et al.*, 2017). Logo, os usos do capim-vetiver podem ser uma solução adequada para mitigar tais problemas.

Gráfico 2: Concentração de urânio no sedimento do rio Piracicaba nas coordenadas do ponto de coleta no rio Piracicaba e uso do solo a montante em Ipatinga (P4) -19.5118889, -42.5563611



Fonte: Elaborado pelos autores com dados extraídos de Queiroz *et al.*, 2017.

O capim-vetiver é uma planta perene que, quando atinge sua fase adulta, pode medir entre 1,5 e 2,0 metros de altura. Tem caules eretos e resistentes, que são capazes de suportar um fluxo de água relativamente profundo. Seu sistema radicular é denso e interconectado, e pode crescer de forma muito rápida. Em algumas aplicações, a profundidade das raízes pode atingir até 4 metros no primeiro ano (Figura 1). Essa característica faz com que a planta seja tolerante à seca e também dificulta sua remoção por correntes de água, além de impedir que se torne invasiva.

Embora o capim-vetiver se propague rapidamente, ele é estéril e não produz sementes viáveis. Sua reprodução ocorre predominantemente por divisão de touceiras, partes da planta que permanecem vivas após o corte do caule (mudas), o que permite uma expansão controlada em áreas de plantio e minimiza o risco de dispersão descontrolada. Quando cultivado em condições ideais, o capim-vetiver pode atingir sua altura adulta em menos de um ano, tornando-se uma opção eficaz para a recuperação de áreas degradadas em um tempo relativamente curto. As folhas do capim-vetiver são finas, longas e com margens afiadas, formando uma touceira densa. Sua coloração verde vibrante é um indicativo claro da planta, facilitando sua identificação. Mesmo quando danificadas por fatores ambientais, a planta tem a capacidade de gerar novas brotações a partir de sua coroa subterrânea, o que garante sua recuperação.

Figura 1: Capim-vetiver com 0,50 m; 1,00 m e 1,80 m



Fonte: SILVA, Wilson A. da (2024, p. 19).

Em termos de resistência ambiental, o capim-vetiver é altamente adaptável, suportando uma ampla gama de condições adversas. Ele pode sobreviver a períodos prolongados de seca e geada, além de suas raízes serem eficazes na absorção de água de solos com alta salinidade e poluição (Chaves; Andrade, 2013, p. 6). Quando cultivado em áreas com acúmulo de sedimentos, o capim-vetiver continua a crescer mesmo quando o solo é enterrado, graças à capacidade de gerar novas raízes a partir de nós enterrados. Além disso, os brotos surgem da coroa subterrânea, tornando a planta altamente tolerante a uma faixa de temperatura ampla, de -15°C a $+55^{\circ}\text{C}$. Essa robustez se deve à sua habilidade em se adaptar a condições de solos com pH variando de 3,3 a 12,5, tornando a planta uma opção viável para cultivo em climas tropicais, semitropicais e mediterrâneos (Truong *et al.*, 2008, p. 2).

Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos adotados para este estudo tiveram como objetivo explorar a aplicabilidade do capim-vetiver na solução de problemas ambientais, com ênfase na contaminação do solo. Para alcançar esse propósito, a principal ferramenta metodológica foi a pesquisa bibliográfica, que se configura como um levantamento das referências teóricas já estabelecidas sobre o tema. Essa

abordagem se baseia em fontes amplamente reconhecidas, como livros, artigos científicos e publicações digitais em sites especializados, conforme delineado por Gerhardt e Silveira (2009, p. 37).

A escolha das fontes foi direcionada para garantir que os materiais consultados fossem relevantes e, dentre as fontes preferenciais, destacam-se artigos acadêmicos, capítulos de livros científicos, estudos técnicos e relatórios sobre boas práticas na aplicação do capim-vetiver. Para garantir a qualidade da pesquisa, as publicações foram selecionadas no idioma português, com foco nas produções dos últimos 20 anos. Concentrando-se, principalmente, na capacidade do capim-vetiver para biorremediar solos contaminados com metais pesados, sua eficiência na prevenção de erosões e na redução da lixiviação de substâncias tóxicas.

Para termos conhecimento das condições do rio Piracicaba e suas necessidades, buscou-se caracterizar a área de estudo, com ênfase no leito do rio. Para isso, foram consultados livros, artigos, relatórios técnicos e monografias que descrevem os aspectos geográficos, geológicos, climáticos e ambientais dessa bacia hidrográfica. Esse levantamento permitiu reunir informações sobre os principais impactos antrópicos associados à região do Vale do Aço, área marcada pela presença da siderurgia.

O estudo também realizou a identificação das principais fontes de poluição industrial que incidem sobre o rio Piracicaba. Foram selecionados estudos acadêmicos e relatórios de órgãos ambientais que abordam o lançamento de efluentes domésticos e industriais, o transporte de sedimentos e resíduos gerados pela mineração para os cursos d'água e as descargas de resíduos provenientes da siderurgia. Essas fontes foram analisadas quanto ao tipo de contaminante liberado e à intensidade da carga poluidora.

Além disso, foi necessária a descrição das características botânicas e fisiológicas do capim-vetiver, com foco em sua aplicabilidade em processos de fitorremediação. Para tanto, a pesquisa reuniu literatura especializada em botânica e engenharia ambiental, destacando atributos como: o sistema radicular profundo e denso, capaz de atingir até quatro metros de profundidade; a tolerância a condições adversas de solo, como baixa fertilidade, variadas temperaturas, elevada acidez e presença de contaminantes; e sua comprovada capacidade de absorver, acumular e estabilizar metais pesados, fator essencial para o contexto de degradação observado no rio Piracicaba.

Por fim, junto à pesquisa, realizaram-se fichamentos de estudos concernentes à contaminação por metais pesados na bacia do rio Piracicaba. Foram priorizados trabalhos acadêmicos que analisaram a presença de elementos como alumínio

(Al), cádmio (Cd), chumbo (Pb), cromo (Cr), manganês (Mn), tório (Th), urânio (U) e zinco (Zn) em solos, sedimentos e na água do rio. O material foi fichado com a transcrição de trechos relevantes, devidamente acompanhados de identificação das páginas e referências, a fim subsidiar a análise da viabilidade do uso do capim-vetiver como alternativa de fitorremediação.

Assim, o conjunto metodológico aplicado garantiu uma visão integrada da problemática, articulando a caracterização física e ambiental do rio Piracicaba, a identificação de polos industriais, a compreensão do potencial biotecnológico do capim-vetiver e a sistematização dos níveis de contaminação por metais pesados já registrados em estudos anteriores.

Resultados e discussão

A classificação oficial da qualidade da água do rio Piracicaba, de acordo com o Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM, 2021), é, em teoria, Classe 2. Entretanto, o monitoramento histórico aponta para uma piora progressiva e a persistente detecção de altos níveis de substâncias tóxicas, incluindo cianeto, chumbo, arsênio, zinco e fenóis (Morais, 2009, p. 14 e 21). E a área de intervenção proposta concentra-se em trechos das margens do rio no município de Ipatinga (Ponto P4: -19.5118889, -42.5563611), um local crítico por receber o lançamento direto de efluentes industriais, sobretudo provenientes de processos siderúrgicos. Essa característica de poluição pontual e concentrada justifica a priorização dessa área para os esforços de remediação (Queiroz *et al.*, 2017).

O quadro 1, organizado por Tavares e Oliveira (2012), apresenta a eficácia do capim-vetiver para a fitorremediação de solos contaminados por metais pesados, especificando o índice de translocação, ou seja, o índice de transferência do metal de um local para o outro, o fator de transferência, que mede o índice de transferência do metal para seres vivos, a eficiência de remoção e o tempo estimado para o cumprimento de metas industriais para cada elemento.

Quadro 1: Eficácia do capim-vetiver para a fitorremediação de solos

Metal	Nível máx. testado (mg·kg ⁻¹)	Quelante (EDTA) ¹	Índice Translocação (%)	Fator Transfe-rência (F)	Eficiência de Remoção (%)	Tempo esti-mado para me-tas industriais
Ni	280	sem EDTA	50,52 %	0,78	0,50 %	18,92 anos
Ni	280	com EDTA	56,79 %	0,65	0,33 %	29,35 anos
Ni		sem EDTA	77,66 %	4,49	6,38 %	0,77 anos

¹ Agente quelante orgânico, que sequestra íons metálicos, como o cálcio, magnésio, cobre, ferro e manganês, e que são encontrados principalmente na água.

“MIX” ²⁹	—					
Ni “MIX”	—	com EDTA	72,53 %	4,54	4,43 %	1,47 anos
Cd	40	sem EDTA	20,46 %	1,49	0,27 %	38,42 anos
Cd	40	com EDTA	37,50 %	0,84	0,33 %	30,15 anos
Cd (MIX)	—	sem EDTA	81,96 %	6,57	9,27 %	0,61 anos
Cd (MIX)	—	com EDTA	83,87 %	12,88	22,22 %	0,23 anos
Pb	1.600	sem EDTA	37,97 %	0,49	0,44 %	9,32 anos
Pb	1.600	com EDTA	31,87 %	0,50	0,26 %	26,96 anos
Pb (MIX)	—	com EDTA	36,55 %	0,85	0,44 %	9,58 anos
Zn	4.000	sem EDTA	80,67 %	10,89	29,89 %	0,09 anos
Zn	4.000	com EDTA	77,51 %	15,57	22,51 %	0,21 anos
Zn (MIX)	—	sem EDTA	78,08 %	10,49	24,16 %	0,13 anos
Zn (MIX)	—	com EDTA	84,41 %	13,91	23,49 %	0,22 anos

Fonte: Tavares; Oliveira (2012, p. 87).

Ademais, para os metais detectados nas margens do rio Piracicaba que não foram citados na tabela, sendo eles: cromo (Cr), manganês (Mn) e alumínio (Ag), o capim-vetiver realiza uma fitorremediação por fitoestabilização, ou seja, não os extrai do solo, mas os armazena em suas raízes, fato que seria muito benéfico ao se tratar do leito expandido de um rio, visto que acumularia os metais em suas raízes e não permitiria com que ele fosse lixiviado, contaminando a água. E uma vez contaminada, representaria um sério risco de magnificação trófica por meio dos peixes e demandaria um processo muito mais complexo de descontaminação. E mais: o capim-vetiver apresentou excelentes resultados de fitoextração para o chumbo e o zinco.

Logo, devido a fatores como: as suas propriedades fitoextratoras e fitoestabilizadoras, a sua alta capacidade de adaptação e o controle que se pode obter da reprodução da espécie em uma determinada região, torna-se possível inferir que o capim-vetiver, mesmo não sendo uma espécie nativa, seria uma excelente opção para a recuperação ambiental por meio da fitorremediação de solos contaminados por metais pesados no leito expandido do rio Piracicaba.

² Elemento encontrado em mistura com outras substâncias.

Considerações finais

A análise desenvolvida neste capítulo teve como objetivo avaliar a viabilidade da aplicação do capim-vetiver na fitorremediação da área estudada. Ela evidencia que o capim-vetiver constitui uma ferramenta biotecnológica de elevada relevância para estratégias de recuperação ambiental em áreas degradadas por metais pesados. Sua robustez morfológica e fisiológica, aliada ao baixo custo de implementação e ao reduzido impacto ambiental, confere-lhe grande potencial de inserção em políticas públicas voltadas à remediação de áreas críticas, como o leito expandido do rio Piracicaba.

Embora este estudo se limite a uma abordagem de caráter bibliográfico, os dados reunidos permitem afirmar que a utilização do capim-vetiver pode contribuir significativamente para a mitigação da contaminação e para a estabilização do solo, reduzindo os riscos de dispersão de poluentes em eventos climáticos extremos. Ressalta-se, contudo, que a consolidação dessa proposta depende da realização de pesquisas experimentais de campo, capazes de validar, em escala local, os resultados já documentados em outros contextos.

E a relevância da fitorremediação extrapola a dimensão técnica, configurando-se como uma estratégia que dialoga com os desafios globais de sustentabilidade. Ao articular-se com a *Agenda 2030* da Organização das Nações Unidas (ONU), mas especificamente com o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável 15, que visa proteger, recuperar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, a aplicação do capim-vetiver representa não apenas uma alternativa inovadora de recuperação ambiental, mas também uma oportunidade de integrar ciência, gestão pública e responsabilidade socioambiental. Logo, a fitorremediação com capim-vetiver deve ser compreendida como uma possibilidade concreta de conciliação entre desenvolvimento econômico e preservação ambiental, contribuindo para a construção de modelos mais resilientes e sustentáveis no Vale do Aço e em outras regiões submetidas a pressões industriais semelhantes.

Referências

BELOTTI, Fernanda Maria; MIRANDA, Gabrielle Loubach; VIEIRA, Eliane Maria. *Hemerobia e índice de qualidade da água na bacia do rio Piracicaba (MG)*. Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, [S. l.], v. 13, n. 8, p. 189–200, 2022. Acesso em: 28 set. 2025.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). *Instrução Normativa n° 160, de 1° de julho de 2022*. Estabelece os limites máximos tolerados (LMT) de

contaminantes em alimentos. Brasília: DOU, n. 126, 6 jul. 2022. Acesso em: 7 set. 2025.

CHAVES, Tiago de Andrade; ANDRADE, Aluísio Granato de. *Capim-vetiver (Vetiveria zizanioides): produção de mudas e uso no controle da erosão e na recuperação de áreas degradadas*. Niterói: Programa Rio Rural, 2013. Acesso em: 3 out. 2025.

CORREIA, Tiago Gabriel. *Evidências de desregulação endócrina causada pela exposição aquática ao alumínio e ao manganês em Astyanax bimaculatus (Linnaeus, 1758)*. 2012. Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012. Acesso em: 16 set. 2025.

CUNHA, Fernanda G da; MACHADO, Gilberto J. *Projeto APA Sul RMBH: geoquímica ambiental, mapas geoquímicos escala 1:225.000*. Belo Horizonte: SEMAD/CPRM, 2005. Acesso em: 05 jul. 2025. Acesso em: 25 jul. 2025.

GERHARDT, Tatiana Engel; SILVEIRA, Denise Tolfo (org.). *Métodos de pesquisa*. Porto Alegre: UFRGS, 2009. Acesso em: 2 set. 2025.

GONÇALVES, Geraldo Magela (org.). *Expedição Piracicaba: pela vida do rio*. Ponta Grossa: Atena, 2023. Acesso em: 27 set. 2025.

MELO, Alice Sanches. *Conflitos socioambientais e mineração: territorialidades e desenvolvimento em Rio Piracicaba – MG*. 2017. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Geografia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2017. Acesso em: 12 out. 2025.

MINAS GERAIS. Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM). *Inventário de áreas contaminadas no Estado de Minas Gerais – 2023*. Belo Horizonte: FEAM, 2023. Acesso em: 30 set. 2025.

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). *Boletim Anual de Qualidade das Águas na Bacia Hidrográfica do Rio Piracicaba*. Belo Horizonte: IGAM, 2021. Acesso em: 26 jul. 2025.

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). *Plano de Ação de Recursos Hídricos da Unidade de Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos Piracicaba: PARH Piracicaba*. Belo Horizonte, MG: IGAM, 2010. Acesso em: 21 set. 2025.

MINAS GERAIS. Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). *Mapa da Circunscrição Hidrográfica CBH - D02: rio Piracicaba*. Belo Horizonte: IGAM, 2023. Escala: 1:24.000. Acesso em: 4 out. 2025.

MORAIS, Ana Carolina Torre. *Concentração de metais pesados em peixes teleósteos do rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil*. 2009. 108 f. Dissertação (Mestrado em Biologia e Manejo Animal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009. Acesso em: 27 jun. 2025.

QUEIROZ, Marluce Teixeira Andrade. *Bioacumulação de metais pesados no Rio Piracicaba, Minas Gerais, aplicando a análise por ativação neutrônica instrumental*. 2006. 105 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Centro Universitário do Leste de Minas Gerais, Coronel Fabriciano, 2006. Acesso em: 27 jun. 2025.

QUEIROZ, Marluce Teixeira Andrade *et al.* *Estudo sobre os teores de tório, urânio e potássio nas águas superficiais e sedimento marginal do rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil*. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 22, n. 2, p. 371-380, mar. 2017. Acesso em 21 set. 2025.

SANTOS, Erica Aparecida dos *et al.* *Aplicação do processo de fitorremediação utilizando vetiver (*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash.) na descontaminação de solos tropicais contaminados por chorume*. *Revista Univap*, São José dos Campos, SP, v. 26, n. 51, p. 43-55, 2020. Acesso em: 25 jul. 2025.

SCHOTTZ, Bianca da Silveira *et al.* *Fitorremediação em solo contaminado pelo metal chumbo*. In: X Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental (REGEIO) e IX Congresso Brasileiro de Geossintéticos. *Anais [...]*, Salvador, p. 24-29, 2023. Acesso em: 7 set. 2025.

SILVA, Wilson Alves da. *O capim-vetiver como possível alternativa para ação preventiva contra movimento de massa no bairro Taquaril – Região Leste de Belo Horizonte (MG)*. 2024. 53 f. TCC (Especialização em Gestão Pública em Proteção e Defesa Civil) – Deptº. de Transportes e Geotecnia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2024. Acesso em: 3 out. 2025.

TAVARES, Sílvio Roberto de Lucena; OLIVEIRA, Shirlei Aparecida de. *Fitorremediação de metais pesados em solo induzido por agente quelante utilizando o capim vetiver*. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2012. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 224). Acesso em: 30 set. 2025.

TRUONG, Paul; PINNERS, Elise; VAN, Tran Tan. *Aplicações do sistema vetiver. Manual técnico de referência: uso e manejo do capim vetiver para a conservação do solo*. Tradução de Paulo Rogerio. 2. ed. Rede Internacional de Vetiver, 2008. Acesso em: 3 set. 2025.

Capítulo 2

Eutrofização: causas, consequências e como reverter esse fenômeno de forma natural

Antonela Figueiredo Carvalho; Lara Dornelas Silva Almeida; Letícia Vitória Neubert Andrade; Melissa Araujo Andrade; Rayssa Ventura da Costa.

Prof. Felipe A. Vieira (orientador); Luiz Henrique Santos Dias (coorientador).

Resumo: A eutrofização é um fenômeno desencadeado pela alta concentração de nutrientes em um corpo hídrico, quando remanescentes são escoados. Isso gera o crescimento acelerado de algas marinhas, que vedam a incidência de luz solar e diminuem a quantidade de oxigênio dissolvido na água, impossibilitando o desenvolvimento de vida. O processo se relaciona às mudanças climáticas, e consequentemente ao ODS 13, pela decomposição da matéria orgânica marinha, evento que libera gases de efeito estufa. Através de estudos comprovados e práticas analíticas, o projeto buscou formas de mitigar seus efeitos e entender suas consequências, destacando a lixiviação de produtos nitrogenados – principalmente NPK. Como experimento, foram preparadas amostras de água contaminadas com o material; e como solução, usaram-se processos de biorremediação, plantando e monitorando espécies conhecidas como aguapé e alface-d'água. Por fatores de qualidade das plantas, o procedimento foi falho. No entanto, após pesquisas fundamentais, concluiu-se que a ação de macrófitas é um ponto de partida para mitigar esse evento de forma natural e rentável, contribuindo para a eficácia do ODS 13.

Palavras-chave: eutrofização; acúmulo; nutrientes; mitigação; biorremediação.

A água é um bem limitado, razão da crescente preocupação com os recursos hídricos e a qualidade ambiental. A poluição é um sério problema que impacta nascentes e cursos d'água, havendo necessidade urgente de pesquisas de tratamento e de preservação. A poluição ambiental dos corpos hídricos no Brasil é causada principalmente pela ausência de saneamento básico em muitas cidades (Diep *et al.*, 2021). A poluição pode ser de vários tipos e ter origem rural, urbana e industrial. A poluição rural é causada por agrotóxicos, carga de sedimentos e resíduos orgânicos (esterco). A urbana é basicamente de esgoto doméstico e de lixões, além de uma série de resíduos menos percebidos, como os de desgaste de pneus e de tintas de construções, de lavagem de carros

(detergentes), dentre outras. A industrial é muito mais variada e intensa, também envolvendo substâncias químicas e orgânicas, contidas em esgoto de agroindústrias como frigoríficos, usinas de açúcar e álcool, e outros (Weber, 2025).

Os detergentes contêm hidróxido de sódio ou potássio, fósforo etc., que afetam a qualidade da água diretamente e secundariamente por meio do crescimento de algas que podem ser prejudiciais para uso humano e para a vida aquática. Uma das consequências dessa poluição hídrica é a eutrofização – processo caracterizado pelo excesso de nutrientes em um corpo d'água, decorrente do descarte indevido de esgoto da população nas proximidades e o acúmulo de fertilizantes no solo próximo ao local, que gera o crescimento acelerado de algas a qual recebem muito nutriente e se desenvolvem em uma camada sobre o lago, vedando toda a luz solar e impedindo que as algas realizem o processo de fotossíntese, fazendo com que haja a falta de oxigênio na água e dizimando todo o ecossistema (Santos, 2025).

A curiosidade sobre o tema da eutrofização veio através das aulas de Biologia, o que levou o grupo a refletir sobre a seguinte questão: "Qual seria a melhor solução para minimizar a propagação e os efeitos da eutrofização na região que se vive, pensando na preservação da vida marinha e nas consequências desta na humanidade, de forma econômica e sustentável?" Através de pesquisas, foi descoberto que uma das formas de tratamento de esgoto é a utilização de filtros biológicos com plantas aquáticas. Foi decidido então utilizar plantas aquáticas e, através de um experimento com a simulação de um ambiente eutrofizado, analisar qual delas seria a melhor opção para o controle do fenômeno.

A flora aquática cumpre um papel importante na ecologia dos ecossistemas aquáticos (Amaral; Bittrich, 2002). As plantas afetam a química da água por assimilação de nutrientes e substâncias tóxicas (Esteves; Camargo, 1986), providenciando condições favoráveis a inúmeros organismos aquáticos como moluscos, artrópodos e perifíton, constituindo ainda a base da rede alimentar destes organismos (Esteves, 1988; Pott; Pott, 1997). A biorremediação é uma técnica de descontaminação ambiental que utiliza microrganismos, como bactérias, fungos e plantas, para degradar ou transformar substâncias tóxicas em produtos não tóxicos ou menos prejudiciais ao meio ambiente. Essa abordagem é baseada na capacidade natural desses organismos de metabolizar e decompor compostos químicos. O objetivo principal da biorremediação é reverter ou minimizar os danos causados por poluentes no meio ambiente, restaurando a qualidade do solo, água ou ar contaminados. Essa técnica oferece uma alternativa mais sustentável em comparação a métodos tradicionais, como a remoção física do contaminante ou a aplicação de produtos químicos (Pickler, 2023).

O ODS (Objetivo de Desenvolvimento Sustentável) 13 “Ação contra a mudança climática”, tem como foco tomar medidas para combater as abruptas mudanças climáticas e está relacionado diretamente ao processo de eutrofização, pois o aumento da temperatura faz com que as algas naturalmente tendem a se reproduzir mais rápido. O projeto é útil para que possamos amparar a proteção dos corpos hídricos, viável com as tecnologias biológicas, necessário de maneira que haja a proteção da biodiversidade e um desenvolvimento sustentável.

Objetivos

O objetivo principal do projeto foi testar o potencial de algumas espécies de macrófitas no controle da simulação de eutrofização em ambientes aquáticos, a fim de compreender qual é a melhor opção para reduzir nutrientes na água. Isso constitui uma forma natural e mais barata e simples de mitigar o fenômeno da eutrofização.

1. Outros objetivos mais específicos do projeto foram:
2. Simular a eutrofização em ambiente controlado com material agrícola nitrogenado (NPK);
3. Avaliar a eficiência de plantas aquáticas (aguapé, lentilha-d'água e alface-d'água) na redução do crescimento de algas;
4. Comparar as condições da água em recipientes com e sem plantas e/ou NPK, sendo possível analisar o ambiente onde o experimento se situa.

Fundamentação conceitual

A eutrofização é um dos principais processos de degradação ambiental que afetam ecossistemas aquáticos continentais e costeiros, resultante do enriquecimento excessivo de nutrientes — especialmente nitrogênio (N) e fósforo (P) — provenientes de fontes antrópicas, como o uso intensivo de fertilizantes agrícolas e o despejo de efluentes domésticos sem tratamento adequado. Esses nutrientes, quando carregados pelas chuvas e pela lixiviação do solo, chegam aos rios e lagos, estimulando o crescimento descontrolado de algas e cianobactérias, fenômeno conhecido como florações algais.

De acordo com Smith *et al.* (1999), a eutrofização é considerada uma das maiores ameaças à biodiversidade aquática, visto que altera as cadeias alimentares, provoca a mortalidade de organismos e causa mudanças químicas e biológicas severas nos corpos d'água. Essa sobrecarga nutricional leva ao aumento da biomassa fitoplancônica, que, ao morrer e se decompor, consome grandes quantidades de oxigênio dissolvido, resultando em condições hipóxicas ou anóxicas, ou seja, com pouco ou nenhum oxigênio disponível. Nessas circunstâncias, peixes e outros

organismos aquáticos não conseguem sobreviver, e o ecossistema entra em colapso.

Além do impacto direto sobre os ecossistemas aquáticos, a eutrofização também possui relação estreita com as mudanças climáticas. Estudos apontam que o acúmulo e a decomposição da biomassa orgânica geram a liberação de gases de efeito estufa, como o metano (CH_4) e o óxido nítrico (N_2O), que intensificam o aquecimento global. Esse processo cria um ciclo de retroalimentação: o aumento das temperaturas favorece o crescimento acelerado das algas, que por sua vez agravam a eutrofização e a emissão de gases.

A eutrofização pode ser classificada em natural e antrópica. A natural ocorre de forma lenta, ao longo de milhares de anos, como parte do envelhecimento de lagos e lagoas, à medida que sedimentos e nutrientes se acumulam gradualmente. Já a eutrofização antrópica é acelerada por atividades humanas, podendo ocorrer em poucos anos, com efeitos devastadores sobre a fauna e a flora aquática.

Causas e processos da eutrofização

As principais fontes de nutrientes que desencadeiam o fenômeno são os esgotos domésticos, os efluentes industriais e, sobretudo, o uso indiscriminado de fertilizantes nitrogenados e fosfatados na agricultura (Oliveira *et al.*, 2020). Durante períodos de chuva, o escoamento superficial transporta esses compostos para os corpos hídricos, fenômeno conhecido como lixiviação.

Em termos químicos, o nitrogênio e o fósforo são elementos essenciais ao crescimento vegetal, mas, em excesso, tornam-se contaminantes ambientais. O fósforo é geralmente o nutriente limitante nos ecossistemas de água doce - ou seja, é o elemento que controla a produtividade primária. Quando há aumento significativo desse elemento, ocorre um desequilíbrio que favorece o crescimento exponencial de organismos fotossintetizantes.

As cianobactérias, também conhecidas como algas azuis, são as mais favorecidas por essas condições. Elas apresentam alta eficiência na absorção de nutrientes e podem produzir toxinas prejudiciais à saúde humana e animal (Kochem; Crossetti; Barros, 2025). As toxinas produzidas pelas cianobactérias, como a microcistina, causam irritações cutâneas, danos hepáticos e até mortes de peixes e aves. Além disso, a presença dessas toxinas em mananciais utilizados para abastecimento público representa um risco à saúde coletiva.

Outro fator relevante é o aumento da temperatura da água associado às mudanças climáticas. Segundo Silva (2022), águas mais quentes tendem a reter menos oxigênio dissolvido e a acelerar a decomposição da matéria orgânica, intensificando

o ciclo da eutrofização. Assim, além de um problema local, a eutrofização é também um reflexo das crises climáticas globais, exigindo soluções integradas e sustentáveis.

Efeitos ecológicos e socioeconômicos

Os impactos da eutrofização ultrapassam as fronteiras ecológicas e afetam diretamente as atividades econômicas e sociais das comunidades. A mortandade de peixes compromete a pesca artesanal e comercial, reduzindo a renda de famílias que dependem desse recurso. A proliferação de algas também interfere no turismo e no lazer, uma vez que altera a aparência e o odor da água, tornando-a imprópria para o uso recreativo (Gomes *et al.*, 2022).

A nível ecológico, a redução do oxigênio dissolvido altera drasticamente a composição das comunidades aquáticas. Espécies sensíveis desaparecem, enquanto organismos mais resistentes à poluição — como algumas bactérias e vermes anaeróbios — passam a dominar. Essa perda de biodiversidade compromete a resiliência ecológica do sistema, isto é, sua capacidade de se recuperar de perturbações.

Do ponto de vista químico, as reações de decomposição consomem oxigênio e produzem dióxido de carbono e amônia, reduzindo o pH e alterando a qualidade da água. Esses processos geram o chamado “colapso trófico”, em que o corpo hídrico passa de um estado produtivo e equilibrado para um ambiente dominado por matéria orgânica em decomposição.

Estratégias de mitigação: enfoque biológico e sustentável

As estratégias para mitigar a eutrofização incluem abordagens mecânicas, químicas e biológicas. Os métodos mecânicos envolvem a remoção física das algas ou o controle do fluxo de nutrientes, mas costumam ter alto custo e baixa eficiência a longo prazo. Já as técnicas químicas, como o uso de coagulantes ou precipitantes de fósforo, podem causar efeitos colaterais indesejados e alterar o equilíbrio químico da água.

Por outro lado, os métodos biológicos, especialmente a biorremediação e a fitorremediação, oferecem alternativas mais sustentáveis e economicamente viáveis. A biorremediação baseia-se na utilização de organismos vivos - microrganismos, algas e plantas - para degradar ou remover poluentes do ambiente. Quando se utilizam plantas aquáticas, o processo é chamado de fitorremediação.

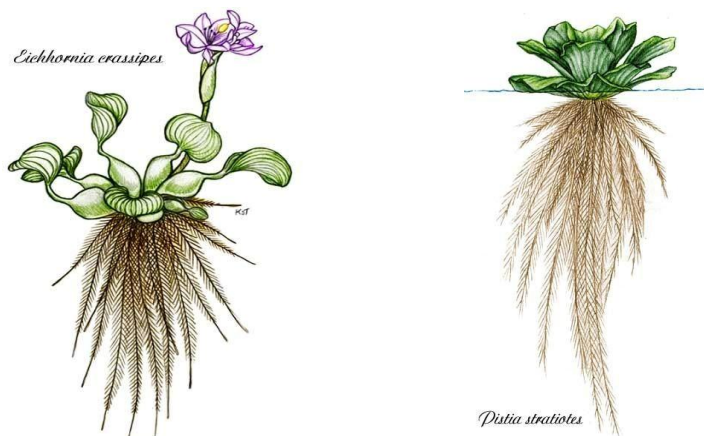
Espécies como o aguapé (*Eichhornia crassipes*) e a alface-d'água (*Pistia stratiotes*) são exemplos de macrófitas flutuantes capazes de absorver grandes quantidades

de nutrientes dissolvidos na água (Neves-Miranda, 2022). Essas plantas funcionam como filtros biológicos naturais: suas raízes longas aumentam a área de contato com a água, promovendo a absorção de compostos nitrogenados e fosfatados, além de reter partículas em suspensão.

Segundo Gomes *et al.* (2022), o aguapé é uma das espécies mais eficientes nesse processo, podendo remover até 60% do nitrogênio e 70% do fósforo presentes na água em poucas semanas. Contudo, a introdução dessas plantas deve ser controlada, pois o seu crescimento desordenado pode gerar novamente um excesso de biomassa, que ao se decompor, reativa o ciclo da eutrofização.

Além de reduzir nutrientes, as plantas aquáticas também atuam na estabilização térmica e no sombreamento da superfície da água, dificultando a fotossíntese de algas indesejadas. Em projetos experimentais, como o desenvolvido pelo nosso grupo, essas espécies são monitoradas quanto ao crescimento, aparência e capacidade de retenção de nutrientes, possibilitando determinar qual delas é mais eficiente sob determinadas condições ambientais.

Figura 01: Macrófitas aquáticas utilizadas no tratamento de efluentes



Fonte: KOVÁCS *et al.* (2008).

Relação com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

A eutrofização e suas estratégias de mitigação estão diretamente relacionadas a diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da *Agenda 2030* da ONU. O ODS 6 (“Água potável e saneamento”) busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água, o que envolve o controle da poluição hídrica. O ODS 13 (“Ação contra a mudança global do clima”) enfatiza a necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa, problema amplificado pela

eutrofização. E o ODS 14 (“Vida na água”) tem como meta conservar e utilizar de forma sustentável os oceanos, mares e recursos marinhos

Assim, o combate à eutrofização não é apenas uma questão ambiental, mas também social e ética, pois reflete o compromisso humano com a preservação da biodiversidade e o equilíbrio ecológico. Projetos escolares e acadêmicos, como o Tecnologias Sustentáveis proposto pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG), têm papel essencial nesse processo, ao promover a educação ambiental e incentivar o protagonismo juvenil na busca por soluções sustentáveis e acessíveis.

Procedimentos metodológicos

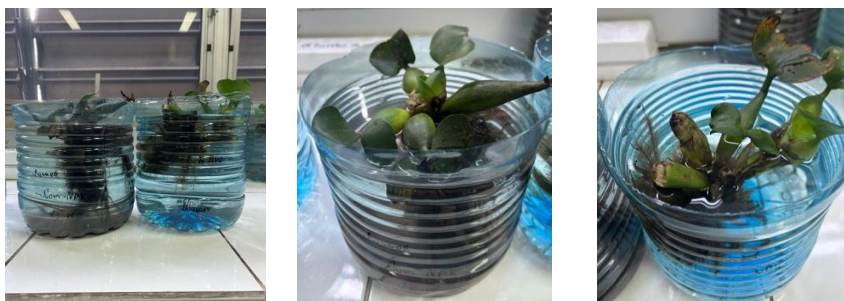
A lixiviação de fertilizantes do tipo NPK para o solo e para os corpos d’água constitui um dos principais fatores responsáveis pela eutrofização. Com o objetivo de mitigar esse processo, foram elaboradas propostas voltadas à aplicação de estratégias de biorremediação. Entre essas, destaca-se o uso de plantas aquáticas com potencial fitorremediador. No ambiente aquático, as macrófitas flutuantes *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes* L., conhecidas popularmente como Aguapé e Alface-d’água, apresentam elevada capacidade de absorção e acumulação de diversos poluentes em seus tecidos, além de favorecerem a decomposição de matéria orgânica adsorvida ao seu denso sistema radicular.

Com base nisso, propomos o controle das concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio em lagoas por meio do cultivo das macrófitas flutuantes *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* L. (alface-d’água), espécies com elevado potencial de fitorremediação em ambientes eutrofizados. Essas plantas utilizam diversos nutrientes para seu desenvolvimento, sendo os macronutrientes — como nitrogênio, fósforo e potássio — os mais solicitados. Por essa razão, os fertilizantes elaborados com diferentes proporções desses três elementos, nomeados fertilizantes NPK, são amplamente usados para suprir as necessidades de solos e plantas. Entretanto, o uso excessivo de fertilizantes nitrogenados pode alterar o ciclo do nitrogênio e causar impactos ambientais significativos, como a eutrofização. Assim, o presente trabalho busca demonstrar um método funcional de mitigação desse impacto por meio da utilização de macrófitas aquáticas com potencial fitorremediador.

Para a execução do experimento, foram utilizados seis galões de 10 litros, sendo dois destinados a cada espécie vegetal. Cada grupo foi submetido a diferentes condições de exposição, para representar distintos cenários de enriquecimento por nutrientes. O primeiro galão funcionou como controle, sem adição de plantas

nem de fertilizante NPK. O segundo recebeu apenas o NPK, sem plantas. O terceiro contou somente com a espécie *Eichhornia crassipes* (aguapé), sem adição de nutrientes. O quarto continha o aguapé em meio enriquecido com NPK (Figura 2). O quinto recebeu apenas a *Pistia stratiotes* L. (alface-d'água) (Figura 3), sem nutrientes. Por fim, o sexto galão reuniu a alface-d'água e o NPK. Essa organização experimental permitiu comparar a capacidade de absorção dos nutrientes por cada macrófita e, assim, identificar qual espécie apresentou maior desempenho na mitigação da eutrofização.

Figura 02: Registro fotográfico da *Eichhornia crassipes* no início do experimento, apresentando, respectivamente, as amostras conjuntas, com adição de NPK e sem adição de NPK



Fonte: as autoras (2025).

Figura 03: Registro fotográfico da *Pistia stratiotes* no início do experimento, apresentando, respectivamente, as amostras conjuntas, com adição de NPK e sem adição de NPK



Fonte: as autoras (2025).

Para assegurar a eficácia dos resultados e permitir uma análise comparativa adequada, foram estabelecidos dois tipos de controles experimentais: o negativo (sem plantas) e o positivo (com plantas). O controle negativo permite a comparação entre os parâmetros estabelecidos no projeto, pois demonstra a condição inicial da água sem nutrientes e a condição com adição de NPK, possibilitando observar eventuais alterações, como modificações de coloração ao longo do tempo. Já o controle positivo é essencial para avaliar a eficiência da fitorremediação,

permitindo comparar o desempenho das espécies vegetais na mitigação da eutrofização. Além disso, possibilita analisar aspectos morfológicos das plantas, como mudanças na coloração e textura, que podem indicar variações na absorção de nutrientes ou estresse fisiológico. Dessa forma, evidencia-se a importância da utilização de controles experimentais, que garantem maior precisão e confiabilidade aos resultados da pesquisa (Figura 4).

Figura 04: Galões controle, contendo apenas água, no início do experimento, apresentando, respectivamente, as condições conjuntas, com adição de NPK e sem adição de NPK



Fonte: as autoras (2025).

Os galões de material plástico PET (Politereftalato de Etileno) foram colocados em um laboratório no ambiente escolar, onde recebiam luz solar por um curto período do dia. Com o objetivo de otimizar o desenvolvimento das plantas e a eficiência do experimento, após duas a três semanas, o conjunto foi transferido para a área externa da escola, onde havia maior incidência de luz solar diária. Nos galões destinados à adição de nutrientes, foi incorporada uma dose de 50 g de fertilizante NPK para 6 L de água, resultando em uma concentração de aproximadamente 8,33 g/L. Essa quantidade foi definida de modo a garantir uma concentração adequada, evitando tanto a deficiência quanto a saturação de nutrientes no meio. Cada galão continha 6 L de água mineral natural, e, nos recipientes com vegetais, foi inserido um exemplar por galão – totalizando duas plantas de cada espécie. As macrófitas foram cuidadosamente posicionadas, assegurando um plantio adequado e condições ótimas de tratamento (Figura 5).

Figura 05: Registro fotográfico dos galões no início do experimento



Fonte: as autoras (2025).

A observação das macrófitas foi realizada por um período de aproximadamente quatro semanas, com monitoramento efetuado duas vezes por semana, sempre às terças-feiras e sextas-feiras. Durante o acompanhamento, foram feitas análises visuais para verificar a presença de algas e ovos de insetos, quando observados, esses organismos eram removidos com o auxílio de uma peneira pequena e descartados de forma adequada. Para aprimorar a qualidade dos resultados, seria ideal a medição do pH da água por meio de papel tornassol, uma vez que esse parâmetro auxilia na estimativa da concentração de determinados componentes e na identificação de possíveis alterações químicas no ambiente aquático. No entanto, essa análise não foi realizada durante o presente experimento.

A turbidez da água foi avaliada de forma descritiva, classificando-a em três categorias: turva, levemente turva ou bastante turva. Além disso, foram registrados quaisquer indícios de alterações na aparência das plantas, como variações de cor, crescimento ou sinais de deterioração. Para uma análise mais completa, seria recomendável a medição da concentração de nitrogênio na água por meio de métodos analíticos laboratoriais, como o uso de espectrofotômetro ou por titulação, o que permitiria complementar a avaliação da eficiência de cada espécie vegetal na absorção de nutrientes. Contudo, esse procedimento não foi realizado na presente pesquisa. Por fim, o experimento foi conduzido em ambiente controlado, de modo a minimizar a influência de fatores externos que pudessem interferir nos resultados obtidos.

Os dados obtidos em cada dia de monitoramento foram registrados em um breve relatório descritivo das observações realizadas e imagens correspondentes aos galões. Ao término do experimento, as plantas utilizadas foram armazenadas em sacos plásticos e descartadas no lixo comum. Ressalta-se que plantas aquáticas, especialmente as utilizadas em aquários, jamais devem ser introduzidas em

corpos d'água naturais, como rios ou lagos, pois podem tornar-se espécies invasoras e causar sérios desequilíbrios ecológicos. Assim, o descarte adequado é parte essencial do procedimento experimental, visto que o manejo incorreto dos resíduos vegetais pode gerar impactos ambientais negativos e consequências a longo prazo.

É importante reconhecer que esta pesquisa constitui uma simulação em pequena escala, e que fatores externos, como luz solar, precipitação, presença de fauna e correntes de água, podem influenciar significativamente os resultados em ambientes reais. Dessa forma, os dados obtidos não devem ser considerados de forma isolada. Para garantir maior precisão e confiabilidade na análise, foram consultadas e analisadas diversas pesquisas científicas já publicadas, que abordam metodologias semelhantes e resultados complementares. Essa revisão comparativa permitiu validar os procedimentos adotados e reforçar a eficácia do método proposto, tornando-o mais consistente e aplicável em ambientes naturais que demandam tratamento e recuperação.

Resultados e discussão

A pesquisa foi conduzida em um dos laboratórios do CEFET-MG Campus Timóteo, mediante a autorização da coordenadora responsável por este setor. O ambiente foi escolhido por, em teoria, apresentar condições adequadas para o desenvolvimento das plantas e o acompanhamento sistemático das etapas do experimento. Entretanto, ao longo das semanas, foram identificadas algumas limitações que interferiram diretamente no desenvolvimento das macrófitas.

As principais dificuldades enfrentadas pelo grupo decorreram da procedência incerta das plantas — conforme apontada por críticas de clientes do estabelecimento onde foram adquiridas — bem como a ausência de luz solar em alguns períodos do dia. Este último sendo um fator essencial para a fotossíntese das plantas, que começaram a perder gradualmente a coloração característica de suas folhas e demonstrar sinais de enfraquecimento. Após um deterioramento quase completo da vegetação, foram transferidas para uma região onde havia predominância solar. No entanto, mesmo com a mudança do local, as plantas não resistiram para a conclusão do experimento.

Entretanto, após a morte das macrófitas, foi possível observar indícios de atividade fitorremediadora, uma vez que a turbidez da água apresentou variações significativas em comparação ao galão contendo apenas NPK, sem a presença de plantas. Nesse galão, a água adquiriu coloração esverdeada, indicando possível proliferação de algas. Essa diferença sugere que, mesmo em processo de

deterioração, as plantas continuam absorvendo parte dos nutrientes presentes na água. Assim, é possível inferir que *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* L. (alface-d'água) possuem elevado potencial fitorremediador, o que reforça a importância de estudos mais amplos e controlados para determinar com maior precisão sua eficiência na mitigação da eutrofização.

O experimento foi conduzido conforme descrito nos procedimentos metodológicos, assegurando a padronização das etapas e o registro dos dados observados, como a turbidez da água e as alterações morfológicas das plantas. No entanto, a análise da turbidez da água não pôde ser realizada com total precisão devido à deterioração das macrófitas, o que dificultou a avaliação desse parâmetro. Ainda assim, algumas variações foram registradas, especialmente no galão contendo apenas NPK, onde observou maior turbidez e coloração esverdeada da água. Em contrapartida , a análise morfológica das plantas foi analisada de forma coerente ao longo do experimento, evidenciando a perda gradual de coloração e vigor até a completa deterioração das espécies utilizadas.

Tabela 01: Condições morfológicas das macrófitas ao longo das semanas

Sem.	Aguapé	Aguapé + NPK	Alface-d'água	Alface-d'água + NPK
01	Condição intermediária; coloração esverdeada; presença de leves lesões foliares.	Condição intermediária; coloração esverdeada uniforme.	Condição intermediária; coloração esverdeada; folhas com danos visíveis.	Condição intermediária; coloração esverdeada; folhagem danificada.
02	Coloração predominantemente esverdeada, com lesões pontuais.	Coloração esverdeada com manchas amareladas.	Coloração esverdeada estável; estrutura preservada.	Início de decomposição; surgimento de manchas esbranquiçadas.
03	Coloração verde-amarelada; sinais iniciais de deterioração.	Coloração amarelada com tons amarronzados; tecido em decomposição avançada.	Coloração esbranquiçada com pequenas manchas amareladas.	Decomposição acentuada; estrutura foliar comprometida.
04	Predomínio de manchas amarelas e marrons; estrutura ainda preservada.	Coloração majoritariamente marrom com manchas amareladas; tecido decomposto e desintegrado.	Coloração amarelada com manchas marrons; lâminas foliares fragilizadas.	Totalmente decomposta; perda completa da estrutura e do formato original.

Fonte: as autoras (2025).

Apesar da morte das plantas, o estudo proporcionou aprendizados para o grupo que, nem sempre os experimentos científicos irão apresentar resultados positivos, mas que cada etapa contribui para a melhoria de pesquisas futuras.

Entretanto, não finalizamos a pesquisa com resultados incompletos. Para uma maior utilidade e confiabilidade dos dados obtidos, foram realizadas diversas consultas em artigos científicos de grande relevância, com o objetivo de comprovar e comparar os resultados do experimento.

Em termos de eficiência geral, é possível concluir que *Eichhornia crassipes* (aguapé) é frequentemente considerada superior a *Pistia stratiotes* (alface-d'água), pois apresenta uma capacidade de crescimento extremamente elevada, o que permite a remoção de maiores concentrações de nitrogênio, fósforo e potássio. Contudo, a alface-d'água também se mostrou uma alternativa altamente eficaz, especialmente em ambientes menores, nos quais o crescimento excessivo do aguapé pode se tornar um problema.

Pesquisas apontam que, para ambientes amplos e experimentos de larga escala, o aguapé tende a ser mais eficiente devido à sua alta taxa de reprodução, o que aumenta significativamente sua biomassa e, consequentemente, sua capacidade de absorção de nutrientes. Por outro lado, em ambientes menores ou experimentos de pequena escala, tanto o aguapé quanto a alface-d'água podem ser utilizados de forma eficaz; entretanto, a *Pistia stratiotes* apresenta ligeira vantagem, uma vez que seu crescimento mais controlado evita a superlotação do ambiente e proporciona uma absorção de nutrientes mais equilibrada.

Além disso, de acordo com a análise realizada por Amorim (2019), a macrófita *Pistia stratiotes* apresenta um consumo elevado de nitrogênio, sendo que a maior disponibilidade desse nutriente promove o aumento do número de indivíduos. Assim, o nitrogênio não atua como um fator limitante, o que indica que a alface-d'água pode ser mais eficiente na absorção desse elemento em determinadas condições ambientais.

Dessa forma, é fundamental que sejam conduzidas pesquisas prévias no local onde se pretende realizar a fitorremediação, de modo que a escolha das macrófitas seja adequada às características do ambiente. Essa etapa é essencial para garantir maior eficiência no tratamento da água e evitar problemas futuros ou impactos indesejados. Por fim, destaca-se a importância da realização de estudos aprofundados e planejados, a fim de comprovar que ambientes aquáticos podem ser tratados por meio de processos naturais, utilizando macrófitas como *Eichhornia crassipes* e *Pistia stratiotes*.

Considerações finais

O estudo sobre a eutrofização e suas possíveis formas de mitigação por meio da fitorremediação evidenciou a relevância de abordagens sustentáveis no

tratamento da poluição hídrica. A partir da análise experimental com as espécies *Eichhornia crassipes* (aguapé) e *Pistia stratiotes* (alface-d'água), foi possível compreender, mesmo com limitações, o potencial dessas macrófitas na absorção de nutrientes excedentes, como nitrogênio e fósforo — principais responsáveis pelo desequilíbrio ecológico dos corpos d'água. Foi compreendido que ambas as plantas são eficazes, porém mudam seu desempenho dependendo do ambiente e das condições propostas.

Ainda que o experimento tenha enfrentado desafios, como a deterioração das plantas e a dificuldade em manter condições ideais de luz e nutrientes, os resultados obtidos e as pesquisas complementares consultadas reforçam a viabilidade do uso de métodos biológicos para o controle da eutrofização. A tecnologia de tratamento de água poluída por meio de plantas aquáticas é, portanto, relativamente simples e barata, além de ser eficaz e ambientalmente correta, que alia ciência, sustentabilidade e consciência ecológica, todavia requer pesquisa de adaptação às condições locais.

Em síntese, a experiência permitiu concluir que é possível enfrentar problemas ambientais complexos com soluções naturais e acessíveis, desde que acompanhadas de planejamento e pesquisa.

Referências

AMARAL, M.C.E.; BITTRICH, V. Lagunhos. *Mini-ecossistemas para escolas e jardins*. Ribeirão Preto: Ed. Holos, 2002.

EMBRAPA. [*Potencial de uso de plantas aquáticas na despoluição da água*](#). Campo Grande, MS: Embrapa Gado de Corte, 2002. Acesso em: 17 out. 2025.

ESTEVES, F. A. Fundamentos de limnologia. *Interciência*, Rio de Janeiro, 1988.

ESTEVES, F. A.; CAMARGO, A. F. Sobre o papel das macrófitas aquáticas na estocagem e ciclagem dos nutrientes. *Acta Limnologica Brasileira*, São Paulo, v.1, p. 273-298, 1986.

GOMES, Aline da Conceição *et al.* [*Efeito da sazonalidade hídrica sobre a fitossociologia de macrófitas aquáticas em uma lagoa no Pantanal, Brasil*](#). *Revista de Biologia Neotropical*, [S. l.], v. 1, n. 1, p. 1-10, 2022. Acesso em: 27 jun. 2025.

KOCHEM, Luce Helena *et al.* [*Compreendendo a eutrofização de uma lagoa costeira rasa subtropical pelo monitoramento de parâmetros hídricos*](#). *Revista Brasileira de Meio Ambiente*, [S. l.], v. 13, n. 1, p. 1-15, 2025. Acesso em: 27 jun. 2025.

KOVÁCS, E. *et al.* [Potential of Pistia stratiotes and Eichhornia crassipes in Rhizofiltration](#). *Environmental Science, Biology*. 2008. Acesso em: 07 nov. 2025.

NEVES-MIRANDA, Marcela Aparecida Campos. [Medidas de mitigação para controle e manejo das florações de cianobactérias em um sistema raso tropical](#). Tese (Doutorado em Ecologia) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2022. Acesso em: 27 jun. 2025.

OLIVEIRA, Carmem Sara Pinheiro de *et al.* [Reflexões sobre o desafio ambiental: níveis de eutrofização e florações de cianobactérias na Bacia Apodi-Mossoró](#). *Revista Ibero-americana de Ciências Ambientais*, [S. l.], v. 11, n. 5, p. 519–530, 2020. Acesso em: 27 jun. 2025.

PICKLER, Nilson. [O que é Biorremediação](#). *Ambflex*, 2023. Acesso em: 19 jul. 2025.

[Poluição da água: o que é, causas, fontes e tipos](#). *Weber Ambiental*, 2025. Acesso em: 17 out. 2025.

POTT, Vali Joana; POTT, Arnildo. Checklist das macrófitas aquáticas do Pantanal. *Acta Botanica Brasílica*, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 215-227, 1997.

SILVA, Luana dos Santos Rodrigues *et al.* [Processo de eutrofização e acidificação em uma laguna subtropical: Lagoa da Conceição em Florianópolis, SC](#). Relatório Técnico UFSC, Florianópolis, v. 1, n. 1, p. 1–20, 2022. Acesso em: 27 jun. 2025.

SMITH, V. H.; TILMAN, G. D.; NEKOLA, J. C. [Eutrophication: impacts of excess nutrient inputs on freshwater, marine, and terrestrial ecosystems](#). *Environmental Pollution*, v. 100, n. 1–3, p. 179–196, 1999. Acesso em: 18 out. 2025.

Capítulo 3

Wetlands: tratamento hídrico sustentável

Luiz Felipe da Silva Morais; Miguel da Silva Ribeiro; Nicolas Oliveira Santos; Paulo Enrick Oliveira Alves; Samuel Freitas Valadares da Silva.

Prof.^a Rafaela F. Marques (orientadora); Karoline Gonçalves de Paula (coorientadora).

Resumo: O capítulo apresenta o uso de wetlands construídos como alternativa sustentável para o tratamento de águas residuais, motivado pela poluição do ribeirão Caladão, em Coronel Fabriciano (MG), causada pelo despejo de esgoto doméstico sem tratamento. Esses sistemas artificiais imitam áreas alagadas naturais e promovem a purificação da água por meio da ação combinada de substratos filtrantes, microrganismos e plantas aquáticas. O experimento utilizou o junco (*Juncus effusus*), planta eficiente na absorção de nutrientes e metais, montado em uma caixa com camadas de cascalho, areia, carvão ativado e algodão para filtração complementar. Testes microbiológicos e análises de turbidez indicaram melhora significativa no aspecto físico e no odor da água, embora a redução da carga bacteriana tenha sido limitada devido ao curto tempo de operação. O estudo concluiu que o sistema foi eficaz na melhoria física e química da água, mas requer ajustes para aprimorar o controle microbiológico. Destaca-se o potencial do método como solução de baixo custo e ecológica para comunidades carentes, além de seu valor educativo ao estimular a conscientização ambiental e demonstrar a integração entre ciência, sustentabilidade e preservação dos recursos hídricos.

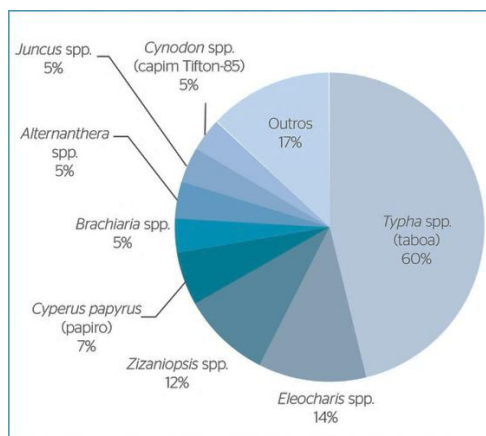
Palavras-chave: *Juncus effusus*; água residuária; wetlands; biofiltros naturais; sustentabilidade.

A poluição dos recursos hídricos é um dos problemas ambientais mais preocupantes enfrentados atualmente, especialmente em áreas urbanas que não possuem um sistema eficiente de tratamento de esgoto. Esse cenário é claramente observado no município de Coronel Fabriciano, em Minas Gerais, onde o ribeirão Caladão vem sendo constantemente afetado pelo despejo de esgoto não tratado. Esse problema gera uma série de consequências, como o mau cheiro, a proliferação de pragas e o risco de transmissão de doenças, além de contribuir para o processo de eutrofização, no qual o acúmulo de nutrientes em excesso favorece o crescimento descontrolado de algas e microrganismos, reduzindo o oxigênio da água e comprometendo todo o ecossistema aquático.

Diante dessa realidade, torna-se indispensável o desenvolvimento de alternativas sustentáveis que sejam capazes de tratar a água de forma eficiente, acessível e ecologicamente correta.

Uma das soluções estudadas é o uso dos chamados wetlands construídos, sistemas artificiais inspirados em ambientes naturais alagados que realizam a purificação da água por meio da interação entre substratos filtrantes, microrganismos e plantas aquáticas. Esses sistemas reproduzem os processos biológicos de purificação que ocorrem em ecossistemas naturais e se destacam por sua eficácia, baixo custo e simplicidade de manutenção, apresentando-se como uma tecnologia sustentável e de fácil adaptação para diferentes contextos. No projeto desenvolvido, o wetland construído foi escolhido como alternativa viável para o tratamento de águas residuais e a mitigação dos impactos causados pela poluição do ribeirão Caladão, utilizando a planta junco (*Juncus effusus*) como agente principal de filtração e absorção de compostos orgânicos. Essa espécie foi selecionada devido à sua resistência, rápida adaptação a ambientes alagados e alta capacidade de absorver nutrientes e metais pesados presentes na água contaminada.

Gráfico 01: Plantas mais utilizadas em wetlands. O *Juncus effusus* está em “Outros”



Fonte: Sezerino *et al.* (2015).

O projeto foi inspirado na vivência dos próprios integrantes do grupo, que convivem diariamente com os problemas ambientais causados pelo esgoto a céu aberto. Assim, desenvolvemos um experimento em pequena escala, simulando o funcionamento de um wetland construído dentro de uma caixa de plástico. O sistema foi composto por camadas de cascalho, areia e carvão ativado, sobre as quais foram plantados os juncos responsáveis pela purificação da água. A água utilizada para os testes foi coletada do próprio ribeirão Caladão, possibilitando uma análise realista da eficiência do método. Durante o processo, foram observados parâmetros como turbidez, e presença de

microrganismos patogênicos, especialmente bactérias fecais, com o objetivo de avaliar o nível de melhoria na qualidade da água após o tratamento.

A partir dessa proposta, o projeto buscou responder à seguinte pergunta de pesquisa: é possível utilizar wetlands construídos com a planta *Juncus effusus* como uma solução sustentável e eficaz para o tratamento de águas residuais e o combate à eutrofização? Com base nessa questão, o estudo teve como objetivo principal analisar a eficiência desse tipo de sistema no tratamento de águas residuais de forma sustentável, contribuindo para a redução da poluição e a recuperação de corpos d'água urbanos. Entre os objetivos específicos, destacam-se investigar a capacidade do junco em absorver nutrientes e compostos orgânicos presentes na água contaminada, avaliar a diminuição da turbidez e da presença de microrganismos após a filtragem e comprovar a viabilidade do uso de wetlands como uma alternativa acessível, ecológica e de baixo custo para o saneamento básico.

Dessa forma, a pesquisa buscou demonstrar que o uso de wetlands construídos representa uma importante ferramenta no combate à poluição hídrica, unindo tecnologia e sustentabilidade em prol da preservação ambiental. Além de apresentar resultados científicos relevantes, o projeto também reforça a importância da conscientização ambiental e da adoção de soluções simples e eficientes que possam ser aplicadas em comunidades afetadas pela falta de saneamento, contribuindo para um futuro mais equilibrado e saudável para todos.

Fundamentação conceitual

Os wetlands construídos são sistemas artificiais desenvolvidos para reproduzir os processos naturais de depuração da água que ocorrem em ecossistemas alagados, como brejos, pântanos e margens de rios. Nesses ambientes, a interação entre o solo, os microrganismos e as plantas aquáticas promovem a remoção de poluentes de forma eficiente e sustentável. Inspirados nesse funcionamento, os wetlands construídos aplicam os mesmos princípios biológicos e físico-químicos para tratar águas residuais domésticas, industriais ou agrícolas, reduzindo significativamente a carga poluidora antes de seu retorno ao meio ambiente.

Esses sistemas funcionam como biofiltros naturais, nos quais a água contaminada flui através de camadas de substratos filtrantes geralmente compostos por brita, areia e matéria orgânica que servem de suporte para o desenvolvimento de microrganismos. Durante o percurso, ocorre a retenção física de partículas sólidas, seguida por processos biológicos e químicos de degradação e absorção de compostos orgânicos, nutrientes e metais pesados. As plantas aquáticas desempenham papel essencial nesse processo, pois suas raízes favorecem a oxigenação do substrato e fornecem habitat para microrganismos benéficos, além de absorverem diretamente parte dos poluentes.

De acordo com Sezerino *et al.* (2015), a eficiência dos wetlands construídos depende da escolha adequada dos materiais filtrantes e das espécies vegetais utilizadas. Dentre as diferentes configurações possíveis, destacam-se os sistemas de escoamento subsuperficial horizontal, que permitem a passagem lenta da água sob a superfície do substrato, garantindo maior contato com os microrganismos e evitando odores desagradáveis. Esse modelo foi o adotado no presente projeto por sua simplicidade, baixo custo de manutenção e alta taxa de remoção de poluentes.

No sistema proposto, a espécie vegetal escolhida foi o junco (*Juncus effusus*), uma planta aquática amplamente utilizada em estudos de fitorremediação, devido à sua resistência e capacidade de adaptação a ambientes alagados. Segundo Yu *et al.* (2025), o junco apresenta taxa de remoção de poluentes superior a 80%, mostrando-se eficiente na absorção de nutrientes como nitrogênio e fósforo, além de compostos orgânicos e metais presentes em efluentes. Essa característica o torna ideal para o tratamento de águas residuais e para o combate à eutrofização, processo em que o excesso de nutrientes desequilibra ecossistemas aquáticos.

Além disso, os wetlands construídos representam uma solução sustentável e descentralizada para o saneamento, especialmente em comunidades que não possuem infraestrutura adequada de tratamento de esgoto. Sua operação não requer energia elétrica constante, possui baixo custo de implantação e utiliza recursos naturais disponíveis, como plantas e materiais filtrantes de fácil acesso. Souza *et al.* (2010) destacam que essa tecnologia, quando bem dimensionada, pode atingir altos níveis de eficiência, com a vantagem de demandar menos manutenção e gerar benefícios ecológicos adicionais, como a criação de habitats e a valorização paisagística.

Assim, a fundamentação teórica deste capítulo evidencia que os wetlands construídos constituem uma alternativa promissora e sustentável para o tratamento de águas residuais. A combinação entre processos naturais e princípios da engenharia ambiental permite não apenas a redução da poluição, mas também a recuperação de ecossistemas degradados, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e para a melhoria da qualidade de vida das comunidades envolvidas.

Procedimentos metodológicos

Para avaliar a eficiência do sistema proposto de wetland construído no tratamento de águas residuais, foi desenvolvido um experimento em pequena escala que simula o funcionamento de um filtro ecológico natural. A montagem foi realizada dentro de uma caixa plástica transparente, utilizada como reservatório principal, permitindo a observação visual de todas as etapas do processo de filtração. O modelo foi construído com materiais de fácil acesso e baixo custo, reforçando o caráter sustentável e reprodutível da proposta.

A estrutura do filtro principal foi composta por quatro camadas distintas, dispostas de forma a favorecer a drenagem, a retenção de partículas e a absorção de compostos químicos. A primeira camada, posicionada na base da caixa, foi formada por cascalho, responsável por permitir o escoamento da água e dar sustentação às demais camadas. Sobre o cascalho, adicionou-se uma segunda camada de areia grossa, destinada à filtração física e à retenção de partículas menores. A terceira camada foi composta por carvão ativado, que tem a função de eliminar odores, absorver compostos orgânicos e auxiliar na clarificação da água. Por fim, a camada superior recebeu a planta aquática *Juncus effusus* (junco), escolhida por sua eficiência na absorção de nutrientes e matéria orgânica, bem como pela capacidade de adaptação a ambientes alagados. As raízes foram cuidadosamente posicionadas para manter contato direto com o substrato filtrante e otimizar o processo de purificação.

A água contaminada, coletada em diferentes pontos do ribeirão Caladão, no município de Coronel Fabriciano (MG), totalizou aproximadamente 21 litros. Desse volume, 4 litros foram utilizados no experimento, sendo cerca de 1,7 litro efetivamente filtrado pelo sistema. O procedimento consistiu em introduzir lentamente a água na superfície do filtro, por meio de um funil acoplado a uma mangueira, de modo a simular o fluxo natural de um sistema de wetland. Após atravessar as camadas filtrantes e o sistema radicular da planta, a água tratada foi coletada pela saída inferior do recipiente, possibilitando a análise de sua eficiência no processo de purificação.

Para aprimorar o processo e facilitar a manutenção, foi adicionado um segundo estágio de filtração, instalado em um recipiente separado, composto apenas por algodão. Essa etapa, denominada filtro de polimento, recebeu a água proveniente do wetland principal, com o objetivo de reter partículas mais finas e remover resíduos em suspensão que eventualmente escapassem do filtro biológico. Essa disposição independente do algodão também permitiu facilidade de substituição e manutenção periódica, evitando o entupimento do sistema principal e garantindo maior eficiência ao longo do tempo.

Outra etapa da pesquisa foi realizada a verificação da pureza e da qualidade microbiológica da água, tanto antes quanto depois do processo de filtração. As análises foram conduzidas utilizando vidrarias esterilizadas, placas de Petri contendo meio de cultura de ágar nutriente. Aplicou-se a técnica de diluição seriada, com diluições sucessivas da água residuária bruta e da água filtrada até a concentração de 10^{-5} , para cultivo bacteriano e comparação do crescimento microbiano. Essa etapa permitiu quantificar a redução da carga bacteriana e avaliar a eficiência do sistema, especialmente quanto à retenção de microrganismos patogênicos.

Além das análises microbiológicas, foram observados parâmetros visuais e físico-químicos, como turbidez e odor, comparando os resultados obtidos entre as diferentes etapas de filtração. Os testes foram repetidos em diferentes dias e com amostras coletadas em pontos semelhantes do ribeirão Caladão, assegurando a

representatividade dos dados obtidos. Todo o processo desde a montagem dos filtros até as análises laboratoriais foi registrado por meio de fotografias e anotações detalhadas, permitindo a documentação completa do experimento. Assim, os procedimentos metodológicos adotados neste projeto possibilitam reproduzir, em escala reduzida, o funcionamento de um wetland construído associado a um sistema de polimento em algodão. Essa combinação permitiu observar de forma prática e controlada os processos de purificação da água, a retenção de impurezas e a redução de microrganismos, demonstrando a viabilidade e a sustentabilidade dessa tecnologia no tratamento de águas residuais urbanas.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos a partir do experimento com o sistema de wetland construído demonstraram diferenças significativas entre as amostras analisadas, tanto em aspectos visuais quanto sensoriais e microbiológicos. A amostra de água não filtrada, coletada diretamente do ribeirão Caladão, apresentou um número incontável de colônias bacterianas em todas as diluições seriadas, além de odor intenso e desagradável e alta turbidez, evidenciando a elevada carga orgânica e microbiana presente. Esse comportamento é compatível com corpos hídricos impactados por descargas de efluentes domésticos e urbanos, onde há abundância de matéria orgânica em decomposição e presença de microrganismos patogênicos.

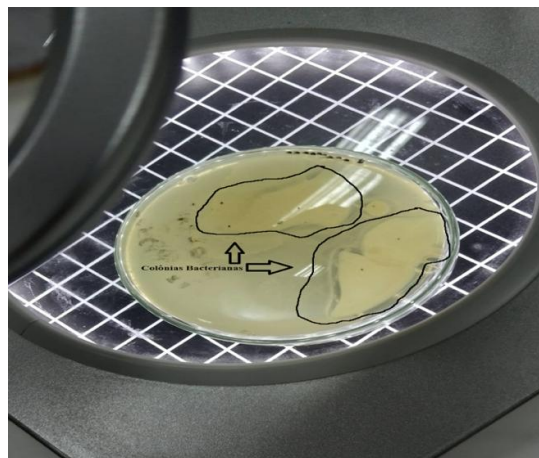
O aspecto visual da amostra inicial era marcadamente turvo, com coloração amarelada e odor característico de matéria orgânica deteriorada. A formação abundante de colônias em meio de cultura, mesmo nas diluições mais elevadas, indicou que a água estava fortemente contaminada, reforçando a necessidade de um processo de tratamento capaz de reduzir tanto a carga bacteriana quanto os compostos orgânicos dissolvidos.

Figura 01: Amostra antes da filtragem, demonstrando o número incontável de colônias bacterianas, o mínimo contado dentre todas as amostras foi de 200 colônias



Fonte: os autores (2025).

Figura 02: Amostra após a filtragem, com duas colônias bacterianas incontáveis



Fonte: os autores (2025).

Em contraste, a amostra de água que passou pelo processo de filtragem no sistema de wetland apresentou melhorias notáveis em alguns parâmetros qualitativos. Embora o número de colônias bacterianas ainda tenha permanecido incontável nas diluições seriadas, foi possível observar redução significativa da turbidez e eliminação quase completa do mau cheiro. A água filtrada tornou-se visivelmente mais clara, sugerindo que o sistema foi eficaz na retenção de partículas suspensas e na remoção parcial de compostos responsáveis pelos odores.

Essas mudanças indicam que o sistema filtrante exerceu influência positiva na qualidade física e química da água. O carvão ativado, presente em uma das camadas do filtro, contribuiu para a adsorção de substâncias orgânicas voláteis, responsáveis pelos odores, enquanto a camada de areia e cascalho atuou na retenção mecânica de partículas sólidas, reduzindo a turbidez. Além disso, o sistema radicular da planta *Juncus effusus* pode ter desempenhado papel importante na oxigenação do meio filtrante e na degradação parcial de matéria orgânica, por meio de processos biológicos associados à rizosfera.

Durante as discussões em grupo, foi levantada a hipótese de que o tempo de exposição de 24 horas teria obtido melhores resultados para permitir que os mecanismos biológicos do sistema se estabelecessem plenamente. Sistemas de wetlands naturais ou artificiais geralmente demandam períodos prolongados de operação, variando de dias a semanas, para que haja interação efetiva entre microrganismos, substrato e plantas. É provável, portanto, que um tempo de

retenção mais longo permitisse uma redução mais expressiva da carga bacteriana, complementando os resultados observados nas propriedades organolépticas.

Além disso, observou-se que o volume total de água processado (aproximadamente 1,7 litro filtrado de um total de 4 litros utilizados) pode ter influenciado a eficiência do sistema. O fluxo reduzido permitiu que a água passasse lentamente pelas camadas filtrantes, favorecendo a sedimentação de partículas e a absorção de compostos, mas o baixo tempo de contato entre a água e as raízes da planta limitou o desempenho biológico esperado.

De modo geral, os resultados obtidos permitem concluir que o sistema de wetland apresentou eficiência parcial, atuando de maneira significativa na melhoria dos parâmetros sensoriais principalmente odor e turbidez, ainda que sem impacto relevante na redução microbiana. Esses achados corroboram estudos prévios que apontam os wetlands como alternativas promissoras para o tratamento descentralizado de efluentes, especialmente quando se busca soluções ecológicas, de baixo custo e fácil manutenção.

Assim, o experimento evidencia o potencial dessa tecnologia como ferramenta didática e ambiental, ao mesmo tempo em que destaca a importância de ajustes metodológicos, como o aumento do tempo de permanência da água no sistema, o aprimoramento das camadas filtrantes e o controle mais rigoroso de variáveis físico-químicas, para alcançar resultados mais satisfatórios em termos de purificação e descontaminação microbiológica.

Considerações finais

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o sistema de wetland construído apresentou eficiência parcial no tratamento da água contaminada, promovendo melhorias significativas em aspectos visuais e sensoriais, como a redução de turbidez e a eliminação do odor desagradável. Esses resultados indicam que o filtro ecológico, mesmo em um período relativamente curto de operação, foi capaz de iniciar processos de depuração física e química, demonstrando seu potencial como alternativa sustentável e de baixo impacto ambiental para o tratamento de águas residuais.

Entretanto, a manutenção de um número elevado de colônias bacterianas nas amostras filtradas evidencia que o sistema não foi suficiente para reduzir de forma expressiva a carga microbiológica da água. Essa limitação pode estar associada a fatores como o curto tempo de permanência da água no sistema, o volume reduzido filtrado e a necessidade de maior maturação biológica do meio filtrante. Estudos anteriores indicam que wetlands artificiais ou naturais geralmente

requerem períodos prolongados de operação e otimização das camadas filtrantes para que a ação combinada de processos físicos, químicos e biológicos atinja resultados mais consistentes na purificação microbiana.

Outro ponto relevante refere-se à utilização da planta *Juncus effusus*, que desempenha papel importante na manutenção da qualidade da água, atuando na oxigenação do substrato, na absorção de nutrientes e na facilitação da degradação de matéria orgânica. A adaptação do sistema às condições de fluxo, tempo de retenção e densidade de plantas filtrantes constitui um fator determinante para o sucesso do processo, especialmente em contextos de maior volume de efluentes.

Portanto, este experimento demonstra que os sistemas de wetland possuem grande potencial como ferramenta ecológica para o tratamento de águas residuais, podendo contribuir significativamente com práticas de saneamento ambiental, gestão de recursos hídricos e promoção da saúde pública. Para maximizar sua eficiência, recomenda-se a realização de estudos complementares que considerem tempos de retenção mais longos, incremento no volume de água tratado, maior densidade de plantas e monitoramento contínuo de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

Em síntese, o trabalho evidencia que os wetlands representam uma solução viável e sustentável, que alia benefícios ambientais e educacionais, oferecendo um caminho promissor para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento de água de baixo custo e com reduzido impacto ecológico. Com ajustes operacionais e planejamento adequado, esses sistemas podem se tornar estratégias eficazes na melhoria da qualidade da água e na mitigação de riscos associados à contaminação hídrica.

Referências

SEZERINO, Pablo Heleno *et al.* [Experiências brasileiras com wetlands construídos aplicados ao tratamento de águas residuárias: parâmetros de projeto para sistemas horizontais](#). *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v. 20, n. 1, p. 151–158, jan. 2015. Acesso em: 18 out. 2025.

SILVA JÚNIOR, Édio Damásio da. [Wetlands construídas](#). [S. l.]: 2022. 1 vídeo (63 min). Acesso em: 18 out. 2025.

SOUZA, J. B. de *et al.* [Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura](#). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 119–132, 2010. Acesso em: 18 out. 2025.

YU, Lei *et al.* [Phytoremediation of micropollutants by *Phragmites australis*, *Typha angustifolia*, and *Juncus effusus*](#). *National Library Of Medicine*. Acesso em: 18 out. 2025.

Capítulo 4

Jaguaraçu Resiliente: um alerta urbano e ambiental a partir da realidade de um município afetado por inundações

Erick Franco Pessoa; Gabriel Barbosa Ribeiro; Lucas Valentim Santos; Miguel Passos Martins; Pedro Carvalho Luppi.

Prof. Romerito Valeriano (orientador); Pedro Henrique Silva (orientador); Luiz Henrique Santos Dias (coorientador).

Resumo: A inundação é um fato recorrente na região de Jaguaraçu (MG) principalmente na estação do verão. Nos últimos anos, tais eventos ganharam notoriedade na mídia. Reportagens de jornais regionais apontam consequências para a população afetada, como insegurança e perdas patrimoniais. Baseado neste quadro, o presente trabalho visa investigar quais as regiões de Jaguaraçu são afetadas recorrentemente pela inundação e quais estão em situação de risco. Para tal, a pesquisa analisou bases cartográficas como mapas topográficos digitais da região e reportagens publicadas em plataforma digital. Baseado nos resultados da pesquisa, foi construído um site virtual com orientações sobre o risco de inundação do Ribeirão da Onça Grande, principal curso hídrico da região.

Palavras-chave: Jaguaraçu; Piracicaba; Ribeirão Onça Grande; inundações; enchentes.

As enchentes ou cheias tem suas origens no resultado da concentração de água de chuva, em excesso, que não pode ser absorvida pelos solos. Estas ocorrem quando fenômenos intensos provocam o transbordamento de corpos hídricos, como rios e lagoas para zonas urbanas, intensificando alagamentos e acarretando diversos custos econômicos. O conceito de cheia, conforme Chow (1956), descreve um evento hidrológico extremo, natural ou causado pela ação humana, que ocorre quando um curso d'água transborda seu leito normal, inundando as áreas adjacentes. Com base no livro “Inundações Urbanas na América do Sul”, de Tucci e Bertoni (2019), os impactos da gestão da água nas cidades são complexos e interligados, gerando um ciclo vicioso de contaminação e degradação, que ocorrem quando fenômenos intensos provocam o transbordamento de corpos hídricos de rios, lagoas e canais para zonas urbanas, intensificando alagamentos e acarretando diversos custos econômicos. Além de

perdas materiais e ambientais, isso deixa de ser apenas um fenômeno natural para ser um desastre urbano. Segundo Licco e Mac Dowell (2020, p. 161),

Mais do que pela influência das forças naturais, os desastres são definidos pela vulnerabilidade dos sistemas humanos, ou seja, pela susceptibilidade das pessoas ou de suas coisas expostas a um perigo. Assim, a maior ou menor intensidade de um desastre dependerá da vulnerabilidade da população exposta. As populações mais pobres são as mais expostas e vulneráveis.

Esse fenômeno afeta especialmente as populações de maior vulnerabilidade social, como os povos tradicionais e a camada social mais pobre, que enfrentam rotinas marcadas pela degradação do espaço geográfico, que violam o desenvolvimento socioeconômico de tais grupos, produzindo um ciclo de contaminação alimentado por esgoto doméstico e industrial, além do escoamento pluvial. Este processo é intensificado pelo despejo de esgoto sem tratamento em rios com capacidade limitada de diluição, pela poluição difusa carregada pela chuva, pela contaminação de águas subterrâneas por fossas e vazamentos, e por depósitos de resíduos sólidos, que funcionam como fontes permanentes de poluição. A ocupação irregular de bacias hidrográficas a montante dos reservatórios urbanos, muitas vezes incentivada por legislações ineficazes, aumenta a carga de esgoto que chega a essas fontes.

A infraestrutura de saneamento em muitas cidades da América do Sul é precária, marcada por um tratamento de esgoto ineficiente e perdas significativas na distribuição de água. Frequentemente, na ausência de uma rede de esgoto adequada, as residências conectam seu esgoto destinado a receber dejetos diretamente na rede de drenagem pluvial, fazendo com que estes cheguem aos rios sem qualquer tratamento. Esse cenário é resultado de investimentos públicos inadequados, onde redes de coleta são construídas, mas não apresentam atuação efetiva para o problema as quais foram projetadas.

A poluição causada pelos resíduos sólidos representa outro grave impacto ambiental: o processo de urbanização, ao remover a cobertura vegetal, deixa o solo exposto à erosão, aumentando a produção de sedimentos que são carregados para a drenagem. A isso soma-se o lixo urbano, cuja coleta e limpeza são muitas vezes deficientes. A consequência direta é o assoreamento de canais, rios e lagos, que perdem sua capacidade de escoamento e transbordam com mais facilidade. Segundo Tucci, em seu artigo “Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil” (2004, p. 1)

O desenvolvimento urbano tem levado as cidades da América Latina a um cenário de deterioração da qualidade de vida e do impacto ambiental. Este processo ocorre devido a falta de controle do espaço urbano que produz efeito direto sobre a infraestrutura de água: abastecimento, esgotamento sanitário, drenagem urbana e

inundações ribeirinhas e resíduos sólidos. As inundações urbanas são resultado do uso de solo de risco e/ou da ampliação das cheias na drenagem urbana devido a impermeabilização do solo. Praticamente não existe política de gestão destes problemas no Brasil [...] e, quando existe, é equivocada.

O escoamento pluvial, intensificado pela urbanização, é a causa principal das inundações. Estas podem ocorrer tanto em áreas ribeirinhas, quando a população ocupa o leito maior do rio (a planície de inundação natural), quanto em decorrência do próprio desenvolvimento urbano. A impermeabilização do solo e a canalização do escoamento podem aumentar as vazões máximas em até sete vezes, tornando as enchentes mais frequentes e severas. Os principais impactos sobre a população incluem perdas materiais e humanas, interrupção de atividades econômicas e a contaminação por doenças de veiculação hídrica, como a leptospirose.

A má qualidade da gestão hídrica urbana resulta em graves consequências para a saúde pública. No Brasil, 65% das internações hospitalares ocorrem de doenças de propagação hídrica, que afetam de forma desproporcional a população de baixa renda, a qual possui menor acesso a serviços de água e saneamento. Doenças como cólera e diarreia estão ligadas à baixa cobertura de saneamento, enquanto a leptospirose, a malária e a dengue se proliferam em cenários de inundação. Dessa forma, a população fica exposta ao ciclo de contaminação gerado pela própria cidade, sofrendo as consequências diretas da falta de tratamento de esgoto e da gestão inadequada das águas pluviais. Como afirma Ferraz (2019, p. 21):

Inundações e escorregamentos constituem fenômenos cujas ocorrências podem ser naturais, embora suas manifestações sejam potencializadas ou induzidas pela ação humana, [...]. O uso inadequado do solo, ditado pelas características de sua ocupação em contexto de sistemática intensificação do crescimento populacional, tal qual tem ocorrido historicamente quanto ao processo de urbanização no Brasil, ocasionou severas interferências na dinâmica dos condicionantes de inundações, alagamentos e escorregamentos.

A partir deste contexto, nosso trabalho pretende abordar os impactos das inundações e enchentes no espaço geográfico brasileiro, focando no município de Jaguarauçu, em Minas Gerais, fundado no dia 12 de dezembro de 1953 e situado na região do Vale do Rio Doce, tendo uma população aproximada de 3.092 pessoas, segundo o último censo do IBGE em 2022.

Tal aumento nas taxas de precipitação na região está relacionado com um evento climático que está se mostrando mais presente desde 2020: as enchentes e inundações. Como afirmam Barbosa *et al.* (2020, p. 216), “[...] as cheias são fenômenos naturais que podem ter seus efeitos agravados devido às ações antrópicas,

como crescimento das áreas urbanizadas, o desmatamento de matas ciliares, e a impermeabilização do solo. Tais fatores aceleram o processo de enchentes em localidades ribeirinhas, como por exemplo, os municípios que são banhados pelo rio Piracicaba”. Entretanto, este agravamento pode levar a grandes catástrofes na cidade de Jaguaraçu, causando a destruição da cidade e o desalojamento de milhares de habitantes, em especial, os pertencentes a grupos sociais mais vulneráveis, além de muitos feridos e, até mesmo, mortos.

De acordo com o *Jornal dos Vales* (30/12/2022), por exemplo, Jaguaraçu decretou situação de emergência após fortes chuvas na madrugada de Natal de 2022. O volume de água provocou deslizamentos de terra, queda de árvores, destruição de pontes e inundação, deixando várias localidades isoladas. O distrito de Porto foi um dos mais atingidos, com casas soterradas e famílias desabrigadas. Mais de 60 ocorrências foram registradas pela Defesa Civil, afetando diretamente mais de 50 famílias em todo o município.

Além disso, conforme noticiado pelo *Diário do Aço* (10/01/2023), entre os dias 22 e 23 de março de 2023, Jaguaraçu enfrentou uma nova enchente causada por um temporal que acumulou mais de 100 mm de chuva em poucas horas. O Ribeirão Onça Grande voltou a transbordar, invadindo casas e comércios, com registros de água chegando até a metade da altura das paredes em algumas residências.

Segundo o site *Plox* (23/03/2024), entre os dias 7 e 8 de janeiro de 2024, fortes chuvas causaram o transbordamento do Ribeirão Onça Grande, que subiu cerca de 4 metros. A enxurrada destruiu pontes, alagou escolas, postos de saúde e diversas residências. Aproximadamente 1.500 pessoas foram impactadas e os prejuízos chegaram a R\$ 12 milhões. A cidade voltou a declarar estado de emergência.

A partir destas reportagens, percebe-se a necessidade da conscientização sobre os impactos das enchentes e inundações na cidade, a fim de garantir que a população local consiga lidar melhor com tais eventos. Como afirma Costa (2021, p. 15-16)

O estudo do clima na Geografia demonstra-se importante, pois essa compreensão é uma ferramenta para a organização da sociedade, [...] no planejamento urbano, onde pode se destacar áreas mais propensas a condições extremas de temperatura ou pluviosidade e trabalhar em alternativas para amenizar as consequências ligadas a tais aspectos.

Por isso, com a realização desse trabalho, pretendemos ajudar a população de Jaguaraçu a se conscientizar sobre os impactos de tais eventos na cidade e como

ela pode se prevenir. Além disso, este estudo buscará, por meio de um site na web, utilizando-se as linguagens HTML, CSS e JavaScript, encontrar formas sustentáveis, seguindo os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (propostos na *Agenda 2030*), de amenizar os impactos do evento climático, os problemas na paisagem cultural e a ação humana sobre estes, fazendo com que menos pessoas sejam afetadas por estas catástrofes ambientais e que não se altere a dinâmica natural da região. Assim, pretende-se buscar as respostas para questões como: Quais são as áreas e grupos sociais mais afetados pelas enchentes em Jaguarapu, como a população local pode se prevenir e agir em casos de enchentes, quais foram os principais episódios de enchentes já registrados no município e em que períodos ocorreram, e, principalmente, como resolver ou amenizar de forma sustentável o problema enfrentado pela população de Jaguarapu.

Procedimentos Metodológicos

A investigação científica abordada em nosso projeto será a abordagem explicativa, que busca identificar as causas e efeitos dos fenômenos, estabelecendo relações de causa e efeito. Esse tipo de investigação frequentemente utiliza métodos experimentais ou analíticos para aprofundar o conhecimento sobre o tema estudado.

Para responder às questões de pesquisa e atingir os objetivos propostos, este projeto adotará um percurso metodológico estruturado em três etapas articuladas. Quanto à sua natureza, a pesquisa é aplicada, pois visa gerar produtos e conhecimentos para a solução de problemas específicos. Em relação à abordagem do problema, trata-se de uma pesquisa qualitativa, que se dedica a compreender a complexidade e os significados do fenômeno estudado em seu ambiente natural. A escolha por esta vertente metodológica se justifica porque o problema das inundações, enquanto fenômeno social, é dinâmico, interativo e interpretativo, exigindo uma análise que vá além de dados numéricos. Conforme aponta a literatura, a abordagem qualitativa é particularmente adequada para investigar a realidade complexa que caracteriza o cotidiano de uma comunidade afetada, pois estuda o fenômeno em seu contexto, analisando o problema processualmente e valorizando o contato direto com a situação investigada.

Do ponto de vista dos objetivos, o trabalho possui caráter exploratório, por buscar maior familiaridade com o problema das inundações em Jaguarapu, e descritivo, ao detalhar os eventos, impactos e áreas afetadas. A metodologia se fundamenta, quanto aos procedimentos técnicos, na pesquisa bibliográfica e documental.

O percurso metodológico inicia-se com um robusto levantamento e revisão bibliográfica e documental para construir a base de conhecimento sobre o problema. Esta primeira etapa consiste na coleta de dados secundários a partir de diversas fontes, incluindo uma pesquisa bibliográfica em artigos científicos, teses e dissertações que abordam temas correlatos, com prioridade para estudos sobre a Bacia do Rio Doce e eventos climáticos extremos em Minas Gerais, como os trabalhos de Barbosa *et al.* (2020) e Costa (2021). Simultaneamente, será realizada uma análise documental de fontes midiáticas, com a coleta e catalogação sistemática de reportagens publicadas em portais de notícias digitais, como *Jornal dos Vales*, *Diário do Aço* e *Plox*, focando em eventos ocorridos entre 2022 e 2024 para identificar datas, locais e a magnitude dos danos. Complementarmente, serão levantados dados cartográficos e oficiais, como mapas topográficos do município, dados demográficos do IBGE (2022) e, se disponíveis, relatórios da Defesa Civil e dados de estações pluviométricas da região.

A segunda etapa, núcleo da investigação qualitativa, concentra-se na análise e sistematização dos dados coletados. Para o tratamento do corpus documental, será empregada a técnica da Análise de Conteúdo, que consiste em um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter, por procedimentos sistemáticos e objetivos, indicadores que permitam a inferência de conhecimentos. O processo será organizado em três fases principais, conforme proposto por Bardin (1977): a pré-análise, que envolve a organização do material e a leitura flutuante para um primeiro contato com os documentos; a exploração do material, na qual o corpus é estudado a fundo para a criação das categorias que irão organizar as informações; e, por fim, o tratamento dos resultados, com a inferência e a interpretação dos dados categorizados.

A adoção desta metodologia se justifica por sua eficácia em organizar e extrair significados de um grande volume de dados textuais, permitindo a identificação de padrões sobre o fenômeno das inundações em Jaguaráçu. As informações serão então submetidas a uma análise espacial simplificada, correlacionando as localidades afetadas com os mapas topográficos para a identificação visual das áreas de vulnerabilidade. Por fim, os dados serão organizados de forma cronológica para construir uma síntese histórica dos principais eventos de inundação, integrando relatos como o da moradora Maria de Assis Quintão Pessoa sobre o evento de 1978 para oferecer uma perspectiva de longo prazo.

Alguns procedimentos adotados para cumprir a proposta destes tipos de pesquisa serão a investigação de bases cartográficas para compreender o fenômeno descrito nas reportagens, por meio do site topographic-map.com (nas referências), além de mapas do IBGE e climogramas. A partir de tal investigação, serão delimitadas as áreas de risco baseado nas cartas topográficas, será feito um

levantamento de dados das principais áreas atingidas pelas inundações em Jaguaruçu baseado nas notícias (elaboração de tabela), uma comparação entre os dados encontrados no levantamento topográfico com o documental e, por fim, a criação de uma plataforma digital de divulgação de alertas de inundações para as regiões de risco em Jaguaruçu.

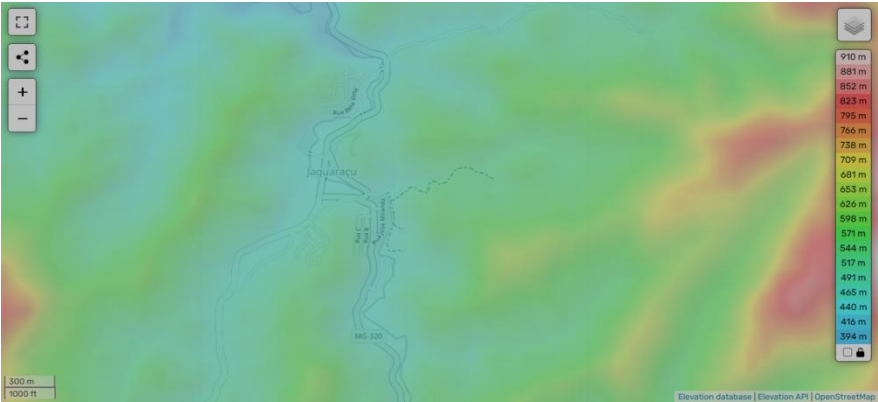
Os resultados consolidados na etapa de análise servirão como base para a terceira e última fase do projeto, de natureza aplicada. As informações sistematizadas sobre áreas de risco, consequências e recomendações de segurança serão utilizadas para desenvolver o conteúdo de um website. Construída em HTML, CSS e JavaScript, a plataforma funcionará como uma ferramenta de conscientização e orientação para a população de Jaguaruçu, traduzindo os achados da pesquisa em um formato acessível e prático, alinhado ao objetivo de promover a resiliência da comunidade local frente aos desastres naturais.

Resultados e discussão

A análise cartográfica do relevo de Jaguaruçu, fundamentada no mapa topográfico de referência (Topographic-Map.com, 2023), permite a identificação e delimitação de zonas com distintos graus de suscetibilidade a inundações. Utilizando a base cartográfica do sítio, verificou-se, com base na variação de cor (hipsometria) entre os pontos do terreno, as partes mais baixas suscetíveis a processos de inundação.

Os resultados demonstram uma correlação direta entre a altitude, a declividade do terreno e a proximidade aos cursos d'água, revelando um padrão claro de vulnerabilidade associado à ocupação das áreas mais baixas da paisagem representadas de azul no mapa.

Figura 01: Mapa topográfico da cidade de Jaguaraçu



Fonte: topographic-map.com

A análise preventiva baseada no mapa topográfico encontra uma contundente validação nos eventos de inundação que assolaram Jaguaraçu nos últimos anos. Os registros jornalísticos não apenas confirmam a tese de que as áreas de menor altitude são as mais suscetíveis, mas também servem como um trágico estudo de caso sobre as consequências da ocupação dessas zonas de risco. O padrão de incidência de casos de inundação abordados em notícias pode ser apreciado na tabela a seguir:

Tabela 01: Reportagens sobre inundações em Jaguaraçu

Jornal responsável	Data da reportagem	Região atingida
Jornal dos Vales	30/12/2022	Centro Jaguaraçu
Jornal Classivale	08/01/2023	Centro Jaguaraçu
Diário do aço	10/01/2023	Centro Jaguaraçu
Diário do aço	20/08/2023	Centro Jaguaraçu
Vox	20/08/2023	Centro Jaguaraçu
Jornal Bairros Net	21/08/2023	Centro Jaguaraçu
MGTV	21/08/2023	Centro Jaguaraçu
Jornal Bairros Net	08/01/2024	Distrito Lavrinha
Plox	23/03/2024	Centro Jaguaraçu
Balanço geral	25/03/2024	Centro Jaguaraçu

Fonte: os autores (2025).

Os relatos dos eventos extremos de dezembro de 2022, janeiro de 2023 e março de 2024 pintam um quadro consistente. A notícia veiculada pelo *Jornal dos Vales* (2022), que reportou a decretação de situação de emergência, e a matéria do *Diário do Aço* (2023), que detalhou o desalojamento de mais de 20 famílias, são exemplos dos impactos sociais diretos. A reportagem do *Plox* (2024), ao descrever uma “enchente devastadora”, confirma a recorrência e a intensidade desses fenômenos.

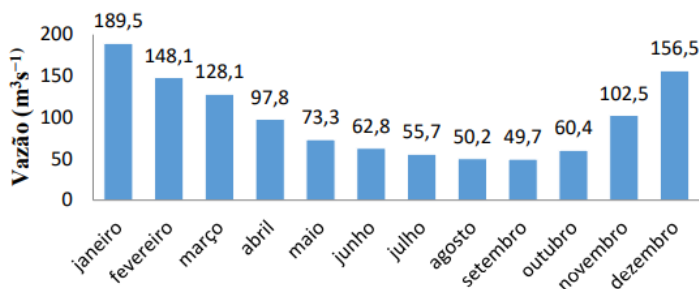
Figura 02: imagem fotográfica de inundação em Jaguaráçu



Fonte: *Jornal dos Vales*, *Diário do aço* e *Plox*.

Esta sobreposição entre o risco mapeado e o desastre ocorrido demonstra, que a topografia é o principal fator controlador da mancha de inundação em Jaguaráçu. As enchentes reportadas não são eventos aleatórios, mas a manifestação natural e previsível da dinâmica fluvial em uma bacia hidrográfica ocupada. Os eventos de 2022, 2023 e 2024 não são ocorrências isoladas, mas sim a reativação da função natural da planície inundada, que, em períodos de alta pluviosidade, volta a ser o leito expandido do rio. Por ser um município situado no clima tropical úmido e apresentar uma distribuição muito alta de corpos hídricos, como a Bacia Hidrográfica do Rio Doce e o Ribeirão da Onça, é comum a ocorrência de chuvas intensas, em especial nos meses de verão.

Gráfico 01: Vazão média mensal da estação Mário de Carvalho, bacia do Rio Doce



Fonte: Schefelbanis, *et al.* (Adaptado Hidroweb).

Os resultados desta análise transcendem a teoria. Eles conectam a leitura técnica das curvas de nível com a realidade vivida pela população. A vulnerabilidade de Jaguarapu não reside apenas na intensidade das chuvas, mas na forma como a cidade se expandiu sobre suas áreas mais planas e baixas. As notícias dos últimos anos funcionam como um registro histórico que valida o mapa de risco derivado da topografia, tornando-o uma ferramenta não apenas preventiva, mas diagnóstica, que clama por ações urgentes de planejamento urbano e adaptação climática.

Plataforma digital de orientações

Como resultado da pesquisa, foi desenvolvido um site informativo sobre as enchentes no município de Jaguarapu, com o objetivo de divulgar os dados levantados, conscientizar a população local e propor medidas de prevenção. O site foi projetado para ser acessível e de fácil navegação, a fim de auxiliar os moradores da cidade com informações úteis e atualizadas.

A plataforma, intitulada “Jaguarapu Resiliente”, é composta por seis seções principais:

Início, que apresenta os objetivos da plataforma, exibe um menu visual com as demais seções onde o usuário pode acessar as páginas de forma rápida. O Início exibe dois vídeos que ilustram ocorrências de enchentes na cidade.

Figura 03: Captura de tela da seção Início da plataforma



Fonte: os autores (2025).

Alertas: exibe o nível de risco baseado nas informações oficiais publicadas pelo site da Prefeitura de Jaguarapu, se implementada, pode ser atualizada

manualmente ou de forma automática, por meio de uma API. Essa página também oferece recomendações rápidas de acordo com o nível de alerta.

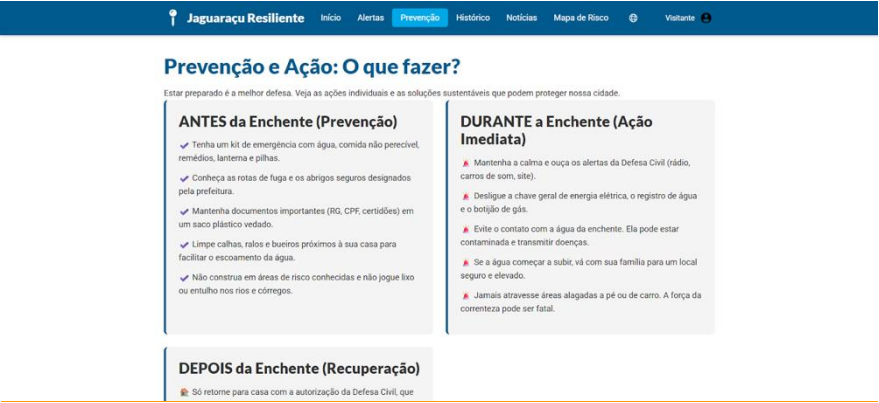
Figura 04: Captura de tela da seção de alertas da plataforma



Fonte: os autores (2025).

Prevenção: reúne dicas e orientações sobre como a população pode agir antes, durante e depois das enchentes, buscando reduzir os impactos desses eventos.

Figura 05: Captura de tela da seção prevenção



Fonte: os autores (2025).

Histórico: apresenta registros de praticamente todas as enchentes ocorridas no município, acompanhados de suas respectivas datas e breves descrições dos acontecimentos.

Figura 06: Captura de tela da seção Histórico da plataforma



Fonte: os autores (2025).

Notícias: reúne publicações sobre alertas e acontecimentos relacionados a enchentes na região.

Figura 07: Captura de tela da seção Notícias da plataforma



Fonte: os autores (2025).

Mapa de risco: apresenta um mapeamento baseado no relevo topográfico de Jaguaruá, elaborado a partir de dados obtidos no site *Topographic Map*.

Figura 08: Captura de tela da seção mapeamento de risco da plataforma



Fonte: os autores (2025).

A plataforma foi desenvolvida utilizando as linguagens de marcação e estilização HTML e CSS, e como linguagem de programação foi utilizado o JavaScript, os códigos foram escritos através da ferramenta Visual Studio Code e o site foi hospedado na host netlify, a plataforma foi nomeada como Jaguaraçu Resiliente e está disponível através no endereço: <https://jaguaraçuresiliente.netlify.app>.

Esse produto digital permite que o conteúdo da pesquisa ultrapasse o meio acadêmico, tornando-se uma ferramenta de conscientização e divulgação sobre a importância da prevenção de desastres naturais.

Considerações finais

O objetivo do nosso trabalho foi concluído, pois a plataforma digital foi construída e contém todas as sessões planejadas. Além disso, ela serve como uma ferramenta para conscientizar e divulgar os dados da pesquisa.

Nossas pesquisas demonstraram que as inundações são recorrentes porque a cidade foi construída em uma área de baixa altitude, o que causa grandes prejuízos econômicos e sociais. Por isso, é muito importante que Jaguaraçu tenha um planejamento urbano e se adapte às mudanças climáticas, focando em medidas sustentáveis para diminuir os impactos das inundações.

Referências

BARBOSA, Suellen Cristina Coelho; SCHMIDT, Roberta Laís Silva; SOUSA, Ki-ane Heloisa Santana. [Estudo das enchentes da sub-bacia Rio Piracicaba – MG, Bacia do Rio Doce](#). In: Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais. *Anais [...]*, 2020 p. 216-222. v. 2. Acesso em: 8 out. 2025.

BERTONI, Juan Carlos, *et al.* *Inundações urbanas na América do Sul*. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003.

COSTA, Álvaro Henrique Gomes da. [Análise da dinâmica hidroclimatológica da Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas – MG no período de 1961 a 2020](#). p. 1-85. 15 jun. 2021. Acesso em: 30 jun. 2025.

CHOW; V.T. Hydrologic Studies of Floods in the United States. *Inter. Assoc. Sci. Hydrol.*, v. 42, p. 134-170, 1956. Acesso em: 19 de out. 2025.

DIÁRIO DO AÇO. [Chuva e ventos fortes causam estragos em Jaguaracu na noite de domingo](#). *Diário do Aço*, Ipatinga, 20 ago. 2023. Acesso em: 19 out. 2025.

DIÁRIO DO AÇO. [Jaguaracu tem mais de 20 famílias desalojadas após chuva](#). *Diário do Aço* 10 jan. 2023. Acesso em: 14 jun. 2025.

FERRAZ, Caio Mário Leal. [Inundações e escorregamento em Teófilo Otoni, Minas Gerais: uma situação de risco ambiental em continuada construção, segundo indicadores geomorfológicos](#). 2019. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2019. Acesso em: 16 out. 2025.

IBGE. Jaguaracu (MG). [Cidades e Estados](#). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, [s.d.]. Acesso em: 02 out. 2025.

JORNAL CLASSIVALE. [Grande volume de chuvas causa interdição de estradas e alaga ruas no Vale do Aço](#). *Jornal Classivale*, Ipatinga, 8 jan. 2023. Acesso em: 19 out. 2025.

JORNAL DOS VALES. [Jaguaracu decreta situação de emergência em razão das fortes chuvas que têm atingido o município](#). *Jornal dos Vales*, 30 dez. 2022. Acesso em: 11 jul. 2025.

LICCO, Eduardo Antonio; MAC DOWELL, Silvia Ferreira. [Alagamentos, Enchentes, Enxurradas e Inundações: Digressões sobre seus impactos sócio-econômicos e governança](#). Centro Universitário Senac, 2020. Acesso em: 16 out. 2025.

MG INTER TV 2ª EDIÇÃO. [Chuva forte causa estragos em Jaguaracu](#). *Globoplay*, 2025. Acesso em: 19 out. 2025.

OLIVEIRA, Cristiano Lessa de. [Um apanhado teórico-conceitual sobre a pesquisa qualitativa: tipos, técnicas e características](#). *Travessias*, v. 2, n. 3, 2008. Acesso em: 16 out. 2025.

PLOX. [Jaguaracu enfrenta enchente devastadora após tempestade intensa](#). *PLOX*, 23 mar. 2024. Acesso em: 11 jul. 2025.

REIS, Paulo Cesar. [Chuva levou muito medo para moradores de Lavrinha e Cava Grande](#). *Jornal Bairros Net*, Rio de Janeiro, 27 set. 2025. Acesso em: 19 out. 2025.

REIS, Paulo Cesar. [Chuva na noite deste domingo fez estragos em Jaguaracu](#). *Jornal Bairros Net*, Rio de Janeiro, 20 ago. 2023. Acesso em: 19 out. 2025.

TOPOGRAPHIC MAP. [Mapa topográfico de Jaguaracu](#). Acesso em: 15 de out. 2025

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli. [Gerenciamento integrado das inundações urbanas no Brasil](#). 2004. Acesso em: 24 out. 2025

TV LESTE. [Chuva levou muito medo para moradores de Lavrinha e Cava Grande](#). *YouTube*, 27 set. 2025. Acesso em: 19 out. 2025.

VOX 97. [Chuva forte e ventania causam prejuízos em Jaguaracu](#). *Vox 97*, Rio de Janeiro, 20 ago. 2023. Acesso em: 19 out. 2025.

Capítulo 5

Impactos da poluição atmosférica no Vale do Aço: emissões industriais, saúde pública e mitigação sustentável

Guilherme Magalhães Souza; Kauã Victor Santos Roldão; Lucas Eduardo de Paula Lopes; Lucas Figueiredo Franco; Otavio Augusto Santos Patrocínio.

Prof.^a Daniela Ribeiro Silva (orientadora); Pedro Henrique Fernandes Rodrigues (coorientador).

Resumo: Este estudo analisa os impactos da poluição atmosférica na Região Metropolitana do Vale do Aço (MG). A intensa atividade industrial na região é a principal fonte de emissão de poluentes como material particulado (MP_{2,5}) e gases de efeito estufa (CO₂ e NO_x), que agravam o aquecimento global e causam impactos diretos na saúde pública. A pesquisa teve como objetivo central investigar como as indústrias siderúrgicas contribuem para a poluição do ar e as mudanças climáticas, e avaliar o potencial de tecnologias mitigadoras. Por meio de uma revisão bibliográfica e documental, com análise de artigos científicos e relatórios de sustentabilidade de empresas locais como Usiminas e Aperam, o trabalho identificou que o manuseio e armazenamento de carvão mineral a céu aberto são etapas críticas na emissão de poluentes. Destaca-se a aplicação de polímeros sobre as pilhas de carvão como uma solução tecnológica viável e eficaz para suprimir a poeira, limitar a oxidação do material e reduzir significativamente as emissões atmosféricas. O estudo conclui que a adoção de tais tecnologias, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), é fundamental para conciliar o desenvolvimento econômico com a preservação ambiental e a saúde da população local.

Palavras-chave: poluição do ar; siderurgia; material particulado; mitigação ambiental; polímeros.

A poluição atmosférica é um dos maiores desafios ambientais da atualidade, afetando a saúde humana, os ecossistemas e o equilíbrio climático do planeta. No Vale do Aço, onde a atividade siderúrgica é intensa, esse problema ganha proporções ainda mais preocupantes, exigindo soluções sustentáveis e políticas públicas eficazes. Este capítulo discute os conceitos que ajudam a compreender essas causas e seus impactos na região. Esse fenômeno

está relacionado à emissão de poluentes como dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄), óxidos de nitrogênio (NO_x) e material particulado fino (MP2,5), resultantes principalmente da queima de combustíveis fósseis, do uso de agrotóxicos, do desmatamento e de processos industriais.

Na Região Metropolitana do Vale do Aço, em Minas Gerais, que abrange os municípios de Ipatinga, Timóteo, Coronel Fabriciano e Santana do Paraíso, a atividade siderúrgica destaca-se como principal fonte emissora de poluentes. Dados do IQAir (World Air Quality) indicam que, em 2022, Timóteo registrou concentração de MP2,5 em 13,9 µg m⁻³, patamar considerado preocupante pela Organização Mundial da Saúde. Em 2023, a região figurou entre as mais poluídas do Brasil, refletindo-se em danos concretos à saúde pública: conforme reportagem da CBN de 07/10/2019, Ipatinga já apresentava taxa de internações por doenças respiratórias cinco vezes superior à média nacional.

Além dos efeitos na saúde, a poluição industrial provoca desequilíbrios ambientais significativos, como a ocorrência de chuvas ácidas, a deposição de partículas no solo e a contaminação de corpos hídricos, a exemplo do rio Piracicaba e rio Doce, que recebe efluentes industriais ao longo de seu percurso (Queiroz; Dias, 2023).

Estudos como o de Chen e colaboradores (2015) demonstram que até mesmo organismos aquáticos, como *Daphnia pulex*, apresentam alterações significativas em perfis de microRNA quando expostos a metais pesados, o que evidencia a complexidade dos mecanismos biológicos de resposta ao estresse ambiental. Esses resultados destacam a urgência de desenvolver estratégias eficazes de controle na origem das emissões, especialmente em regiões com intensa atividade industrial. Nesse contexto, a aplicação de polímeros desponta como uma alternativa tecnológica promissora para a mitigação da dispersão de material particulado e a preservação da qualidade do ar (Silva *et al.*, 2017). A aspersão de soluções poliméricas sobre pilhas de carvão mineral, por exemplo, cria uma barreira física que limita os processos de oxidação e reduz significativamente o escape de partículas para a atmosfera (Gryczak; Pertzhhold, 2020).

Empresas como a Usiminas em Ipatinga e a Aperam South America em Timóteo atuam como grandes geradoras de material particulado na região, especialmente em etapas como a coqueificação, a sinterização e o armazenamento de carvão mineral a céu aberto. A adoção de polímeros funcionais, como os descritos por Silva *et al.* (2017), pode representar uma solução viável para a supressão de poeira e a redução da combustão espontânea em pilhas de carvão, alinhando-se a práticas de controle mais eficientes.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar os impactos da poluição atmosférica gerada pelas indústrias do Vale do Aço, com ênfase na contribuição das emissões de material particulado para as mudanças climáticas e a degradação da qualidade do ar, e avaliar o potencial de aplicação de polímeros como estratégia de mitigação. A seguinte questão orienta a investigação: *De que forma as indústrias siderúrgicas do Vale do Aço contribuem para as mudanças climáticas e a poluição do ar, e como a aplicação de polímeros pode reduzir esses impactos?*

A pesquisa está alinhada ao ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) da *Agenda 2030* da ONU, além de dialogar com os ODS 3 (Saúde e Bem-Estar), 7 (Energia Limpa e Acessível) e 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis).

Fundamentação conceitual

Nas últimas décadas, um dos principais problemas mundialmente enfrentados é a poluição atmosférica, problema este que afeta tanto a saúde humana quanto os ecossistemas e o clima do planeta. Segundo o Instituto Nacional do Câncer (INCA, 2023), é considerado poluído todo o ar que possui contaminantes ou de substâncias poluidoras em sua composição, sejam eles gases, materiais particulados e compostos orgânicos voláteis que interfiram na saúde e no bem-estar humano, ou ainda causem efeitos danosos ao meio ambiente.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), quase toda a população (99%), respira ar que excede os limites de suas diretrizes, contendo altos níveis de poluentes, com países de média e baixa renda sofrendo as maiores exposições. Poluentes de grande preocupação para a saúde pública incluem material particulado, monóxido de carbono, ozônio, dióxido de nitrogênio e dióxido de enxofre (OMS, 2022). A exposição contínua a esses poluentes está fortemente associada ao aumento da incidência de doenças respiratórias e cardiovasculares, configurando-se como uma das principais causas de morbidade e mortalidade globais.

Este tem sido um problema significativo no Brasil em regiões mais industrializadas, como o Vale do Aço, situado no leste de Minas Gerais, composto pelos municípios de Timóteo, Coronel Fabriciano, Ipatinga e Santana do Paraíso e a região de Volta Redonda (RJ), conhecida como “Cidade do Aço”, que abriga desde a década de 1940 a Companhia Siderúrgica Nacional (CSN). Fundada como marco do projeto de industrialização nacional, é uma das maiores siderúrgicas do país, mas sua trajetória é também marcada por significativos passivos ambientais, como a contaminação por metais pesados no bairro Volta Grande

IV, em Volta Redonda (RJ). Nessas regiões, a economia baseada na atividade siderúrgica resulta em elevadas taxas de emissão de poluentes atmosféricos, que comprometem a qualidade do ar e impactam diretamente a saúde da população local.

A qualidade do ar do Vale do Aço é fortemente influenciada pelos gases poluentes emitidos pelas indústrias e pelo intenso tráfego urbano, além da geografia regional dificultar a dispersão dos poluentes, por ser um vale cercado por um relevo acidentado, causando o acúmulo de materiais na atmosfera e de gases como óxidos de nitrogênio (NOx) e dióxido de enxofre (SO₂). Estes fatores levaram a cidade de Timóteo, no ano de 2023, a ser reconhecida pela World Air Quality (IQair) como uma das cidades com o ar mais poluído do mundo, com o pior nível do estado de Minas Gerais.

A exposição contínua aos poluentes atmosféricos tem provocado diversos problemas respiratórios entre os moradores do Vale do Aço. Substâncias como o ozônio, por exemplo, podem desencadear ou agravar crises de asma, enquanto a presença prolongada de poluentes irritantes contribui para o desenvolvimento de bronquite crônica e danos aos alvéolos pulmonares (Instituto Nacional do Câncer, 2025). No início de maio deste ano de 2025, na cidade de Ipatinga, houve um surto de doenças respiratórias, o jornal *CBN* (2025) afirmou que o número de internação por causas respiratórias foi cinco vezes maior que a média nacional, acrescentando que a presença de indústrias, o tempo seco e a frota de carros são apontados como os fatores que levam a esse problema.

Nesse contexto, destacam-se o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias voltadas à captura de poluentes, como filtros e membranas à base de polímeros supressores de poeira — produtos químicos, de origem vegetal ou sintética, que aglomeram partículas de poeira no solo e formam uma película protetora —, a implantação de cortinas verdes — que envolve o planejamento e o plantio de espécies vegetais para criar barreiras físicas e ecológicas, protegendo áreas e minimizando impactos ambientais —, além da modernização de sistemas de filtragem, surgem como uma solução promissora para mitigar as emissões na fonte. O estudo de Silva *et al.* (2017) destaca o uso de polímeros de alta performance, como as poliamidas (Nylon), o polipropileno (PP) e as poliolefinas porosas, empregados na fabricação de filtros para as chaminés das indústrias e para os sistemas de exaustão de veículos. A vantagem central do uso desses materiais reside na sua capacidade de reter eficientemente as partículas sólidas (material particulado) e, quando funcionalizados com grupos químicos específicos, até mesmo absorver gases poluentes como o dióxido de enxofre (SO₂) e os óxidos de nitrogênio (NOx). Dessa forma, a utilização desses polímeros na etapa de pós-combustão e tratamento de efluentes gasosos pode reduzir diretamente a carga de poluentes

liberada para a atmosfera, contribuindo para a melhoria da qualidade do ar e, consequentemente, para a redução dos índices de doenças respiratórias na população.

Figura 1: Exemplo de aplicação de polímeros em pilhas de coque



Fonte: Valeriano (2023).

No Vale do Aço, ainda são escassos os estudos que investigam as relações entre a poluição atmosférica e as mudanças climáticas locais. As elevadas emissões de poluentes contribuem para a formação de ilhas de calor e intensificam o efeito estufa, favorecendo o aumento das temperaturas. Esse aquecimento também está associado à escassez de áreas verdes nas zonas urbanizadas da região, onde o baixo índice de albedo faz com que a superfície absorva mais radiação solar. Como consequência, o clima torna-se mais seco e propenso à ocorrência de incêndios florestais. De acordo com o jornal *Diário do Aço* (2025), um incêndio ocorrido no bairro Macuco, em Timóteo, no início de setembro de 2025, danificou cinco postes próximos à BR-381 e deixou cerca de 11 mil moradores sem energia elétrica.

As indústrias siderúrgicas, pilares da economia do Vale do Aço, geram poluentes atmosféricos, especialmente material particulado (MP), através de diversas etapas críticas de seu processo produtivo. As principais fontes de emissão incluem a coqueria, onde o aquecimento do carvão mineral libera gases e partículas finas; a sinterização, uma das etapas mais poluentes, pequenas partículas do minério de

ferro sob altas temperaturas, emitindo material particulado, dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x); o alto-forno, responsável pela produção do ferro-gusa, libera monóxido de carbono (CO) e partículas sólidas, como poeira de minério de ferro, cinzas do coque e óxidos metálicos, que são resíduos formados durante a queima e fusão dos materiais no interior do forno; e a aciaria, onde a transformação do ferro-gusa em aço gera grande quantidade de fumaça com partículas finíssimas de óxido de ferro. Esses processos, em conjunto, lançam na atmosfera uma mistura complexa de poluentes que impactam diretamente a qualidade do ar da região, taxa de liberação desses materiais e outros podem ser encontrados nos relatórios de ambas as principais empresas.

Por fim, dados divulgados pela *CBN* (2025) evidenciam a gravidade do problema: “O Brasil teve aproximadamente 560 internações a cada 100 mil habitantes no ano passado, enquanto na cidade de Ipatinga (MG) foram mais de 2.600 internações.” Apesar de existirem diversos estudos sobre a poluição atmosférica em grandes centros urbanos, ainda há escassez de pesquisas voltadas ao contexto do Vale do Aço, o que reforça a relevância deste trabalho. A seguir, serão apresentadas a metodologia de pesquisa adotada e a análise dos resultados obtidos.

Procedimentos metodológicos

Esse capítulo foi desenvolvido por meio de uma pesquisa bibliográfica, com o objetivo de analisar a poluição do ar na Região Metropolitana do Vale do Aço e descrever os seus impactos ambientais e sociais, além de identificar as estratégias de mitigação climática aplicáveis ao contexto regional. Inicialmente, foi realizado um levantamento sistemático de artigos científicos, matérias jornalísticas e publicações acadêmicas recentes que abordam a poluição atmosférica causada por grandes indústrias, com ênfase na composição química do ar e na presença de contaminantes como gases tóxicos e material particulado. Esse processo possibilitou a compreensão dos principais aspectos da poluição do ar, de seus impactos à saúde humana e de suas consequências ambientais.

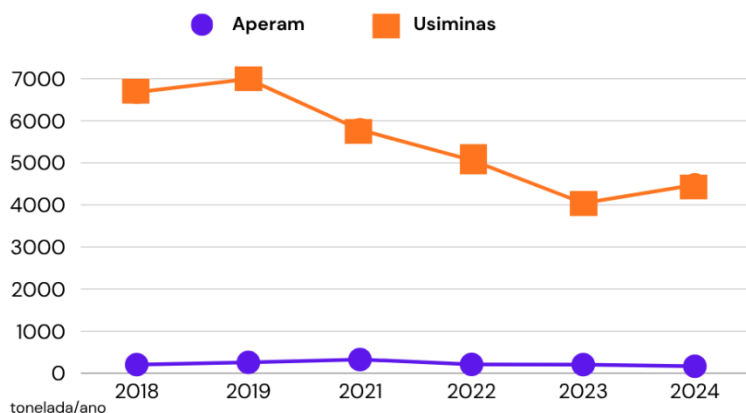
Para aprofundar a compreensão sobre o impacto da atividade siderúrgica na qualidade do ar do Vale do Aço, foram analisados dados extraídos dos relatórios de sustentabilidade das empresas Usiminas e Aperam.

Resultados de Pesquisa

Ao examinar os relatórios da Usiminas, observa-se que, por ser uma usina integrada de grande porte, suas principais fontes de material particulado estão concentradas em processos como a sinterização e os altos-fornos. Embora os dados

históricos revelem investimentos em sistemas de controle, o volume absoluto de emissões permanece um ponto crítico devido à escala de produção. Já a análise dos documentos da Aperam, especializada em aços especiais, aponta para um perfil de emissões distinto, proveniente de sua aciaria elétrica. Embora seu volume absoluto seja menor, a eficácia de seus sistemas de controle é igualmente crucial. Dados esses que foram obtidos na página institucional da Aperam South America (<https://www.aperam.com/sustainability>), em 15 out. 2025. A comparação entre os níveis de material particulado atmosférico emitidos por ambas permite identificar tanto os avanços quanto as lacunas nos esforços de mitigação ambiental adotados ao longo dos anos. Como podemos ver no gráfico presente na Gráfico 1, a discrepância entre os volumes de material particulado emitidos por cada uma é bastante significativa, evidenciando diferentes níveis de comprometimento e desafios tecnológicos no controle da poluição atmosférica.

Gráfico 1: Comparação das emissões de material particulado em toneladas por ano das empresas Aperam e Usiminas



Fonte: Elaboração própria com base nos dados dos relatórios de sustentabilidade divulgados pelas empresas. Relatórios de sustentabilidade da Usiminas e Aperam (2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024).

A análise das emissões atmosféricas das principais siderúrgicas do Vale do Aço, apresentada no Gráfico 1, revela uma disparidade significativa entre as empresas. Os dados comparativos de emissão de material particulado (t/ano) entre 2018 e 2024 mostram que a Aperam manteve seus índices consistentemente abaixo de 400 toneladas anuais durante todo o período avaliado. Em contraste, a Usiminas, embora apresente uma tendência de redução, ainda registra valores acima de 4.400 toneladas/ano em 2024, ou seja, mais de onze vezes maiores que os da Aperam. Ainda assim, é importante destacar que, mesmo com números

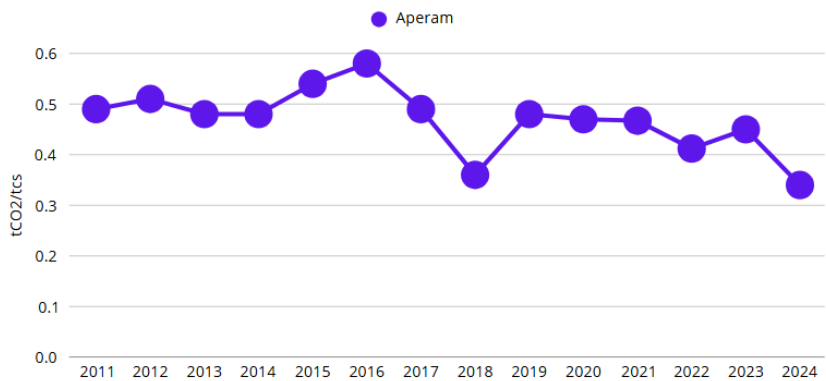
menores, a Aperam também excede os padrões ideais de qualidade do ar, evidenciando que ambas as empresas permanecem distantes de tecnologias de controle de emissões mais eficientes e de metas de emissão zero.

Essa discrepância pode estar relacionada a diferentes níveis de investimento em tecnologias de controle de emissões, manutenção de equipamentos e políticas ambientais internas. A situação torna evidente a necessidade de modernização urgente nas práticas industriais da Usiminas e de outras empresas que seguem operando com altos índices de poluição.

Em seus relatórios, a Aperam não disponibiliza a quantidade de CO₂ no ano, mas ela disponibiliza quantas toneladas de CO₂ são utilizadas para cada tonelada de aço bruto produzido (tCO₂/tcs). Como pode ser observado no Gráfico 2, no ano de 2011, foi registrado 0,49 tCO₂/tcs, em 2018 houve uma grande queda com relação ao ano de 2016, em que a aperam teve seu maior pico, sendo emitido 0,58 tCO₂, sendo registrado 0,36 tCO₂/tcs, e no ano de 2024 também houve uma ligeira queda, sendo agora 0,34 tCO₂/tcs.

Esta queda registrada entre 2016 e 2018 foi possível graças aos métodos citados nos referentes relatório, como o uso de carvão vegetal proveniente das florestas de eucalipto certificadas pelo *Forest Stewardship Council* (FSC), também os projetos de captura de carbono, como o HECO₂, que visa a eletrificação do aquecimento e a captura de carbono nos fornos de fusão, contribuindo para a redução das emissões de CO₂.

Gráfico 2: Quantidade de CO₂ (em toneladas) utilizado para cada tonelada de aço bruto produzido



Fonte: Elaboração própria com base nos dados disponibilizados nos relatórios de sustentabilidade da Aperam dos anos de 2011 até 2024.

No relatório de sustentabilidade de 2010, foi divulgada a quantidade de carbono que foi emitido em toneladas totais. Esse dado não pode ser acrescentado ao gráfico por não ser a mesma unidade de medida, que é toneladas de CO₂ por tonelada de aço bruto. Neste ano, a quantidade de CO₂ emitido foi de 770,8 mil toneladas, o que levou a Aperam South America a desenvolver medidas que permitiram deixar de lançar 10,6 mil toneladas de CO₂ na atmosfera, como o projeto de substituição do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) por Gás Natural (GN).

A Usiminas em alguns anos não divulgou relatórios de sustentabilidade, impossibilitando a criação de um gráfico detalhado como o da Aperam. Para solucionar este problema, partimos do primeiro ano apresentado no Gráfico 3, 2011, em que a Aperam teve a maior queda dentro deste período, 2018, e o ano do relatório de sustentabilidade mais recente, 2024, para podermos compará-lo com os dados obtidos da Aperam. O Gráfico 3 segue a mesma lógica.

Gráfico 3: Emissão direta e indireta de toneladas de CO₂



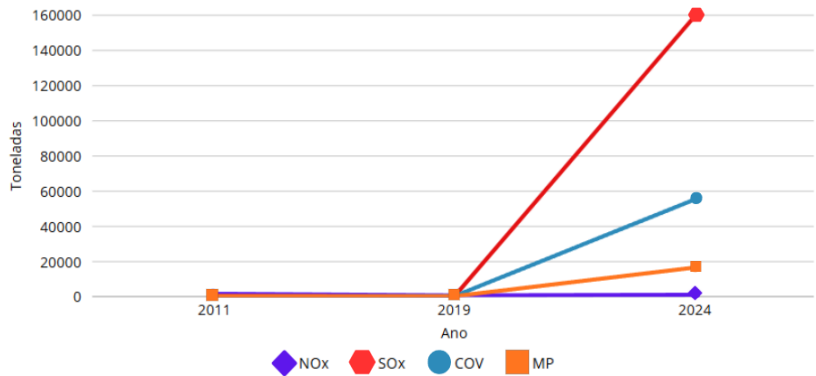
Fonte: Elaboração própria baseado nos relatórios de sustentabilidade da Usiminas.

Os relatórios da Usiminas mostram a quantidade de CO₂ em toneladas. O ano de 2011 registrou a emissão direta e indireta de 12,6 milhões de toneladas de CO₂. O relatório de 2018 divulgou apenas a emissão da usina de Ipatinga (MG) e a emissão indireta deste poluente para a geração de calor, vapor e energia, que alcançou o valor de 2,3 milhões de toneladas de CO₂. Em 2024 foi divulgada a emissão produzida pela mineração e pela usina de Ipatinga, que foi de 23,7 milhões de toneladas de CO₂, um aumento considerável.

Com relação aos óxidos de nitrogênio (NOx) e enxofre (SOx), compostos orgânicos voláteis (COV) e materiais particulados (MP), a Aperam não divulgou

dados no ano de 2010. Da mesma forma, não divulgou, na maioria dos anos, a quantidade de compostos orgânicos voláteis.

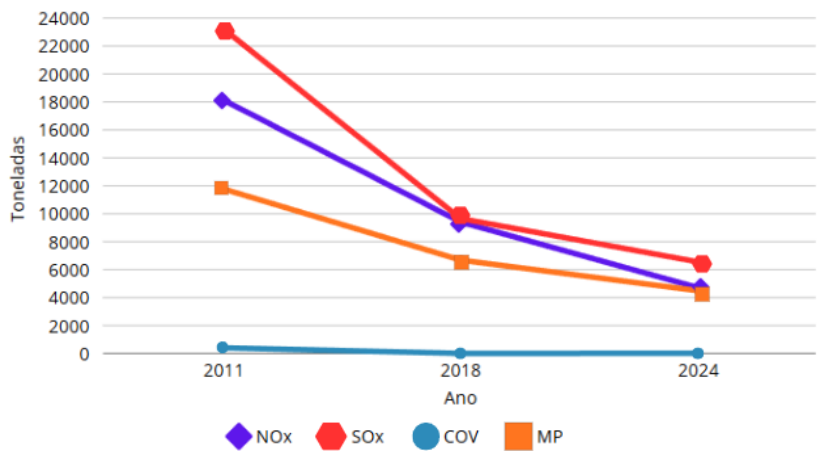
Gráfico 4: Emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) e enxofre (SOx), compostos orgânicos voláteis (COV) e materiais particulados (MP) por parte da Aperam



Fonte: Elaboração própria com base nos relatórios de sustentabilidade da Aperam (2019, 2019 e 2024).

A Usiminas, apresenta a quantidade em toneladas destes mesmos poluentes, sendo possível notar uma grande queda ao decorrer dos anos conforme o Gráfico 5.

Gráfico 5: Emissão de óxidos de nitrogênio (NOx) e enxofre (SOx), compostos orgânicos voláteis (COV) e materiais particulados (MP) por parte da Usiminas



Fonte: Elaboração própria com base nos relatórios de sustentabilidade da Usiminas.

Estas grandes quedas registradas no ano de 2018 se devem pelas medidas citadas no relatório de sustentabilidade do mesmo ano. Foram investidos cerca de R\$92,1 milhões para investimentos ambientais, sendo concedido até mesmo o Selo Verde (Instituto Chico Mendes) à Usiminas Mecânica, pela gestão socioambiental responsável. Na unidade de Cubatão, houve a substituição dos transformadores de óleo ascarel, uma mistura de hidrocarbonetos derivados de petróleo sendo tóxico e poluente, sendo reduzido o risco de contaminação do solo e do ar.

Resultados e discussão

A discussão dos resultados tem como objetivo analisar e interpretar os dados obtidos nas pesquisas feitas, e, a partir destas análises propor medidas que possam contribuir para a redução dos impactos ambientais identificados.

A partir dos relatórios que foram analisados e do Gráfico 2, nota-se uma grande queda entre o ano de 2016 e 2018. De acordo com o relatório de 2018, em que a Aperam registrou sua maior queda, foi citado o investimento de R\$3 milhões pela unidade da BioEnergia para projetos de melhoria ambiental, sendo obtido um novo queimador de gases, capaz de reduzir a emissão atmosférica dos fornos de produção de carvão vegetal.

Uma das formas de reduzir mais, seria a investimento nesta mesma área de energia renovável. Em seu site na parte de BioEnergia, a Aperam afirma que já vem usando carvão vegetal derivado do eucalipto para seus processos siderúrgicos. Uma outra fonte de energia renovável, simples de ser aplicada e eficiente, é a energia solar, fazendo com que vários processos siderúrgicos possam ser adaptados para métodos energizados e menos poluentes por serem fontes renováveis.

Por se tratar de região de vale, existem alternativas viáveis para a produção de energia limpa além do carvão vegetal, como a criação de usinas hidrelétricas em rios que descem de pontos mais altos do vale para regiões mais baixas. Também poderia ser utilizada a energia eólica ao analisar a direção do ar em determinadas áreas.

A Aperam e a Usiminas são grandes indústrias siderúrgicas, sendo assim, precisam de altas quantidades de variados tipos de minérios para a criação do aço, estas pilhas de minério são transportadas e armazenadas geralmente em locais a céu aberto, o que causa a dispersão de materiais particulados provenientes dos mesmos, para conter isto, uma solução encontrada pelas indústrias situadas na cidade de Volta Redonda (RJ) foi de cobrir as pilhas de minérios com suspensores

poliméricos biodegradáveis (*A voz da cidade*, 2023). Isso cria uma pequena camada de proteção contra a dispersão destes materiais particulados.

Figura 2: Aspersão de polímeros biodegradáveis em pilhas a céu aberto



Fonte: *A Voz da Cidade* (2023).

O estudo de Silva *et al.* (2017) demonstrou que a aspersão de uma camada polimérica sobre pilhas de carvão é uma estratégia eficaz para minimizar a oxidação, reduzir o decaimento de fluidez e limitar a emissão de material particulado. O polímero atua como barreira física impermeável, impedindo o contato direto do carvão com o oxigênio e a umidade do ar, reduzindo a formação de poeira e prevenindo a ignição espontânea. Essa técnica mostrou resultados expressivos em testes piloto e industriais, sendo capaz de preservar as propriedades coqueificantes do carvão e reduzir significativamente as emissões atmosféricas. Portanto, a aplicação de polímeros em coques representa uma solução tecnológica promissora e ambientalmente responsável, alinhada aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

Síntese da Trajetória da Pesquisa

Este trabalho buscou compreender os impactos da poluição atmosférica na Região Metropolitana do Vale do Aço, relacionando a atividade siderúrgica com a degradação da qualidade do ar e com as mudanças climáticas locais e globais. Por meio de pesquisa bibliográfica e documental, foi possível identificar que a emissão de gases poluentes e de material particulado fino (MP_{2,5}) é uma

consequência direta dos processos industriais de coqueificação, sinterização e do armazenamento inadequado de carvão mineral a céu aberto.

A leitura de artigos científicos, relatórios técnicos e dados ambientais permitiu destacar tanto os efeitos negativos da poluição, quanto às tecnologias emergentes de mitigação, como o uso de polímeros para controle da dispersão de partículas.

Resposta à questão central da pesquisa

De que forma as indústrias siderúrgicas do Vale do Aço contribuem para as mudanças climáticas e a poluição do ar, e como a aplicação de polímeros pode reduzir esses impactos?

As indústrias siderúrgicas da região contribuem significativamente para a degradação ambiental por meio da liberação de material particulado fino (MP_{2,5}) e gases de efeito estufa (CO₂ e NO_x), intensificando problemas como doenças respiratórias, ilhas de calor e chuvas ácidas. Essas emissões ocorrem principalmente durante o manuseio e a estocagem de carvão mineral, etapas nas quais há oxidação e combustão espontânea do material.

Reflexão sobre possibilidades e limitações do estudo

O estudo demonstra grande relevância local e urgência pública, ao integrar as dimensões ambiental, industrial e social da poluição atmosférica no Vale do Aço. A pesquisa fornece subsídios concretos para políticas públicas e estratégias empresariais que priorizem o controle de emissões na fonte, o uso de tecnologias limpas e a melhoria da qualidade do ar urbano.

A aplicação de polímeros como barreira supressora de pó é uma proposta inovadora, de viabilidade técnica e impacto imediato, podendo ser adotada por grandes indústrias da região, como a Usiminas e a Aperam South America, para reduzir emissões e preservar a saúde da população.

Entretanto, uma vez que as pesquisas têm caráter bibliográfico, há a limitação da ausência de experimentação direta em campo. Assim, recomenda-se que estudos futuros validem a eficácia das soluções poliméricas em diferentes condições climáticas e tipos de carvão, além de ampliar a análise para outros poluentes atmosféricos.

Mesmo com essas limitações, o trabalho cumpre seu propósito ao diagnosticar a gravidade do problema e propor uma solução viável, inovadora e sustentável,

reforçando a importância da integração entre ciência, tecnologia e responsabilidade ambiental no desenvolvimento regional.

Referências

CBN. [Número de internações por doenças respiratórias em Ipatinga \(MG\) é cinco vezes maior que a média nacional](#). 7 out. 2019. Acesso em: 5 out. 2025.

CHEN, Shuai *et al.* [Novel Cadmium Responsive microRNAs in *Daphnia pulex*](#). *Environmental Science & Technology*, [S. l.], v. 49, n. 7, p. 4303-4311, 2015. Acesso em: 12 out. 2025.

DIÁRIO DO AÇO. [Queimadas prejudicam milhares de clientes da Cemig no Vale do Aço](#). Ipatinga, 25 set. 2023. Acesso em: 9 out. 2025.

GRYCZAK, Marcelo; PERTZHOLD, Cesar Liberato. [Compósito compreendendo matriz polimérica e reforço composto de resíduo de carvão mineral, uso e processo de produção do mesmo](#). BR 102018074672-3 A2. Depósito em 29 nov. 2018, publicação em 9 jun. 2020. Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Acesso em: 15 out. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE CÂNCER. [Poluição do ar](#). [2022]. Acesso em: 8 out. 2025.

IQAIR. [World Air Quality Report](#). Goldach, Suíça: IQAIR, 2022. Acesso em: 5 out. 2025.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). [Air pollution](#), 2022. Acesso em: 8 out. 2025.

QUEIROZ, Marluce Teixeira Andrade; DIAS, Estefane Vieira. [Análise da Qualidade da Água do Rio Piracicaba, Minas Gerais, Brasil](#). *Inovae* [S.l.], v. 11 n. 1, p. 634-650, 2023. Acesso em: 24 out. 2025.

SILVA, Alexandre José de Souza. [Mitigação das emissões de dióxido de carbono na região do Vale do Aço-MG, através da utilização do gás natural](#). 2015. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015. Acesso em: 29 out. 2025.

SILVA, Guilherme Liziero Ruggio da *et al.* [Utilização de polímero em pilhas de carvão e estudo de decaimento de fluidez e matéria volátil](#). *In: Seminário de redução de minério de ferro e matérias-primas*, 47., 2017, São Paulo. *Anais [...]*. São Paulo: ABM Week, 2017. p. 204-214. Acesso em: 12 out. 2025.

VALERIANO, Márcio. [Pilhas de “minério verde” no Porto Sudeste despertam curiosidade](#). *Benetech Brasil*, 16 maio 2023. Acesso em: 15 out. 2025.

Relatórios de sustentabilidade

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2010](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2010. 52 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2011](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2011. 32 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2012](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2012. 17 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2013](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2013. 24 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2014](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2014. 36 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2015](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2015. 40 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2016](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2016. 46 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2017](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2017. 72 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2018](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2018. 62 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2019](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2019. 71 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2020](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2020. 63 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2021](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2021. 76 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2022](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2022. 68 p. Acesso em: 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [Relatório de Sustentabilidade 2023](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2023. 71 p. Acesso em : 15 out. 2025.

APERAM SOUTH AMERICA. [*Relatório de Sustentabilidade 2024*](#). Luxemburgo: Aperam South America, 2024. 125 p. Acesso em: 15 out. 2025.

USIMINAS. [*Relatório de Sustentabilidade 2011*](#). Belo Horizonte: Usiminas, 2011. 152 p. Acesso em: 15 out. 2025.

USIMINAS. [*Relatório de Sustentabilidade 2018*](#). Belo Horizonte: Usiminas, 2018. 35 p. Acesso em: 15 out. 2025.

USIMINAS. [*Relatório de Sustentabilidade 2024*](#). Belo Horizonte: Usiminas, 2024. 156 p. Acesso em: 12 out. 2025.

Capítulo 6

Poluição atmosférica: saúde respiratória em Timóteo

Amanda Santana Rodrigues; Any Vitoria Simplicio Calixto; Gabriela Bernardino Scopinho; Giovanna Valadares Silva; Laura Vitoria Delmasquio Pereira.

Prof. Romerito Valeriano (orientador); Pedro Henrique Silva (orientador); Luiz Henrique Santos Dias (coorientador).

Resumo: A poluição atmosférica tem causado impactos significativos na saúde respiratória da população urbana, especialmente em regiões com intensas atividades industriais, como o município de Timóteo, em Minas Gerais. Estudos apontam uma correlação entre poluição industrial e problemas respiratórios. Diante desses dados, torna-se essencial compreender como fatores industriais contribuem para o agravamento dessas doenças, bem como buscar medidas preventivas que possam reduzir os efeitos. Nesse sentido, esta pesquisa buscou analisar a situação da saúde respiratória da região de Timóteo por meio da investigação de dados e estudos sobre a poluição atmosférica, verificando de forma comparativa, com uma cidade de mesmo porte e menor índice de industrialização, a incidência dessas doenças. Além disso, buscou-se também compreender que medidas poderiam ser implementadas para uma melhoria na saúde da população sujeita a poluição industrial do ar. Como resultado, observou-se uma diferença significativa na incidência de casos entre as cidades comparadas, e, baseado no resultado, foi elaborada uma cartilha de orientações a respeito.

Palavras-chave: poluição atmosférica; doenças respiratórias; Timóteo; saúde pública; conscientização.

Os problemas respiratórios representam um conjunto de doenças que afetam o sistema responsável pela respiração, comprometendo a entrada e saída de ar dos pulmões e dificultando a oxigenação do corpo. Entre as principais doenças desse tipo estão a asma, a bronquite, a rinite alérgica e a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC). Essas enfermidades têm causas variadas, que vão desde fatores genéticos e infecciosos até ambientais, sendo a poluição atmosférica um dos principais agentes agravantes nos centros urbanos. Em ambientes onde a qualidade do ar é comprometida, o número de casos de doenças respiratórias tende a ser maior, e os sintomas se tornam mais severos e persistentes.

A poluição atmosférica é caracterizada pela presença excessiva de substâncias nocivas no ar, como dióxido de enxofre, monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, ozônio e material particulado. Esses poluentes são majoritariamente resultados das atividades antrópicas, como a queima de combustíveis fósseis por veículos terrestres e a atividade das indústrias e queimadas, que liberam gases e partículas tóxicas na atmosfera. Com o passar do tempo, a exposição a esse ar contaminado prejudica diretamente o sistema respiratório, irritando as vias aéreas, diminuindo a capacidade pulmonar e aumentando o risco de infecções e doenças crônicas.

A relação entre a poluição do ar e os problemas respiratórios é evidente em cidades industrializadas, onde os níveis de poluição são mais graves. Crianças, idosos e pessoas com predisposição a doenças respiratórias são os grupos mais vulneráveis, pois possuem sistemas imunológicos mais sensíveis. Além de afetar a saúde individual, a poluição atmosférica também gera impactos sociais e econômicos, como o aumento de internações hospitalares e gastos com tratamentos médicos. Estudos realizados pela Organização Mundial da Saúde (OMS) apontam que milhões de pessoas morrem todos os anos em decorrência de complicações relacionadas à má qualidade do ar, demonstrando que esse é um problema de alcance global, que exige atenção imediata e ações sustentáveis.

Sob essa ótica, esta pesquisa buscou investigar a relação da industrialização e da poluição atmosférica com a incidência de casos registrados de doenças respiratórias, comparando os dados das cidades de Timóteo (região com a economia voltada à indústria) e Caratinga (cidade sem focos industriais), que possuem números de habitantes e condições favoráveis para a realização da análise. Ademais, o trabalho propõe estratégias simples de combate às doenças respiratórias como: o manuseio indicado e correto de desinfetantes domésticos, a limpeza frequente dos ambientes de convivência e o asseguramento da ventilação adequada, que funcionam como técnicas de mitigação acessíveis e que vão contribuir para uma melhora em relação aos sintomas causados pelas afecções.

Poluição atmosférica e consequências na saúde humana

A poluição atmosférica é um dos principais problemas ambientais da atualidade, afetando tanto o meio ambiente quanto a saúde humana. Nesse contexto, diversos autores buscam conceituar o fenômeno, como Farinha (apud Nóbrega, 2022), que definiu a poluição atmosférica como mudanças na pureza e qualidade do ar geradas devido a emissões de substâncias químicas ou biológicas, podendo ser liberadas naturalmente, ou produzidas por fontes antropogênicas. Nóbrega trata acerca de como as atividades industriais têm comprometido a atmosfera e, conseqüentemente, a vida humana:

A contribuição das emissões provenientes das atividades humanas (emissões antrópicas) excede os níveis de emissão, e vários estudos mostram cada vez mais que a exposição a curto ou longo prazo à poluição do ar em grandes centros urbanos tem consequências para a saúde humana. (Nóbrega, 2022, p. 27).

A autora também demonstra que a saúde está relacionada aos gases emitidos pelas indústrias. Para fundamentar essa afirmação, é necessário obter informações sobre a origem dos gases poluentes:

Qualquer equipamento, processo, máquina ou sistemas podem emitir ou liberar matéria ou energia para atmosfera, podendo ser considerado, desta forma, uma fonte de poluição. As indústrias são reconhecidamente grandes fontes fixas de poluição atmosférica, responsáveis pela emissão de gases e líquidos tóxicos, assim como partículas sólidas nocivas à saúde humana e ao meio ambiente. (Ferreira, 2018, p. 3)

Esses poluentes emitidos por indústrias e áreas urbanas afetam diretamente a saúde das populações expostas, especialmente crianças e idosos, que são bastante suscetíveis aos efeitos da poluição. Estudo mostra uma associação positiva entre a mortalidade e entre a morbidade devido a problemas respiratórios em crianças (Santos, 2019). Além de comprometer a saúde respiratória, os poluentes industriais contribuem para o surgimento de doenças crônicas, como problemas cardiovasculares e hepáticos, e aumentam os custos com tratamento e internações. Sobre isso, Dias *et al.* (2023) destacam:

O impacto da poluição ambiental na saúde respiratória também se reflete na piora da qualidade de vida e no aumento dos custos com tratamentos médicos e internações. Pessoas expostas a altos níveis de poluentes podem apresentar crises frequentes de doenças respiratórias, reduzindo sua capacidade produtiva e aumentando a necessidade de intervenções médicas e uso contínuo de medicamentos. Além disso, a poluição pode agravar doenças cardiovasculares, criando um efeito cumulativo de riscos à saúde, tornando necessária a adoção de medidas eficazes para mitigar a emissão de poluentes em áreas urbanas (Dias *et al.*, 2023).

Entre os impactos mais observados da poluição do ar, destaca-se o aumento da incidência de asma brônquica, uma doença crônica caracterizada por inflamação e estreitamento das vias aéreas, que causa sintomas como a falta de ar, chiado no e peito e tosse.

Estudos epidemiológicos e toxicológicos demonstram a associação entre poluição do ar e asma brônquica. Os poluentes aéreos estão associados com o aumento de visitas aos serviços de emergência e de hospitalização por crise aguda de asma, assim como o aumento de sibilos expiratórios, de sintomas respiratórios e do uso de medicação de resgate. A prevalência da asma brônquica tem aumentado em todo o planeta, particularmente em regiões urbanas densamente industrializadas. Estudos prospectivos sugerem que a exposição aos poluentes aéreos possa levar ao desenvolvimento de novos casos de asma. Um exemplo é o grande aumento da

incidência de asma na China após o recente desenvolvimento industrial e, em consequência, o grande aumento da concentração dos poluentes. (Arbex *et al.*, 2012, p. 649).

Nesse mesmo contexto, diversas doenças que são causadas devido à poluição urbana, estão diretamente relacionadas ao PM_{2.5} (de Particulate Matter, em inglês, “matéria particulada” menor que 2,5 micrômetros).

Atualmente, há evidências claras de que a poluição do ar está principalmente associada ao risco de doenças respiratórias e cardiovasculares [3–8]. A poluição por PM pode agravar o estresse oxidativo, a inflamação e danos ao DNA em humanos, levando ao desenvolvimento e à progressão de doenças respiratórias e cardiovasculares. (Zhao *et al.*, 2025, p. 2)

Além disso, Zhao *et al.* (2025) apontam que, segundo meta-análises recentes, a exposição ao PM_{2.5} está associada a alterações no fígado, incluindo disfunção hepática, doenças crônicas do órgão e aumento do risco de câncer no fígado e colorretal, sendo que a intensidade dessas associações depende da dose de exposição a material.

Procedimentos metodológicos

O objetivo principal da pesquisa foi investigar os casos de doenças respiratórias, buscando uma possível relação deles com a poluição atmosférica e propor soluções que possam ser implementadas para reduzir seus efeitos. Para isso, realizamos uma série de procedimentos, como levantamentos bibliográficos, voltados principalmente à busca de informações em artigos científicos e sites governamentais. Levantamento bibliográfico é, nesse caso, um estudo feito pelos integrantes sobre a saúde respiratória e a poluição atmosférica, através da leitura de artigos e outras fontes de dados (Galvão, 2011), a incidência desses casos tanto da cidade de Timóteo quanto da cidade que possui o ar mais limpo.

As pesquisas foram realizadas a partir do município de Timóteo, localizado na Região Metropolitana do Vale do Aço (RMVA). A seleção foi feita, como já dito, por a região conter indústrias como a Aperam que emitem considerável quantidade de gases poluentes na atmosfera.

Para identificar os principais tipos de doenças respiratórias que atingem a população, utilizaram-se dados disponíveis em sites oficiais, como o DATASUS (Departamento de Informação e Informática do Sistema Único de Saúde), quais os casos dessas patologias na região durante o período de 2023 até 2025. Com esses dados, foi escolhida uma abordagem qualitativa, que opta por ler os dados de uma forma mais interpretativa, aproximando da visão dos participantes quanto

ao fato (Teis; Teis, 2012), separando-os entre gênero e idade, os casos de incidência dos residentes dessas regiões, para assim, saber quem são os mais afetados em cada município.

Para investigar a incidência, buscou-se os mesmos sites citados quando houve aumento ou diminuição dos casos das enfermidades pesquisadas, ou seja, quais as taxas de incidência e prevalência. Com isso, também conseguiu-se identificar quais os períodos do ano com maior ocorrência de casos.

O cálculo da taxa de incidência foi feito da seguinte forma: $(\text{número de casos} \div \text{total de habitantes}) \times 10000$. Aplicamos a fórmula não só para o município de Timóteo, mas também para o Brasil, Minas Gerais e para Caratinga, cidade que não tem uma alta emissão de poluentes e um número de habitantes similar ao das cidades industrializadas. Como elemento de controle para indicar se Timóteo tem uma incidência maior ou menor, usamos a taxa de incidência de Caratinga ao longo dos anos.

Além disso, foram pesquisados artigos que apontaram outras possíveis causas para o aumento dessas taxas, como, por exemplo, clima, estações do ano e faixa etária. Também buscamos referências acadêmicas que indicaram medidas simples que possam ser implementadas no dia a dia das pessoas para amenizar problemas respiratórios resultantes da poluição atmosférica.

Após os levantamentos buscou-se disseminar as informações pesquisadas com o objetivo de sensibilizar autoridades locais e a população sobre a importância de cuidar da qualidade do ar e como diminuir o impacto da poluição atmosférica na saúde.

Resultados

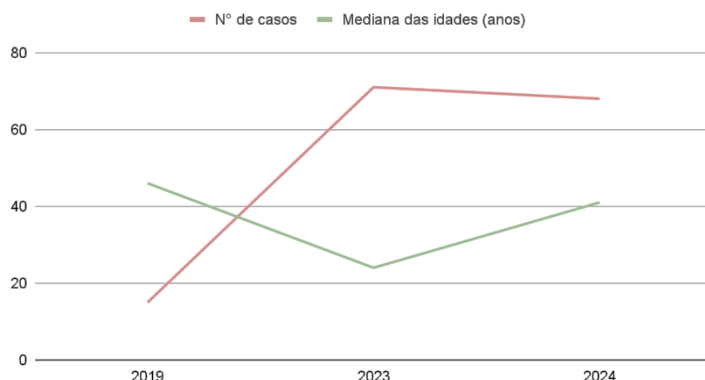
A implementação dos procedimentos metodológicos no site governamental DATASUS, revelou certos padrões no que diz respeito aos índices de doenças respiratórias de Timóteo e Caratinga.

Timóteo, centro urbano que possui níveis de poluição atmosférica acima do recomendado pela OMS (Organização Mundial da Saúde), apresentou um número elevado de casos dessas infecções entre os anos de 2019 e 2024. Vale ressaltar que os anos da pandemia do COVID-19 foram desconsiderados, uma vez que essa afeta diretamente o sistema respiratório.

Ao longo do período avaliado, os casos de doenças respiratórias no município aumentaram consideravelmente, passando de 15 para 71 casos em 2023. Esse pico resultou em uma incidência de 87 casos a cada 100.000 habitantes.

Além disso, notou-se que a parcela populacional mais atingida está acima dos 40 anos, ou seja, o entrave se manifesta com forte intensidade em adultos e idosos. Esse fato é a confirmação de estudos científicos que apontam idades avançadas como as mais suscetíveis a doenças respiratórias, e consequentemente, mais afetadas pela poluição atmosférica. Essa análise pode ser mais bem observada no gráfico abaixo.

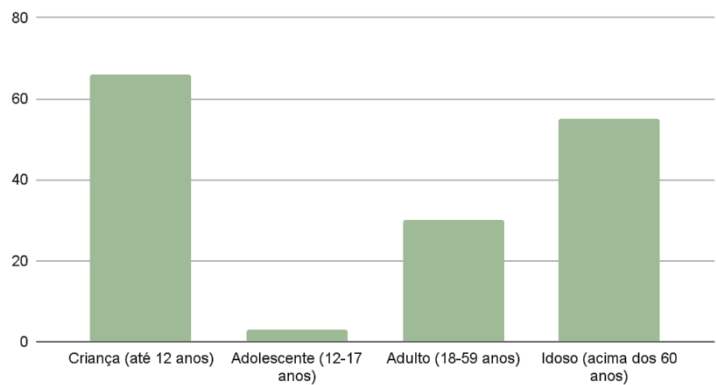
Gráfico 1: Doenças respiratórias — Timóteo (MG)



Fonte: DATASUS, 2019-2024, adaptado.

O fator idade destaca-se no gráfico abaixo, que evidencia a faixa etária idosa com 55 casos do total estudado. Além disso, é possível notar que as crianças são outro grupo extremamente vulnerável a essas doenças, com um total de 66 casos. Os adolescentes, por outro lado, representam a população de menor risco ao registrar apenas 3 casos.

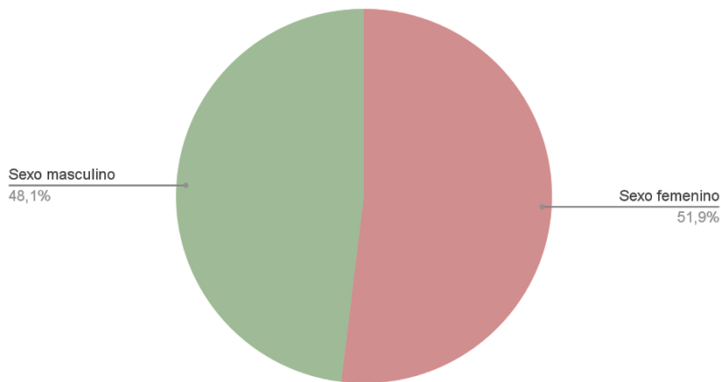
Gráfico 2: Casos por faixa etária – Timóteo (MG)



Fonte: DATASUS, 2019-2024, adaptado.

A quantidade de casos de mulheres e homens, por outro lado, não apresentam grandes diferenças, com os casos femininos representando 51,9% e os masculinos 48,1%. Por isso, têm-se a conclusão de que esse não é um fator de interferência relevante, como consta no gráfico a seguir.

Gráfico 3: Quantidade de casos por sexo – Timóteo (MG)



Fonte: DATASUS, 2019-2024, adaptada.

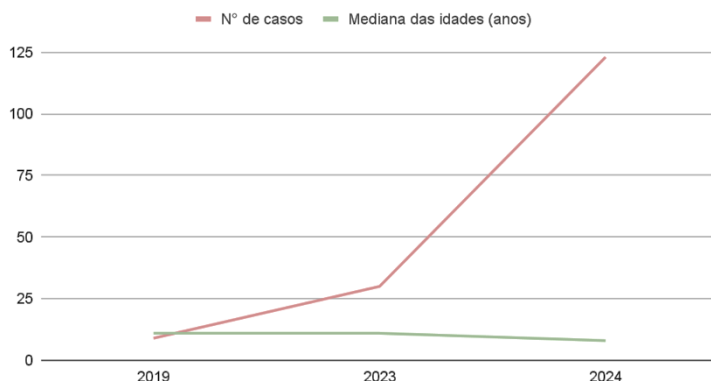
Para a comparação, foram realizados os mesmos estudos em Caratinga, município cuja qualidade do ar é considerada satisfatória. Logo, a metodologia, a base de dados e o período de referência foram mantidos.

Entre 2019 e 2023 o número de casos foi consideravelmente menor, o que se associa ao fato da saúde do ar da região. Contudo, no ano de 2024 as notificações

chegaram a 123 casos por conta de um surto de vírus respiratórios – entre eles, Síndrome Respiratória Aguda Grave (SRAG), Vírus Sincicial Respiratório (VSR) e Influenza (gripe) – conforme divulgado pelo G1. Com isso, as incidências subiram de 34,3 para 140,8 casos a cada 100.000 habitantes. Apesar de tal anormalidade, as pesquisas comprovam que cidades menos industrializadas apresentam, em geral, menor índice de doenças respiratórias.

A análise das medianas indica que a maior parte dos casos são de pessoas com menos de 20 anos. Sendo assim, em Caratinga, os grupos mais afetados são crianças e adolescentes, resultados distintos dos de Timóteo, mas ainda coerentes com os artigos científicos de referência. As informações podem ser contempladas no gráfico a seguir.

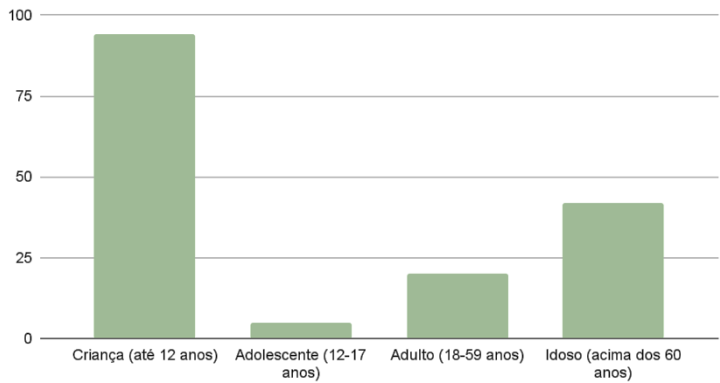
Gráfico 4: Doenças respiratórias – Caratinga (MG)



Fonte: DATASUS, 2019-2024, adaptado.

Analisando-se a quantidade de casos por faixa etária, conteúdo do próximo gráfico, observou-se que os fatos se concretizam, já que as crianças representam o grupo mais afetado, totalizando 94 casos. Os idosos, por sua vez, registraram 42 casos, sendo o segundo grupo mais vulnerável de Caratinga. Além disso, é possível notar que os adolescentes, assim como em Timóteo, não representam uma população de risco, uma vez que apenas 5 casos estão contabilizados.

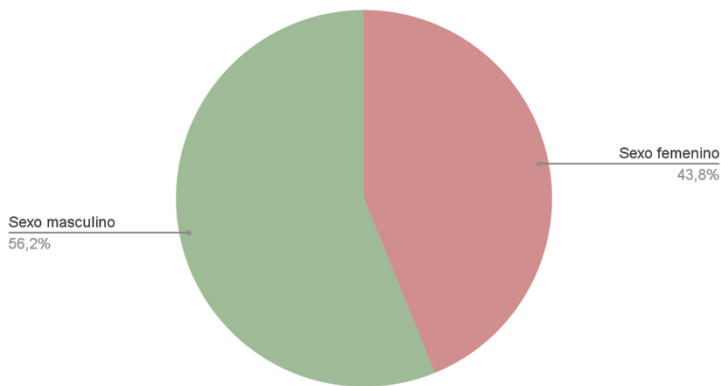
Gráfico 5: Casos por faixa etária – Caratinga (MG)



Fonte: DATASUS, 2019-2024, adaptado.

Ao investigar as possíveis diferenças entre os sexos, notou-se um resultado semelhante ao de Timóteo, apesar de um leve aumento nos casos masculinos, que passaram de 73 em Timóteo para 91 em Caratinga. Com isso, a taxa de homens que sofreram com doenças respiratórias passou a ser de 56,2%.

Gráfico 6: Quantidade de casos por sexo – Caratinga (MG)



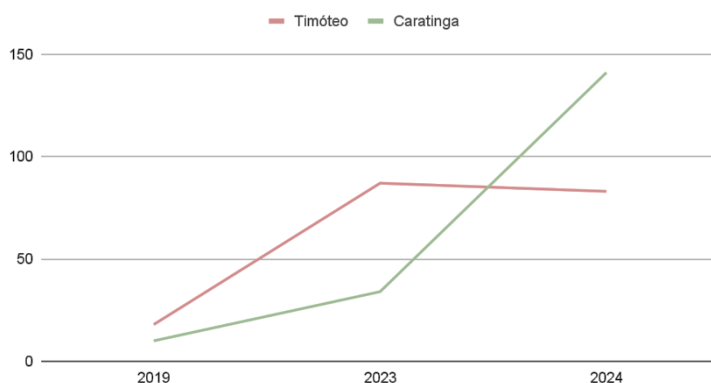
Fonte: DATASUS, 2019-2024, adaptado.

Por fim, o último gráfico apresenta uma comparação entre os índices de incidência de doenças respiratórias em Timóteo e Caratinga, entre os anos de 2019 e 2024, destacando as diferenças de comportamento entre os dois municípios ao longo do período analisado.

Nota-se que Timóteo registrou índices elevados de doenças respiratórias ao longo de quase todos os anos, atingindo o máximo de 87 casos a cada 100.000

habitantes em 2023, o que está associado aos seus níveis elevados de poluição atmosférica. Em contrapartida, os índices de Caratinga permaneceram baixos (entre 10 e 35 casos a cada 100.000 hab.), exceto por um pico atípico em 2024, explicado por um surto de vírus respiratórios.

Gráfico 7: Incidência a cada 100.000 habitantes



Fonte: DATASUS, 2019-2024, adaptado.

Quanto ao grupo mais afetado, observa-se outra distinção entre os dois municípios: enquanto em Timóteo os mais atingidos foram crianças e idosos, em Caratinga o impacto foi maior em menores faixas etárias. Essas diferenças reforçam a atuação de fatores demográficos e ambientais na distribuição dessas doenças.

Assim, os resultados apontam para a necessidade de estratégias que possam se adaptar a cada realidade, com foco na redução da poluição do ar e na proteção das populações mais vulneráveis a doenças respiratórias.

Medidas de mitigação

De acordo com a OPAS/OMS (2018), a Promoção da Saúde é a soma das ações da população, das autoridades sanitárias, dos serviços de saúde e de outros setores sociais e produtivos, direcionadas ao desenvolvimento das melhores condições de saúde individual e coletiva.

Com vista aos resultados obtidos à partir da pesquisa realizada, de que a poluição atmosférica urbana apresenta um efeito notável na saúde populacional, é necessária a proposição de medidas que visem a redução dos efeitos do fenômeno e a alta incidência de doenças respiratórias. A partir dessa necessidade, podem ser feitas subdivisões dos tipos de ações a serem realizadas.

A primeira subdivisão trata das ações políticas e governamentais, que envolvem a criação, a melhoria e a aplicação efetiva de leis, normas e programas que estejam relacionados à poluição atmosférica. No município de Timóteo, devem ser desenvolvidas leis específicas para manejo industrial sustentável, voltadas principalmente à atividade da Aperam, empresa produtora de aço inoxidável. Além disso, deve haver programas de conscientização populacional sobre o nível nocivo de poluentes presentes na atmosfera.

A segunda subdivisão se trata das ações direcionadas a determinados setores que mais contribuem para a condição atual do ar. Sendo assim, deve haver o incentivo ao desenvolvimento de tecnologias que possam substituir processos altamente poluentes e o incentivo ao uso dessas. Além disso, o controle das emissões deve ser controlado e reduzido através de filtros mais eficientes, por exemplo.

A terceira subdivisão de enquadra como o nosso foco de indicação e direcionamento, que se trata das ações individuais e comunitárias, que podem se relacionar com higiene, ações domésticas e prevenções.

Além disso, outra ação indicada é a prática regular de atividade física adequada, já que, de acordo com o Ministério da Saúde (2010), contribui para a manutenção da saúde e a melhoria da qualidade de vida. Em pessoas com doenças respiratórias, como a asma, programas de exercícios físicos podem favorecer a mecânica respiratória e a ventilação pulmonar, auxiliando no controle dos sintomas e na prevenção de agravamentos. Esses programas devem ser adaptados às condições individuais, incluindo exercícios respiratórios, caminhadas, alongamentos e atividades posturais.

Considerações finais

A pesquisa permitiu identificar a relação entre a poluição atmosférica e a incidência de doenças respiratórias nos municípios analisados. Os resultados confirmaram a hipótese inicial de que cidades com maior atividade industrial, como Timóteo, apresentam índices mais elevados dessas enfermidades, evidenciando o impacto direto da poluição na saúde da população.

Durante o desenvolvimento da pesquisa, a metodologia adotada mostrou-se adequada e eficiente, já que possibilitou conduzir a investigação de maneira organizada e comparativa entre as cidades. O uso do DATASUS permitiu identificar padrões de incidência de doenças respiratórias mais altos em Timóteo, cidade com maior atividade industrial. Porém, em 2024, Caratinga apresentou uma anomalia no registro de casos, devido a surtos virais, evidenciando que outros fatores também influenciam a ocorrência de doenças respiratórias.

Dessa forma, torna-se essencial investigar mais detalhadamente a interação entre surtos virais e fatores sazonais, avaliando como esses elementos combinados afetam a ocorrência de doenças respiratórias em diferentes cidades. Esse aprofundamento pode contribuir para a formulação de estratégias de prevenção mais eficazes, adaptadas às características específicas de cada região.

Referências

ALMEIDA, Elis. [Estudo indica que Timóteo \(MG\) é um dos municípios com o ar mais poluído do Brasil](#). *Brasil de Fato*. 10 abr. 2024. Caderno Cidades. Acesso em: 29 jun. 2025.

ARBEX, et al. [A poluição do ar e o sistema respiratório](#). *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, São Paulo v. 38, n. 5, p. 643-655, 1 out. 2012. Acesso em: 28 jun. 2025.

FARINHA, S. et al. [Impact of air pollution on daily asthma symptoms](#). *Acta Médica Portuguesa*, Lisboa, v. 35, n. 2, p. 119-126, fev. 2022. Acesso em: 16 jul. 2025.

FERREIRA, João Vitor Apolinário. [Lavadores de gases nas indústrias: uma breve revisão sobre os impactos da sua utilização no controle da poluição atmosférica, atendimento à legislação ambiental e saúde humana](#). 2018. 16 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Engenharia e Segurança do Trabalho) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Ponta Grossa, Ponta Grossa, 30 ago. 2018. Acesso em: 29 jun. 2025.

GALVÃO, Maria Cristiane Barbosa. O levantamento bibliográfico e a pesquisa científica. In: *Fundamentos de Epidemiologia*. Barueri: Manole, 2011.

NÓBREGA, Luciana Alves da. [Impacto da poluição atmosférica e fatores climáticos na ocorrência de asma](#). 2022. Tese (Doutorado em Modelos de Decisão e Saúde) – Centro de Ciências Exatas e da Natureza, Programa de Pós-Graduação em Modelos de Decisão e Saúde, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 6 dez. 2022. Acesso em: 29 jun. 2025.

SANTOS, Haroldo Lima; FIALHO, Marcelito Lopes; REIS, Karina Pregnotato; FRANCO, Márcia Villar; OLIVEIRA, Ricardo Bezerra de. [Relação entre poluentes atmosféricos e suas consequências para a saúde](#). *Intr@ciência*, n. 17 – mar. 2019. Acesso em: 29 jun. 2025.

TEIS, Denize Terezinha; TEIS, Mirtes Aparecida. [A abordagem qualitativa: a leitura no campo de pesquisa](#). *Biblioteca Online de Ciências da Computação*, v.1, p. 1-8, 2006. Acesso em: 27 out. 2025.

ZHAO, H.; ZHENG, X.; LIN, G. *et al.* [Efeitos da poluição do ar no desenvolvimento e progressão de doenças digestivas: uma revisão abrangente de revisões sistemáticas e meta-análises.](#) *BMC Public Health*, v. 25, p. 183, 2025. Acesso em: 15 out. 2025.

Capítulo 7

Soluções de climatização para o Vale do Aço: ar-condicionado indiano como alternativa de baixo impacto ambiental

Letícia Maschi Soares; Lucas Pereira Sette Nascimento; Maria Fernanda de Souza Assis; Pedro Henrique Soares da Silva; Pedro Luccas de Melo Soares.

Prof. Evandro Tolentino (orientador); Karoline Gonçalves de Paula (coorientadora); Lara Gabrielle Martins (coorientadora).

Resumo: O trabalho propõe a aplicação de soluções sustentáveis de climatização da região do Vale do Aço, buscando aliar conforto térmico e responsabilidade ambiental. Para isso, utiliza-se como base o modelo de ar-condicionado indiano, que funciona a partir do princípio do resfriamento evaporativo. Essa tecnologia se destaca por empregar materiais naturais de baixo custo, dispensando o uso de energia elétrica e reduzindo significativamente o impacto ambiental. Considerando as características climáticas do Vale do Aço, marcadas por altas temperaturas ao longo do ano e baixos índices de umidade durante a estação seca e períodos de estiagem e calor, a proposta mostra-se uma alternativa eficiente e adaptável à realidade local. Ela contribui para o conforto térmico em ambientes internos e promove a conscientização sobre o uso de recursos naturais.

Palavras-chave: ar-condicionado indiano; refrigeração evaporativa; climatização sustentável.

O aumento das temperaturas médias globais tem se tornado uma grande preocupação mundial, resultante do agravamento das mudanças climáticas. O aquecimento global é um fenômeno climático, sendo um aumento da temperatura média da superfície global, que pode ser provocado por fatores internos e externos (Silva; Paula, 2015, p. 43). Esse fenômeno climático tem sido provocado, principalmente, por atividades humanas, como a queima de combustíveis fósseis, o desmatamento, a agropecuária intensiva e o avanço das atividades industriais, que aumentam a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera.

As consequências abrangem diversos impactos, incluindo eventos climáticos extremos, períodos prolongados de estiagem e ondas de calor cada vez mais

intensas. Além dos impactos ambientais, esses eventos provocam consequências socioeconômicas significativas, como o aumento do desconforto térmico. Portanto, o aumento da temperatura global não representa apenas uma questão ambiental, mas também um desafio social e econômico que exige soluções tecnológicas e sustentáveis.

A região do Vale do Aço apresenta um clima caracterizado por elevadas temperaturas, o que tem impulsionado a busca por soluções de conforto térmico, especialmente o uso de aparelhos de ar-condicionado. Entretanto, o funcionamento desses equipamentos exige elevado consumo de energia elétrica e promove a emissão de gases que contribuem para o efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂) e os hidrofluorcarbonetos (HFCs). Tais substâncias, assim como outros gases de efeito estufa, intensificam os impactos ambientais e contribuem para o desequilíbrio climático, tornando urgente a adoção de tecnologias mais sustentáveis. O uso de aparelhos de ar-condicionado também pode levar a um alto consumo de eletricidade.

Diante desse cenário, é necessário o desenvolvimento de tecnologias de refrigeração mais eficientes e ambientalmente sustentáveis. Nesse contexto, o projeto tem como objetivo reduzir o consumo de energia elétrica e diminuir a emissão de gases poluentes associados ao uso de aparelhos convencionais de ar-condicionado. Para isso, o trabalho pretende testar materiais sustentáveis de baixo custo e desenvolver um protótipo de ar-condicionado indiano, uma tecnologia alternativa que utiliza princípios de resfriamento evaporativo e ventilação natural, adaptando-a às condições climáticas da região do Vale do Aço.

Nesse sentido, busca-se utilizar fontes de energia sustentável, contribuir com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da *Agenda 2030* (ONU, 2015) e oferecer um ambiente de conforto térmico eficiente, ecológico e de baixa emissão de poluentes. Dessa forma, busca-se a economia de energia e a redução da emissão de gases prejudiciais, que agravam o efeito estufa. O trabalho tem como objetivo final, investigar o funcionamento do ar-condicionado indiano, adaptado à realidade local, avaliando o seu desempenho térmico, ambiental, e econômico, promovendo assim uma alternativa viável e sustentável para o enfrentamento do desconforto térmico na região.

Fundamentação conceitual

Princípios termodinâmicos e transferência de calor

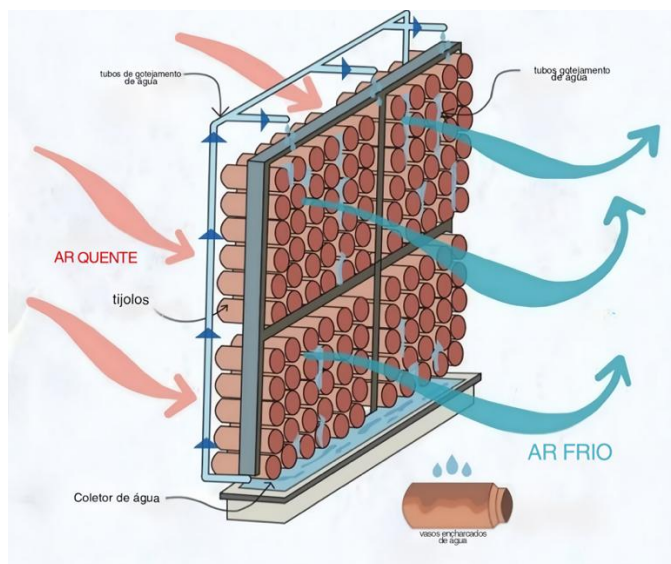
O ar-condicionado indiano se fundamenta no princípio físico da refrigeração evaporativa, um processo termodinâmico natural no qual a evaporação da água

absorve calor do ar ambiente, promovendo sua redução de temperatura e aumentando sua umidade. Esse fenômeno ocorre porque, durante a mudança de estado líquido para gasoso, as moléculas de água capturam energia térmica do ambiente, denominada calor latente de vaporização, resfriando o ar que entra em contato com a superfície umedecida (Azzam *et al.*, 2023).

De acordo com Sarwar e Fotedar (2024), esse sistema é eficiente por sua simplicidade, baixo custo e baixo consumo energético, já que não requer gases refrigerantes ou compressores elétricos. Segundo Azzam *et al.* (2023), os sistemas de refrigeração evaporativa apresentam melhor desempenho em climas de baixa umidade, pois a taxa de evaporação é mais alta nessas condições.

A adoção de tecnologias que utilizam princípios naturais, como a refrigeração evaporativa, dialoga diretamente com o conceito de arquitetura bioclimática, que busca adaptar construções às condições ambientais locais, otimizando a ventilação e o desempenho térmico.

Figura 1: Esquema do ar-condicionado indiano



Fonte: Imagem adaptada pelos autores, a partir de Ant Studio (s.d.).

A transferência de calor nesse tipo de sistema ocorre por convecção e evaporação simultaneamente. Quando o ar quente passa por superfícies porosas molhadas (como vasos de terracota ou tijolos), parte da água evapora, e a energia necessária para essa mudança de fase é retirada do próprio ar, diminuindo sua temperatura

e aumentando a umidade relativa. Esse equilíbrio térmico resulta em um microclima agradável, que promove conforto térmico com impacto ambiental mínimo.

Procedimentos metodológicos

O levantamento de informações foi realizado entre os meses de julho a outubro de 2025, por meio de pesquisas em sites, revistas científicas e plataformas acadêmicas. Foram consultados vários documentos, incluindo artigos científicos recentes, publicações técnicas, reportagens de revistas de design sustentável e materiais de referência normativa, como a NBR 15220-2:2022.

O estudo, de caráter exclusivamente teórico, limitou-se à análise e comparação de dados já existentes, sem a execução de testes experimentais ou construção de modelos físicos.

Os achados foram organizados em categorias temáticas: eficiência térmica, materiais sustentáveis, viabilidade econômica e impacto ambiental, permitindo uma visão integrada do tema. Conforme se apresenta adiante:

Eficiência energética e redução de emissões

O modelo indiano apresenta uma alternativa concreta à climatização convencional, que depende fortemente de energia elétrica, cuja geração pode participar das emissões de gases de efeito estufa (CO₂, CH₄ e HFCs). A produção e o uso intensivo de aparelhos de ar-condicionado convencionais aumentam significativamente a demanda por energia elétrica.

O sistema indiano, por outro lado, reduz drasticamente o consumo de energia, pois pode operar com ventilação natural, bombas manuais de água ou pequenos ventiladores movidos a energia solar. Isso resulta em uma pegada de carbono muito menor, contribuindo para o cumprimento dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, especialmente os ODS 7 (Energia limpa e acessível), 9 (Indústria, inovação e infraestrutura) e 13 (Ação contra a mudança global do clima).

Segundo matéria publicada pela *Casa Vogue* (2017), o modelo proposto pelo escritório de design Ant Studio é capaz de atingir quedas de temperatura de entre 5°C a 10°C, dependendo da umidade e da intensidade do fluxo de ar, o que representa uma solução prática e ecológica de climatização. A eficiência energética desse sistema também está alinhada com os princípios da NBR 15220-2:2022 (ABNT, 2022), que atualiza o desempenho térmico das edificações no Brasil, e

incentiva o uso de estratégias passivas para promover conforto térmico com menor consumo de energia.

Design e tipologias de refrigeração evaporativa

Existem dois tipos principais de refrigeração evaporativa: o evaporativo direto, em que o ar é umidificado ao passar por uma superfície molhada, e o evaporativo indireto, em que o ar é resfriado sem aumento significativo da umidade interna. O sistema direto é mais simples e de baixo custo, sendo amplamente utilizado em regiões áridas e semiáridas. Já o indireto é ideal para ambientes internos e climas mais úmidos, onde o excesso de umidade pode causar desconforto.

Um exemplo moderno e eficiente desse conceito é o design desenvolvido pelo Ant Studio, em Nova Deli, que utiliza cones de terracota dispostos em colmeias. O ar quente passa por esses módulos porosos e umedecidos, e o formato cônico cria um efeito de vórtice que aumenta a velocidade do ar e intensifica o resfriamento (*Casa Vogue*, 2017; *Superinteressante*, 2023). Essa tipologia demonstra como o design sustentável pode ser aplicado de maneira criativa, unindo arte, tecnologia e funcionalidade ambiental.

No contexto brasileiro, soluções semelhantes podem ser adaptadas usando materiais de baixo custo, como tijolos cerâmicos, vasos de barro e estruturas de bambu ou madeira de reflorestamento. Isso torna o sistema acessível e compatível com realidades locais.

Materiais sustentáveis e acessíveis

Os materiais desempenham papel essencial na eficiência do ar-condicionado indiano. A terracota e o tijolo cerâmico são materiais ideais para esse tipo de climatização, pois têm alta porosidade, baixo custo, boa resistência térmica. Além disso, sua produção acarreta baixo impacto ambiental.

Esses materiais permitem que a água se infiltre lentamente pelos poros e evapore gradualmente, garantindo a manutenção do processo de resfriamento. São amplamente disponíveis no Brasil e podem ser obtidos a partir de processos produtivos de baixo consumo energético.

O uso desses materiais também está em conformidade com princípios de construção sustentável e economia circular, pois podem ser reciclados, reaproveitados e até combinados com resíduos da construção civil. Essa abordagem reduz o desperdício e incentiva práticas relativas ao ODS 12 (Consumo e produção responsáveis), da *Agenda 2030*.

Contexto histórico e adaptação local

A refrigeração evaporativa é uma tecnologia ancestral, com registros de uso desde o Antigo Egito e a Pérsia, onde jarros de cerâmica e torres de vento eram construídos para resfriar ambientes (Sarwar; Fotedar, 2024). Com o passar dos séculos o princípio foi aperfeiçoado e adaptado por arquitetos e engenheiros modernos. No século XXI, escritórios de arquitetura como Ant Studio e CoolAnt aplicaram modelagens computacionais e simulações de fluxo de ar para aprimorar a geometria e maximizar o desempenho térmico dessas estruturas (*Casa Vogue*, 2017).

No Brasil, iniciativas inspiradas nesse modelo vêm surgindo em regiões de clima quente e seco, como o Nordeste e o Centro-Oeste. Versões simplificadas com tijolos porosos e pequenos ventiladores têm apresentado bons resultados de redução térmica, especialmente em construções populares.

O Vale do Aço, por sua vez, possui características climáticas que tornam o sistema parcialmente viável. Embora a região apresente umidade relativa mais elevada durante parte do ano, há períodos de seca em que a refrigeração evaporativa pode ser eficiente e sustentável, especialmente em espaços semiabertos e residências ventiladas naturalmente. Segundo Azzam et al. (2023), a eficiência desses sistemas depende diretamente da umidade relativa do ar. A eficiência é mais alta em condições de clima quente e seco.

Limitações, manutenção e impactos sociais

Apesar das vantagens, o ar-condicionado indiano apresenta limitações funcionais. Seu desempenho é menor em regiões de alta umidade, pois a capacidade de evaporação da água diminui. É necessário realizar manutenção periódica, incluindo troca de água e limpeza das superfícies, para evitar acúmulo de sujeira, mofo ou proliferação de mosquitos (*Ciclo Vivo*, 2018).

Ainda assim, trata-se de uma tecnologia de baixo custo e alta replicabilidade, que pode gerar impactos sociais positivos, sobretudo em comunidades de acesso limitado à energia elétrica. Além de promover conforto térmico, esse tipo de solução estimula a inovação social e tecnológica, fortalecendo a cultura da sustentabilidade e democratizando o acesso à climatização em áreas vulneráveis.

O uso de sistemas evaporativos representa um avanço no campo da arquitetura sustentável, pois junta eficiência térmica, acessibilidade e respeito ambiental. Também incentiva a conscientização coletiva sobre práticas de construção mais ecológicas e resilientes às mudanças climáticas.

Síntese dos resultados

Os resultados indicam que o ar-condicionado indiano pode ser uma alternativa sustentável para o Vale do Aço. Durante o estudo, ficou claro que a principal vantagem é o baixo consumo de energia e a simplicidade na construção, o que o torna acessível para diferentes classes sociais. Ainda assim, algumas dúvidas surgem quando pensamos em sua aplicação prática. Sua eficiência depende das condições climáticas, já que funciona melhor em locais quentes e secos, porque depende da evaporação da água para resfriar o ar. Em períodos mais úmidos, a eficiência tende a cair.

Mesmo assim, com algumas adaptações, como o uso de materiais certos e a combinação com a ventilação, é possível continuar mantendo bons resultados. Esses ajustes mostram que a tecnologia pode se ajustar às condições regionais, desde que seja bem planejada.

Outra questão levantada é sobre a real sustentabilidade desse tipo de climatização. Por não utilizar energia elétrica em grande escala e nem gases poluentes, o ar-condicionado indiano é mais ecológico que os outros aparelhos convencionais. Há a possibilidade de integrá-lo com painéis solares, o que aumentaria ainda mais a economia de energia e reduziria os impactos ambientais.

Apesar de todos esses benefícios ainda há desafios a enfrentar. É preciso pensar na durabilidade dos materiais, na manutenção, e principalmente como garantir conforto térmico nos meses mais úmidos. Esses pontos mostram que o tema ainda precisa ser pesquisado e testado em diferentes situações, para que se tenha certeza de sua eficiência a longo prazo.

Se bem adaptado à realidade local, o ar-condicionado indiano pode se tornar um exemplo de solução simples e eficiente para o clima quente do Vale do Aço, contribuindo para construções mais sustentáveis e acessíveis.

Considerações finais

No decorrer deste estudo foi possível compreender que o ar-condicionado indiano representa uma tecnologia alternativa sustentável e eficiente, capaz de promover uma melhoria na temperatura e umidade relativa do ar. O projeto se mostrou eficiente no simples processo de refrigeração evaporativa, sendo ambiental ou mecânica, sem recorrer ao uso de gases ou ao alto consumo de energia.

Observou-se, entretanto, que a eficiência do modelo varia de acordo com as condições climáticas. O melhor desempenho deste aparelho ocorre nas áreas de

clima árido e semiárido, com baixas umidades e altas temperaturas, pois nestes locais a evaporação do ar é mais intensa não permitindo que a alta umidade promova malefícios ao local de uso. Já em ambientes mais úmidos, como a área estudada, o sistema tende a apresentar uma performance inferior, exigindo adaptações técnicas e estruturais para manter bons níveis de conforto térmico. Apesar dessas poucas limitações, o estudo demonstrou que é possível adaptar o ar-condicionado indiano para condições de alta umidade, como em muitos lugares do Brasil, especialmente por meio do uso de materiais locais e sustentáveis, como terracota, tijolos porosos e madeira de reúso. Além disso, a inclusão de fontes de energia renovável, como painéis fotovoltaicos, pode potencializar o uso sem desgastes ou custos elevados, garantindo operação mesmo em locais sem acesso contínuo à energia elétrica.

Outro aspecto relevante é o potencial educativo e social. Ao estimular o uso racional de energia e a redução de custos, a iniciativa contribui para a conscientização ambiental e pode incentivar pesquisas futuras sobre eficiência térmica, ventilação natural e ambientes mais arejados. Esses estudos podem explorar melhorias na temperatura interna e no controle da umidade, garantindo que a tecnologia seja eficaz sem gerar problemas estruturais. Além disso, algumas dessas propostas se alinham com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da *Agenda 2030* (ONU, 2015), especialmente: ODS 11 (Cidades e comunidades sustentáveis) e ODS 12 (Consumo e produção responsáveis).

Dessa forma, conclui-se que o modelo de climatização indiano pode servir de base para formas limpas de soluções sustentáveis e acessíveis para o conforto térmico, desde que seja adaptado ao clima de cada região em que for utilizado. No caso do Vale do Aço, o sistema pode ser incorporado a projetos arquitetônicos bioclimáticos, a espaços públicos e residenciais, ou ainda a projetos educacionais que incentivem a inovação ecológica e a preservação ambiental.

O ar-condicionado indiano não é apenas uma solução tecnológica, mas também um símbolo de inovação sustentável, que alia tradição, ciência e responsabilidade ambiental. Sua aplicação adaptada pode contribuir para cidades mais resilientes, confortáveis e comprometidas com o futuro do planeta. Ajustes nos materiais e na estrutura do equipamento podem potencializar sua eficiência, reforçando o potencial da tecnologia como solução sustentável e adaptável a diferentes contextos ambientais.

Referências

[A Honeycomb Interpretation](#). *Archello. Ant Studio*, [s.d.]. Acesso em: 18 out. 2025.

[Ar-condicionado de tubos de argila tem custo zero de energia](#). *CicloVivo*, 12 jan. 2018. Acesso em: 5 out. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). *NBR 15220-2:2022 – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos – Resistência, transmitância térmica – Métodos de cálculo*. Rio de Janeiro, 2022.

AZZAM, N.; ABDELRAHMAN, O. A.; AL-SANEA, S.; BAHADORI-JAHROMI, A. [Review of evaporative cooling systems for buildings in hot and dry climates](#). *Buildings*, v. 14, n. 11, p. 3504, 2023. Acesso em: 7 out. 2025.

[Índia usa técnica ancestral para enfrentar as altas temperaturas](#). *Superinteressante*, 27 jul. 2023. Acesso em: 5 out. 2025.

[Indianos criam ar-condicionado que funciona sem eletricidade](#). *Casa Vogue*, 11 set. 2017. Acesso em: 5 out. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). [Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável](#). Nova York: ONU, 2015. Acesso em: 5 out. 2025.

SARWAR, Nadeem; FOTEDAR, Shreya. [This ancient technology is helping millions stay cool](#). *Wired*, 9 jul. 2024. Acesso em: 5 out. 2025.

SILVA, Robson Willians da Costa; PAULA, Beatriz Lima de. [Causa do aquecimento global: antropogênica versus natural](#). *Terrae Didática*, Campinas, v. 5, n. 1, p. 42-49, 2015. Acesso em: 15 nov. 2025.

Capítulo 8

Reciclagem de RCD no Vale do Aço: impactos e soluções

Adryele Martins Batista dos Santos; Anna Julia Barbosa Moreira; Clara Antonelli Gentile; Laura Menezes de Oliveira; Letícia Fernandes Pinheiro.

Prof.^a Rafaela F. Marques (orientadora); Bruno Oliveira Paes de Lima (coorientador).

Resumo: Essa pesquisa foi feita para o estudo da destinação dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) no Vale do Aço, tendo como principal objetivo entender os fatores e impactos em relação ao descarte e à reciclagem desses materiais. De acordo com dados coletados por meio de entrevistas, leitura de artigos e fichamentos é possível perceber que a maior parte dos RCD ainda são descartados, mesmo sabendo que 80% deles podem ser reciclados ou reutilizados, o que evidencia ainda mais a falta de incentivo e de preocupação em relação ao assunto, mostrando a real importância de uma gestão adequada e eficiente.

Palavras-chave: resíduos de construção e demolição; reciclagem; sustentabilidade; Vale do Aço; gestão ambiental.

De acordo com o *Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil*, publicado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, o país produziu cerca de 48 milhões de toneladas de Resíduos de Construção e Demolição (RCD) em 2021, o que equivale a aproximadamente 227 quilos de entulho por habitante (ABRELPE, 2022). O relatório citado também aponta que parte desses resíduos são descartados clandestinamente em áreas públicas, como terrenos baldios, margens de rios e periferias urbanas, o que revela a dimensão do impacto gerado pelo setor da construção civil.

Os RCD contribuem para a degradação ambiental e o desperdício de recursos que poderiam ser reutilizados. O coordenador pedagógico do Movimento Circular, Edson Grandisoli (*apud* Portal de educação ambiental – SEMIL, 2024), comenta que desses resíduos descartados, mais de 80% poderiam, de alguma forma, ser reciclados ou reaproveitados, como madeira, metais, concreto, tijolos, vidros, plásticos, entre outros. O presente estudo se formou a partir do nosso cotidiano e da nossa realidade local no Vale do Aço, região caracterizada por uma

economia fortemente ligada à indústria siderúrgica e à construção civil (Silva, 2011). Esse cenário contribui para o aumento no volume de resíduos da construção e demolição, porém também revela oportunidades de sustentabilidade, impulsionada pela presença de um setor industrial consolidado.

A partir dessa realidade, o projeto foi conduzido por meio do levantamento de dados sobre a destinação de RCD, analisando os fatores, os impactos e as soluções. O estudo teve como objetivo compreender a realidade local e criar uma base de argumentos para propor soluções, buscando estimular a conscientização sobre a importância da reutilização dos resíduos. Além disso, procurou-se evidenciar os problemas causados pelo descarte inadequado e demonstrar que a reciclagem, além de contribuir para a preservação ambiental, também enfrenta desafios ligados ao custo e à viabilidade econômica das obras. Todavia, as limitações técnicas e tecnológicas ainda se mostram um impeditivo para a ampliação de iniciativas voltadas à reciclagem de resíduos, o que evidencia a necessidade de investimentos e inovações no setor. De acordo com Nunes e Mahler (2024), apenas 7,2% em peso de RCD no Brasil são reciclados, e muitas instalações operam abaixo da capacidade devido a barreiras econômicas e de escala, o que reforça a dificuldade de tornar o processo mais acessível e eficiente.

Para organizar a compreensão do estudo, o capítulo será dividido em cinco seções principais. Na primeira seção, apresenta-se a fundamentação conceitual, que trata dos principais conceitos, detalhes e referenciais teóricos relacionados aos RCD, com foco na sua geração, impactos ambientais, bem como nas possibilidades e impossibilidades de reaproveitamento desses materiais. Em sequência, descrevem-se os procedimentos metodológicos adotados para coletar, analisar os dados obtidos e explicar as etapas da pesquisa. A investigação se baseou no levantamento de informações sobre reciclagem de RCD no Vale do Aço, complementado por fontes bibliográficas e informações locais.

Na terceira seção serão mostrados, de forma breve, os principais resultados e discussões. Os resultados da pesquisa serão discutidos em função do contexto local, evidenciando o volume crescente de resíduos, as dificuldades de reutilização e as oportunidades de sustentabilidade observadas na região. Posteriormente são apresentadas as considerações finais, onde estão ressaltadas as conclusões, reflexões sobre a gestão adequada de resíduos de construção e eventuais recomendações e propostas a serem adotadas para reduzir seus impactos ambientais e econômicos. Por fim, são listadas as referências bibliográficas utilizadas que fundamentaram o desenvolvimento do trabalho.

Fundamentação conceitual

A gestão dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD) tem se tornado um dos principais desafios ambientais da construção civil no Brasil. Esses resíduos incluem materiais como concreto, argamassa, madeira, metal, gesso e plástico resultantes de obras, reformas e demolições. Segundo a Resolução nº 307 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA, 2002), que estabelece diretrizes que orientam construtoras e órgãos públicos quanto ao manejo responsável desses resíduos, eles devem ser destinados de forma ambientalmente adequada, priorizando a reutilização a reciclagem e a recuperação de materiais.

O Brasil produz grandes volumes de RCD, estimados em cerca de 48 milhões de toneladas por ano (SEMIL, 2024). Apesar disso, somente uma fração é efetivamente reciclada, evidenciando lacunas na infraestrutura de triagem e na implementação de políticas públicas. Pesquisas apontaram que a gestão eficiente de resíduos depende não apenas da tecnologia, mas também de incentivos econômicos, conscientização social, dificuldade de transporte e fiscalização adequada. A baixa taxa de reciclagem nacional, que não ultrapassa 20% segundo a ABRECON, (*apud* SEMIL, 2024), evidencia as dificuldades enfrentadas para a expansão de práticas sustentáveis na construção civil.

Em escala regional, o Relatório de Avaliação Preliminar do Aterro Sanitário Central de Resíduos do Vale do Aço (FEAM), elaborado pela SCS Engineers (2011), aponta que grande parte dos resíduos ainda é encaminhada aos aterros, e que a falta de triagem adequada limita o reaproveitamento de materiais, confirmando padrões observados em outras partes do país.

Em perspectiva internacional, Nunes e Mahler (2024) apresentam uma revisão sobre o uso sustentável de materiais reciclados, mostrando que países que adotaram programas de incentivo à reciclagem e tecnologias de reaproveitamento alcançaram resultados expressivos na redução de impactos ambientais e na valorização econômica dos resíduos. O artigo reforça que a combinação entre políticas públicas e inovação tecnológica é essencial para fortalecer a economia circular no setor da construção civil.

Procedimentos metodológicos

Os procedimentos metodológicos foram feitos com o objetivo de entender melhor a situação da reciclagem dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD)

no Vale do Aço. Para essa pesquisa, foi realizada uma entrevista semiestruturada.³ Esse tipo de entrevista é caracterizado por ter um roteiro de perguntas já feito, possibilitando maior aproveitamento durante a coleta de dados.

A entrevista foi realizada com Rui Pinheiro Junior, um profissional da área da construção civil, proprietário da construtora Gamile. Durante a conversa, foram abordadas questões relacionadas à geração, destinação e reutilização dos RCD, bem como aos principais agentes envolvidos, aos tipos de resíduos mais comuns, desafios técnicos, custos, viabilidade econômica, benefícios ambientais e ações de conscientização.

Além desta entrevista, também foram feitos trabalhos de leitura, fichamentos, levantamentos bibliográficos, discussões internas, revisões e correções coletivas, o que contribuiu para o aprofundamento e a análise crítica dos dados obtidos. Foram também utilizados documentos e relatórios oficiais, como os da ABRELPE, ABRECON e SEMIL, que forneceram uma visão mais ampla sobre a gestão e reciclagem dos RCD na região do Vale do Aço.

Todas as informações obtidas foram analisadas e estudadas a fim de identificar as maiores dificuldades, oportunidades e caminhos para a melhoria do cenário na área de reciclagem dos RCD na região do Vale do Aço.

Resultados e discussão

Os resultados obtidos através dos objetivos e métodos da pesquisa serão discutidos a seguir, conforme o exposto. A partir das análises teóricas e práticas feitas pelo grupo, em relação à reciclagem e reutilização dos Resíduos de Construção e Demolição (RCD), os recursos ainda se mostram escassos para a tentativa de tratamento sustentável. Esta constatação foi também realizada com base na entrevista feita com Rui Pinheiro Júnior, representante de pisos e revestimentos da região e proprietário da Gamile, empresa construtora e incorporadora. Atualmente tem a projeção de construir em médio prazo 44 casas e 12 prédios no Vale do Aço. O responsável pela empresa apontou durante a entrevista a dificuldade e os desafios em dar uma nova vida ao que comumente chamamos “entulho”.

Segundo o profissional, o maior obstáculo na reutilização dos RCD é o custo exacerbado necessário para adquirir máquinas que facilitem o manuseio destes materiais, a fim de ser usado como meio e técnica na construção sustentável. Esta opção não é eficiente: “O custo se torna muito caro para você reutilizar. Uma máquina dessa de reciclagem de entulho de médio porte custa mais de 80 mil

³ Para ter acesso à entrevista completa, conferir o Apêndice do presente texto.

reais. Uma pequena custa algo em torno de 20 mil reais. [...] Eu acho que é uma boa tecnologia, mas não é acessível”, afirmou o entrevistado. Durante o diálogo, Pinheiro Junior cita as tecnologias construtivas de outros países, destacando a leveza e simplicidade dos materiais utilizados, sendo uma opção interessante a ser adotada no Brasil — como a chamada DryWall. Além disso, ressaltou que, em relação ao uso da máquina, apesar desta triturar a maioria dos RCD e ser uma proposta interessante, ela é ineficiente por conta do tamanho, tempo de execução, manutenção e necessidade de mão de obra, então um investimento, mesmo que a longo prazo, não seria a solução para a problemática atual.

Ao longo da conversa, ele abordou medidas tomadas pela prefeitura de Coronel Fabriciano — cidade da região do Vale do Aço —, em função de minimizar os danos. Entre elas, uma das soluções encontradas foi criar ecopontos ao redor da cidade, nos quais as pessoas poderiam descartar seu entulho gerado. Já na região, encontram-se aterros sanitários, onde o lixo também pode ser deixado. Na opinião do entrevistado, além de cada responsável de obra encontrar um destino para o seu próprio resíduo, deveria haver um projeto de conscientização por parte das prefeituras. Um projeto de incentivo de forma que esta barreira possa ser minimizada. Ela é um dos maiores desafios brasileiros atualmente, dado que o país produz cerca de 48 milhões de toneladas de RCD por ano (Portal de educação ambiental — SEMIL, 2024). Enquanto não houver uma alternativa ecológica, a população continuará escolhendo a opção mais viável, acessível e de menor custo, mas que pode trazer — e já está trazendo — consequências para o futuro do meio ambiente local e global, como a degradação e poluição do meio ambiente e dos elementos que o compõem, proliferação de doenças, risco à segurança da população, dentre outros fatores associados ao descarte inadequado destes materiais.

Considerações finais

Os Resíduos de Construção e Demolição (RCD), materiais como: concreto, argamassa, madeira, metal, gesso e plástico resultantes de obras, reformas e demolições, são um problema ambiental no Brasil pela forma que são tratados no setor da construção civil. O país produziu cerca de 48 milhões de toneladas apenas no ano de 2021, quantidade que gera preocupações ao sabermos que os RCD causam degradação ambiental ao serem descartados ao invés de reutilizados, pois há um desperdício de recursos, uma vez que mais de 80% poderiam ser reaproveitados. Observando a realidade atual do Vale do Aço, região de constante urbanização e atividades relacionadas à construção civil, que estão cada vez mais presentes no cotidiano, os RCD que antes pareciam um detalhe pequeno em uma visão ampla, se tornaram de extrema importância e preocupação.

Embora os RCD representem um problema que exija atenção e suas consequências sejam significativas, a prática de reutilização ainda é pouco comum e raramente considerada uma alternativa viável no setor da construção civil. Isto ocorre devido à barreira econômica, limitação técnica e tecnológica presentes nos setores industriais brasileiros, o que faz com que apenas 7,2% dos RCD no Brasil sejam reciclados, além de dificultar a ampliação dessa prática em escala nacional e regional. A baixa taxa de reciclagem evidencia as dificuldades enfrentadas pela construção civil, originadas na falta de incentivo governamental e políticas públicas, que poderiam tornar essa reutilização mais fácil e acessível neste setor. Essa situação também revela a carência de interesse do poder público em questões relacionadas ao meio ambiente e à sua preservação.

Em entrevista com Rui Pinheiro Júnior, proprietário da Gamile Construtora e representante de pisos e revestimentos, identificou-se que o maior desafio para que a reutilização dos RCD se torne uma prática comum é o alto custo de aquisição e manutenção das máquinas necessárias para o seu processamento. Segundo o entrevistado, os equipamentos de menor porte, que custam cerca de 20 mil reais, apresentam baixa eficiência, enquanto os de maior porte, que ultrapassam 80 mil reais, demandam manutenção cara e não geram retorno financeiro a longo prazo. Dessa forma, é possível notar que nem os maquinários de pequeno nem de grande porte oferecem soluções eficazes para a problemática.

Assim, considerando o que foi previamente exposto, é concluído que deveria haver um incentivo da prefeitura por meio de projetos sustentáveis e acessíveis, para que esta barreira econômica deixe de estar presente na construção civil e não seja mais um impedimento para a reutilização dos RCD, causadores de problemas ambientais já expostos. Enquanto não houver uma alternativa ecológica de baixo custo e que, simultaneamente, gere lucros a longo prazo, a opção do descarte continuará sendo preferência por sua facilidade diante algo que já há muito tempo vem sendo um problema ambiental e tendo grande influência no futuro dos cidadãos brasileiros.

Referências

ABRELPE. *Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2021*. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, 2023. Acesso em: 22 out. 2025.

[Brasil produz 48 milhões de toneladas de resíduos de construção e demolição](#). *Portal de Educação Ambiental - SEMIL*, 13 nov. 2024. Acesso em: 4 out. 2025.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). [Resolução n° 307, de 5 de julho de 2002](#). Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para gestão de resíduos da construção civil. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 136, p. 95-96, 17 jul. 2002. Acesso em: 15 out. 2025.

NUNES, Kátia R.; MAHLER, Cláudio F. [Resíduos de construção e demolição e economia circular: o estudo de caso de uma cidade brasileira](#). *Recent Progress in Materials*, v. 6, n. 4, art. 029, dez. 2024. Acesso em: 12 out. 2025.

SCS ENGINEERS. [Relatório de avaliação preliminar: aterro sanitário “Central de Resíduos do Vale do Aço”](#). Santana do Paraíso, 2011. Acesso em: 16 out. 2025.

SILVA, Vanessa Cristine. [Subsídios para a inserção do design como estratégia para agregar valor ao resíduo de siderúrgicas: caso do polo industrial do Alto Paraopeba, Vale do Aço e Zona da Mata, MG](#). 2011. Monografia (Especialização em Design) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Acesso em: 12 out. 2025.

Apêndice

Entrevistado: Rui Pinheiro Júnior

Data: 30/09/2025

Local: Sede da Construtora Gamile

LETÍCIA: Quais são os principais agentes envolvidos na geração e destinação de RCD na região?

RUI PINHEIRO: Dentro de uma obra, vários fatores geram esses resíduos. Desde a base, onde você tem que escavar o chão, tirar a terra. Se você não reaproveitar essa terra, você tem que mandar para um aterro sanitário ou alguma outra área que esteja precisando. Quando você começa a montar as ferragens para fazer a fundação, sobra muito ferro. Então, dentro da minha empresa, a gente faz um dimensionamento da área para que esse rejeito seja o mínimo possível. A maioria dos entulhos gerados na minha obra são reutilizáveis. A gente reutiliza muita madeira, muita ferragem, muita terra. Mas mesmo assim, nessa construção que a gente tem hoje, o modo de construção que a gente tem hoje com tijolo e tal, ainda gera um muro bem expressivo de resíduos.

LETÍCIA: Tem algum tipo de resíduo que é mais comum na construção e demolição do local? Quais? E quais são os mais descartados?

RUI PINHEIRO: Tem... eu considero resíduos naturais. E destes resíduos, eu considero a madeira dentro da obra. Porque ainda se usa muita madeira de escoramento e muita tábuas. E hoje, uma das coisas que eu mais trabalho na obra, junto com os pedreiros, é não cortar tábuas, não desperdiçar tábuas. Porque ela, além de ser cara, é um custo alto, ela é difícil de ser destinada. Hoje é enviado para o aterro sanitário, que tem aqui em Coronel Fabriciano. E eu já pesquisei, eu gostaria de comprar uma máquina de triturar tudo, só que ela é muito cara. Ela tritura cimento, concreto, tijolo, bloco e principalmente o gesso. O gesso não é aceito em vários locais de descarte, por conta da contaminação do solo. Então, se você pegar e triturar esse resíduo sólido, você consegue reutilizar ele pra reboco, pra outras coisas e tal. E também existe o resíduo ferroso, que é o ferro das obras. Esse resíduo normalmente eu reutilizo e raramente eu vendo pra ferro velho ou para reciclagem. O que dá maior volume hoje são os resíduos sólidos e a destinação é o aterro sanitário.

LETÍCIA: Existe algum sistema público ou privado de monitoramento da destinação do RCD atualmente aqui na região?

RUI PINHEIRO: Existe, pelo que eu conheço, existe a fiscalização da prefeitura municipal. Pelo meio ambiente, o chefe daqui chama Ivan. Ele é um cara bem dinâmico, bem inteligente na verdade. Ele faz o trabalho dele muito bem-feito, com conscientização, com palestras e tal. Privado eu não conheço, mas público tem a prefeitura. A prefeitura também implantou, para pequenas obras, vários pontos de ecoponto, que é onde as pessoas podem destinar entulho, um lixo maior, um sofá, uma cama que é jogada fora, etc.

LETÍCIA: Quais são os maiores desafios técnicos na reutilização do RCD?

RUI PINHEIRO: Na verdade, hoje a reutilização do RCD esbarra no custo, entendeu? O custo se torna muito caro para você reutilizar. Uma máquina de reciclagem de entulho de médio porte custa mais de 80 mil reais. Uma pequena custa algo em torno de 20 mil reais. Tem uma barata no mercado muito comum também. Uma pequena custa em torno de 20 mil reais. E o problema é esse: tem tecnologia e eu acho que é uma tecnologia legal, mas não é acessível. E o tipo de obra do Brasil hoje gera muito entulho sólido. As obras fora do Brasil usam muita tecnologia. Ela é muito mais leve. Muito mais prática e tão resistente quanto. Para você ter ideia, na hora de você vender um imóvel, os bancos que financiam, dependendo da tecnologia que você usar, ela não é aceita para a pessoa financiar o imóvel. Então você tem ainda que construir de forma arcaica para você conseguir atingir os parâmetros para estar financiando o imóvel.

LETÍCIA: Como é avaliado o custo-benefício dessas práticas?

RUI PINHEIRO: Toda obra tem um custo para você produzir, eu até falo que uma obra, uma casa, um galpão é uma obra de arte feita manualmente. Então tudo que gera custo agrega valor final, foi o que eu disse na resposta anterior. Se a tecnologia existe, mas ela é cara, ela não é empregada porque ela atinge o custo final do produto. Se fosse de forma mais fácil, até mesmo incentivo. Existe incentivo fiscal para lixo eletrônico, incentivo fiscal para o pessoal que cata lixo hospitalar, mas não existe um incentivo fiscal para quem reutiliza, quem usa tecnologia para a reutilização do lixo das construções. Então assim, falta ainda investimento e também empenho de quem cria as leis para que isso seja mais fácil. Só para falar um ponto que eu não falei com você: Quando eu fiz um loteamento, eu precisava descartar muita coisa, não tinha como descartar, era muita coisa. Eu fiz um buraco gigante no chão, cavei fundo, joguei árvore, joguei pedaço de entulho, cobri com terra e coloquei um asfalto por cima. Eu fiz um asfalto, uma rua. Então, daqui a um milhão de anos, se você for cavar lá o asfalto, vai achar restos de

árvore, restos de concreto, porque eu não tinha onde jogar, era inviável jogar em outro lugar, não tinha onde descartar. E não tinha uma tecnologia para eu reaproveitar.

LETÍCIA: Quais são os principais materiais reciclados a partir do RCD? Quais desses materiais são jogados fora? Eles normalmente são os mais reutilizados?

RUI PINHEIRO: O que é jogado fora que é reciclável ou reciclado é ferro, plástico dos tubos de PVC, o ferro dos vergalhões, dos arames. Eu acho que jogados fora só o resto de fio, mesmo assim em termos de volume é insignificante. Mas o que dá para reutilizar na construção civil é isso, é o aço e o PVC, o cobre dos fios, mas em volume menor. O resto tudo é lixo mesmo. Se você não tiver uma tecnologia para transformar, é lixo mesmo, tem que jogar fora.

LETÍCIA: Que campanhas de conscientização poderiam ser implementadas no Vale do Aço? E qual o papel que as prefeituras e órgãos ambientais deveriam adotar sobre os RCD?

RUI PINHEIRO: A primeira campanha que eu acho que deve ter é o descarte do lixo no local correto. Se você for ver, andar por alguns bairros aí, você vai ver que em vários locais está jogado resto de concreto, resto de gesso, lixo. Lixo, que poderia ser enviado para o local correto. O local correto em Fabriciano são os ecopontos, que eu não sei se Ipatinga e Timóteo tem,, mas em Fabriciano tem isso e o aterro sanitário. O aterro sanitário aqui em Fabriciano é particular. Em Timóteo eu sei que é particular também, não tem um da prefeitura. Então assim, a conscientização vem das pessoas que geram o entulho, e também das prefeituras, para conscientizar e destinar esse entulho para um local correto. Porque a gente tem um local correto, entendeu?”

LETÍCIA: Como essa reciclagem ajuda e minimiza os impactos ambientais? Dê sua opinião.

RUI PINHEIRO: Toda reciclagem é muito bem-vinda. Para você ter uma ideia, não é da sua época, mas quando eu era bem mais jovem, praticamente não tinha reciclagem. Porque o custo para se fazer uma reciclagem de latinha ou de vidro, era inviável, era muito mais caro você pegar e reciclar, do que você pegar e produzir. Mas a questão da reciclagem veio por uma questão ambiental mundial, não só do Brasil, não só do Vale do Aço. Então, foi se criando tecnologias e incentivos fiscais para que se tornasse cada vez mais barato. Você pega uma latinha e recicla, você pega um ferro e recicla, você pega um vidro e recicla. Porque chegou a hora que se produz tanto que você não tem mais onde colocar o lixo. Eu acho que

falta isso, falta incentivo mesmo, leis de incentivo para que possa cada vez mais usar mais o produto reciclador da obra.

LETÍCIA: Quais são os benefícios econômicos diretos e os gerados a longo prazo para empresas que adotam essas práticas de reciclagem dos RCD? Você acha que o lucro que estas máquinas trazem reciclando pode superar o valor investido?"

RUI PINHEIRO: Não, eu hoje acho que não. Os custos são altíssimos e realmente você não tem incentivo nenhum. É mais barato eu pegar um lixo e jogar fora do que eu pegar um lixo e reciclá-lo. Porque o custo empregado não é só o custo da máquina. Se a máquina fosse um robô, fosse lá e reciclasse, era muito legal. Mas e a manutenção? E o dia-a-dia? E o funcionário? E os produtos para eu estar agregando, os aditivos para eu estar agregando nesse componente, para eu estar transformando ele numa coisa que eu vou reutilizar? Então eu acho que a gente está bem abaixo do que deveria estar. Está muito arcaico ainda. Então a gente não consegue mensurar a longo prazo o quanto seria. Hoje eu falo que não é viável. Não, não valeria a pena.

Capítulo 9

Energia das plantas: tecnologia sustentável que gera eletricidade

Arthur Jales Campos de Freitas; Davi Macedo Ferreira Braga; João Paulo Leite Oliveira Vieira; Kayky Gustavo Silva Elias; Lucas Lopes Arthuso.

Prof. Evandro Tolentino (orientador); Felipe Freitas Moraes (coorientador).

Resumo: O trabalho propõe a geração de energia elétrica limpa por meio da fotossíntese vegetal, desenvolvendo uma tecnologia que aproveite o processo fotossintético das plantas para produzir eletricidade sem o uso de combustíveis fósseis ou outras fontes não renováveis. A proposta oferece uma alternativa energética que diminui a emissão de gases de efeito estufa e reduz os poluentes no meio ambiente. Além de mitigar os impactos atuais sobre o meio ambiente, a iniciativa visa melhorar a qualidade do ecossistema e estabelecer uma nova fonte limpa para a produção de energia, tornando o planeta mais sustentável. Ao decorrer do projeto serão apresentadas propostas que demonstram a utilidade da escolha dessa energia renovável e seus benefícios à sociedade, como a geração de empregos e produção de alimentos a depender das espécies escolhidas.

Palavras-chave: fonte de energia; sustentabilidade; plantas; leguminosas; fotossíntese.

Nos últimos anos, o Brasil vem enfrentando desafios na geração de energia, estando suscetível à crises energéticas por conta de suas fontes hidrelétricas (vulneráveis a períodos de estiagem) e outras fontes não-renováveis (GNPW Group, 2024). Diante disso, o projeto busca uma alternativa para o uso de fontes de energia sustentáveis, utilizando como referência a reportagem do canal “Euronews em Português”, especificamente o vídeo “Eletricidade verde de raiz – science”. A partir desse estudo, busca-se compreender como a produção de energia elétrica pode ocorrer por meio das plantas, integrando tecnologia e sustentabilidade.

A pesquisa parte da seguinte questão: *como produzir energia elétrica a partir de plantas?* Com base nela, definiu-se o objetivo principal de desenvolver um método para obtenção de energia elétrica de forma sustentável por meio do uso de plantas. Para alcançá-lo, foram determinados os seguintes objetivos específicos: *i)*

Compreender os mecanismos pelos quais as plantas podem gerar energia, em busca de avaliar as possibilidades de tecnologias; *ii*) Entender os impactos causados pela poluição nos centros urbanos e quais problemas podem advir da geração de energia não renovável; *iii*) Conhecer limitações e impactos ambientais dessas tecnologias para sabermos até onde podemos usá-la, para assim contribuir para o desenvolvimento dessa fonte renovável e limpa, que auxilia e se relaciona com os ODS 3 e 7; *iv*) Criar um protótipo do projeto com a tecnologia aplicada, para obter dados sobre seu funcionamento.

O trabalho busca solucionar problemas decorrentes de fontes de energia não renováveis e poluentes, como: termelétricas, nucleares e hidrelétricas (esta é renovável, mas pode trazer malefícios para o ecossistema local e emissão de metano da decomposição de matéria orgânica na barragem); propondo a produção de energia elétrica sustentável a partir de recursos simples. Caso sejam utilizadas plantas de espécies comestíveis, a iniciativa pode gerar não apenas eletricidade, mas também alimentos para a comunidade local e empregos, promovendo, assim, o desenvolvimento sustentável das cidades em harmonia com o meio ambiente.

Fundamentação conceitual

De acordo com os estudos de Santos *et al.* (2023) e Almeida (2024), a região metropolitana do Vale do Aço é uma região que sofre com diversos problemas de poluição e de sustentabilidade. A poluição nos centros urbanos e a dependência de fontes de energia não renováveis representam um desafio socioambiental interligado e urgente. O rápido crescimento das cidades concentra poluentes atmosféricos provenientes da queima de combustíveis fósseis (Grupo Quanta, 2022), o que está diretamente correlacionado à graves problemas de saúde pública, como doenças respiratórias (Villardi; Gouveia, 2023). Além do ar, a gestão desordenada do espaço urbano agrava a poluição de recursos hídricos, deteriorando a qualidade da água em rios e córregos urbanos (Andrade; Felchak, 2013). O problema é duplo: a matriz energética insustentável intensifica o problema atmosférico nas cidades, enquanto o planejamento urbano deficiente amplifica a degradação dos ecossistemas locais (Günther; Di Giulio, 2018).

Para mitigar esses impactos, se faz urgente uma transição energética alinhada a um planejamento urbano mais eficaz. Embora as fontes renováveis, como a energia eólica, ainda apresentem impactos ambientais específicos em nível local (Santos *et al.*, 2023), elas são a principal rota para reduzir a emissão de poluentes que afetam diretamente a saúde das populações urbanas. A solução reside, portanto, na adoção de políticas públicas intersetoriais que promova uma matriz energética

limpa e garanta a organização sustentável do espaço urbano, visando a melhoria da qualidade de vida e a resiliência das cidades.

Segundo Nascimento *et al.* (2016), o funcionamento da tecnologia gerada pela fotossíntese das plantas se baseia principalmente na relação de mutualismo entre as plantas e as bactérias presentes no solo e nas raízes. Desse modo, a planta produz glicose ($C_6H_{12}O_6$), que serve de alimento para si e aquela que não será usada pela planta é liberada no solo. Assim as bactérias exoeletrogênicas (transferem elétrons durante a digestão da matéria orgânica) associadas usarão essa glicose para fazer seu próprio alimento, a partir do processo de glicólise.

Esse processo é conhecido também por respiração celular aeróbica (pois tem presença de oxigênio), dividido em 3 etapas: glicólise, ciclo de Krebs e fosforilação oxidativa. O processo que nos interessa é o da glicólise. Este começa com as bactérias captando a glicose, liberada pelas plantas no solo. A partir daí a bactéria usará sua própria energia, em seu citoplasma, que é o ATP (trifosfato de adenosina) para converter a glicose ($C_6H_{12}O_6$) em duas moléculas menores chamadas piruvato ($C_3H_4O_3$). Durante esse processo, o ATP é convertido em ADP (difosfato de adenosina), e em alguns processos nesse citoplasma, ocorre a desidrogenação das moléculas, em que a molécula de NAD (responsável pelo metabolismo energético), adere ao hidrogênio e se torna NADH, que transporta os elétrons. Então o ADP é convertido de volta em ATP (energia).

Os elétrons liberados serão captados por um Ânodo e por um Cátodo, funcionando como uma espécie de pilha. A eletricidade é conduzida pois os elétrons, assim como em pilhas de batatas ou limões, são bem conduzidos em meios ácidos ou básicos, que reagem com os metais (cobre e zinco) e completam a corrente, produzindo uma ponte salina. Esses elétrons cairão em um solo com os resíduos gerados pela planta e pelas bactérias (N_2 , NH_3 , NO_2^-), e outros ácidos), que podem deixar o solo ácido e possibilitar a passagem de elétrons. Daí o surgimento de uma corrente, assim como a pilha de Volta.

As leguminosas são as plantas que mais liberam energia no solo durante seu ciclo de vida. Além de promover o enriquecimento do solo através da fixação de nitrogênio e do acúmulo de matéria orgânica (Cunha, 2005), as leguminosas, como o feijão-de-porco, o guandu, a mucuna e o amendoim forrageiro, são exemplos notáveis. O grupo de leguminosas possui, em suas raízes, bactérias do gênero *Rhizobium*, que realizam a fixação biológica do nitrogênio, transformando o nitrogênio atmosférico em formas utilizáveis pelas plantas, que ajudam na decomposição da matéria orgânica, contribuindo para a formação de húmus, um componente essencial para a fertilidade do solo. As leguminosas também têm ótima relação com as bactérias presentes na rizosfera (área do solo e das raízes da

planta). Estas bactérias estão mais presentes em relações com as leguminosas, porém a liberação de glicose no solo delas é menor do que plantas ricas em açúcares como a cana-de-açúcar e a beterraba.

De acordo com Gomes (2025), uma alternativa são as plantas de cobertura, como a crotalária, o milheto e o nabo, que ajudam na proteção contra a erosão, protegendo o solo da ação do vento e da chuva, assim evitando a perda de nutrientes e matéria orgânica, por acumular no processo resíduos vegetais e, ao decompor esses materiais, enriquecer o solo com matéria orgânica, melhorando sua estrutura e capacidade de retenção de água. Entretanto, elas não apresentam o mesmo potencial energético das leguminosas.

Segundo Vilar (2025), o ciclo de vida das leguminosas varia entre espécies anuais, bienais e perenes. Tipos de ciclo de vida, anual, completam todo o ciclo de vida (da semente à morte) em uma única estação de crescimento (ex: soja). Bienal, vivem por dois anos, com crescimento vegetativo no primeiro e produção de sementes no segundo (ex: trevo-doce). Perene, vivem por vários anos, produzindo sementes anualmente após o estabelecimento inicial (ex: alfafa e trevo-kura). Em suas fases do ciclo de vida, a primeira é a germinação e crescimento vegetativo, é a fase em que a semente germina e a planta desenvolve raízes, caule e folhas. A segunda é a fase reprodutiva, é quando a planta produz flores que, após a polinização, desenvolvem-se em frutos que contêm as sementes. A terceira é a fase de transição, algumas espécies passam por uma fase de alongamento dos caules, onde a planta muda de estrutura e se prepara para a reprodução. A última é a morte e dispersão das sementes. Após a produção das sementes, a planta morre e suas sementes são dispersas para iniciar novos ciclos.

Procedimentos metodológicos

A região de estudo tem intensa atividade industrial, o que resulta na alta emissão de partículas e gases poluentes na atmosfera. A proposta é utilizar plantas que possam auxiliar na fitorremediação desses poluentes, absorvendo parte das emissões. Um dispositivo de captação de bioeletricidade, como uma biocélula vegetal, será implementado no solo, próximo às raízes das plantas. Este dispositivo tem o objetivo de converter a energia liberada naturalmente pelas plantas durante seus processos metabólicos em eletricidade. Com o tempo, espera-se que a plantação não apenas gere energia elétrica, mas também, no caso de espécies comestíveis, produza uma fonte de alimento para a comunidade local.

Para dar início às atividades, foram realizadas pesquisas sobre os problemas enfrentados na região escolhida para análise — o Vale do Aço. Um dos problemas

encontrados é a emissão de gases de efeito estufa, que tem impactado significativamente a qualidade de vida local, e é atribuída à forte presença industrial, com destaque para a Usiminas em Ipatinga e a Aperam em Timóteo.

A partir deste levantamento inicial, a principal forma sustentável identificada para mitigar os efeitos do aquecimento global na região é a utilização de plantas. Através da fotossíntese, as plantas absorvem o CO_2 da atmosfera para produzir seu próprio alimento, contribuindo para o equilíbrio ambiental. Durante uma visita à Usiminas em junho de 2025, foi constatado que a empresa apoia o crescente movimento de arborização em Ipatinga, que já conta com 127 m^2 de área verde por habitante.

Inspirado por essa iniciativa, o projeto propõe a implementação de uma nova tecnologia que utiliza bioeletricidade gerada pelas plantas, em vez de se basear apenas na fotossíntese para a captura de carbono. Essa tecnologia, como demonstrado no vídeo “Eletricidade verde de raiz — science” do canal “Euronews em Português”, pode ser aplicada em áreas urbanas com o uso de plantas e fiações elétricas simples para conduzir a energia. Dependendo da espécie vegetal utilizada, é possível gerar energia limpa e renovável, promover a produção de alimentos orgânicos e naturais (como cebolinha, hortelã e feijão) e, consequentemente, criar empregos.

A tecnologia de geração energética se dá através da fotossíntese. Nesse processo a planta absorve a água, os nutrientes do solo, a luz solar e o CO_2 para produzir o seu próprio alimento, a glicose ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$). Após conhecer as limitações e os impactos ambientais da tecnologia, e o que poderia contribuir para o desenvolvimento dessa fonte renovável e limpa, a equipe pôde dar início à execução. Assim, foi desenvolvido um protótipo para coletar dados sobre seu funcionamento.

A criação do protótipo consistiu, inicialmente, na obtenção de uma planta leguminosa de pequeno porte em um vaso simples. Para realizar a análise, a leguminosa escolhida foi o feijão. Em seguida foi colocado um ânodo de zinco (negativo), mais especificamente foi utilizada uma chapa de telha de zinco, e um cátodo de cobre (positivo), utilizando um fio de cobre de nu de 10 mm, que foi dobrado para ter maior área de contato e inserido na terra. O zinco e o cobre funcionam como uma pilha conduzindo os elétrons pela fiação para um armazenamento de energia. No entanto, por falta de recursos, não foi utilizado um armazenamento, e sim uma lâmpada de LED como fim da corrente elétrica, para que esta pudesse ser medida.

Com a construção do protótipo foi possível coletar dados sobre a viabilidade da tecnologia. A principal variável é a quantidade de energia gerada pela planta em determinado tempo de seu crescimento.

Figura 1: Broto de feijão no vaso



Fonte: os autores.

Figura 2: Protótipo em sua montagem final



Fonte: os autores.

Resultados e discussão

O protótipo da tecnologia foi desenvolvido utilizando um broto de feijão, escolhido para captar a bioeletricidade gerada ao longo de seu ciclo de vida. Foram instalados no solo um ânodo de zinco e um cátodo de cobre, conectados por fios elétricos a uma pequena lâmpada de LED de 3V. A energia gerada foi conduzida pelos eletrodos, fazendo a lâmpada acender. Em paralelo, um segundo protótipo foi montado junto a uma planta de *kalanchoe* já desenvolvida. O objetivo é comparar a geração de energia entre as duas plantas ao longo de três semanas e determinar se a fase de crescimento ou a espécie influenciam a produção de bioeletricidade.

Devido à limitação de recursos para medições simultâneas, as coletas de dados foram realizadas em dias alternados: a análise do feijão é feita no início da semana e a do *kalanchoe* no dia seguinte. Essa alternância busca minimizar a interferência de fatores externos, como mudanças na luminosidade e temperatura, que poderiam afetar ambas as medições se fossem realizadas no mesmo dia.

Quadro 1: Cronograma de análise dos modelos

Data	Dia	Atividade
30/09/2025	Terça-Feira	Desenvolvimento do protótipo e primeira leitura do broto de feijão
01/10/2025	Quarta-Feira	Primeira leitura da <i>kalanchoe</i>
10/10/2025	Terça-Feira	Segunda leitura do feijão
11/10/2025	Quarta-Feira	Segunda leitura da <i>kalanchoe</i>
14/10/2025	Terça-Feira	Terceira leitura do feijão
15/10/2025	Quarta-Feira	Terceira leitura da <i>kalanchoe</i>

Fonte: os autores.

Semana 1: O sistema foi instalado em um broto de feijão, conectado a uma lâmpada de LED de 3V. A leitura inicial, obtida com um multímetro, indicou uma tensão de 0,72V. Simultaneamente, o mesmo sistema foi aplicado a uma planta de *kalanchoe* já desenvolvida, resultando em uma tensão de 0,74V.

Considere-se que a medição no broto de feijão foi a primeira, o resultado mais baixo era esperado ser em comparação com a *kalanchoe*, que, por ser uma planta adulta e com raízes mais estabelecidas, tenderia a apresentar maior atividade microbiana no solo, o que favorece a geração de bioeletricidade.

Figura 3: Primeira leitura com o broto de feijão



Fonte: os autores.

Figura 4: Primeira leitura com a *kalanchoe*



Fonte: os autores.

Semana 2: O broto de feijão inicialmente plantado não se desenvolveu, então novas sementes tiveram que ser cultivadas. As plantas, ao longo da semana, apresentaram um crescimento vertical significativo, um fenômeno conhecido como fototropismo, em que a planta busca a luz solar. Na medição, a tensão elétrica no sistema do feijão foi de 0,47V.

Paralelamente, na planta de *kalanchoe* (teste), que manteve seu tamanho, a tensão foi de 0,42V. Na segunda semana, foi surpreendente, pois a tensão em ambas as plantas foi consideravelmente menor do que na semana anterior. Isso ocorreu porque o sistema experimental ficou continuamente conectado à lâmpada de LED. Como não havia um capacitor ou bateria para armazenar a energia gerada, a carga constante da lâmpada causou a dissipação contínua da energia, esgotando rapidamente o potencial elétrico do sistema. Isso demonstra a importância de um sistema de armazenamento para manter a estabilidade da tensão e otimizar a coleta de energia.

Figura 5: Segunda leitura com feijão



Fonte: os autores.

Figura 6: Segunda leitura com *kalanchoe*



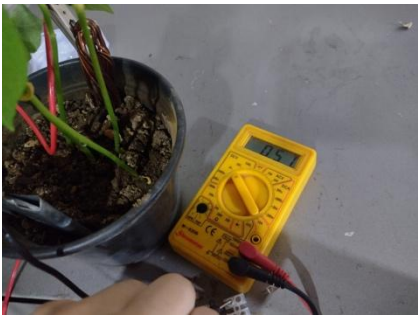
Fonte: os autores.

Semana 3: Um dos quatro brotos de feijão teve de ser removido do vaso para evitar a competição por nutrientes e espaço.

O resultado da medição do feijão surpreendeu novamente: a tensão subiu de 0,47V para 0,51V. Esse aumento indica que a produção de bioeletricidade superou a energia dissipada pelo sistema durante esse período.

De forma similar, a *kalanchoe* (planta de controle) apresentou um leve aumento, passando de 0,42V para 0,44V, pela mesma razão.

Figura 6: Terceira leitura com feijão



Fonte: os autores.

Figura 7: Terceira leitura com *kalanchoe*



Fonte: os autores.

A partir dos dados obtidos ao longo das três semanas de análise, observou-se que o protótipo demonstra a capacidade de gerar bioeletricidade a partir de processos pesquisados. Na primeira semana, foram registrados os valores de tensão mais altos: 0,72V para o feijão e 0,74V para a *kalanchoe*. É provável que esses resultados iniciais e similares se devam à diferença de potencial químico já existente na junção dos metais (cobre e zinco) no solo, e, portanto, não representavam ainda a contribuição plena da planta.

Quadro 2: Dados obtidos

Data	Planta	Volts (V)
30/09/2025	feijão	0,72 V
01/10/2025	<i>kalanchoe</i>	0,74 V
10/10/2025	feijão	0,47 V
11/10/2025	<i>kalanchoe</i>	0,42 V
14/10/2025	feijão	0,51 V
15/10/2025	<i>kalanchoe</i>	0.44 V

Fonte: os autores.

Na segunda semana, a tensão elétrica de ambas as plantas caiu para 0,47V (feijão) e 0,42V (*kalanchoe*). Essa queda se deve ao fato de que a energia gerada foi dissipada constantemente pela lâmpada de LED, que funcionou como uma carga permanente no sistema, consumindo a energia tão rápido quanto era produzida.

Na terceira semana, foi possível observar um resultado mais significativo: a tensão do sistema do feijão aumentou de 0,47V para 0,51V, enquanto a da *kalanchoe* subiu de 0,42V para 0,44V. A planta leguminosa (*Fabaceae*) mostrou-se mais

eficiente que a *kalanchoe* (*Crassulaceae*) nesse processo, gerando mais energia e apresentando um aumento mais expressivo na tensão. Apesar da melhora, a tensão ainda não foi suficiente para acender a lâmpada de LED de 3V de forma contínua, indicando a necessidade de otimizar a tecnologia para atingir a voltagem necessária.

Devido à falta de recursos, não foi possível armazenar a energia elétrica em uma pilha. Portanto obtivemos apenas o resultado da semana 3 como final. Apesar de não ideal, foi o suficiente para gerar algumas conclusões.

Considerações finais

O projeto surgiu a partir da ideia de implementar uma tecnologia sustentável que utiliza plantas para geração de bioeletricidade e absorção de poluentes. Em seu desenvolvimento, optamos em utilizar um broto de feijão, na primeira semana o sistema, que estava conectado em uma lâmpada de LED foi instalado ao broto, gerando uma carga de 0,72V (Considerando que por ser apenas um broto, já era de se esperar uma carga menor). Ainda na primeira semana foram feitos testes em outra planta, uma *kalanchoe* que obteve carga maior, de 0,74V. Na segunda semana o broto não se desenvolveu, então continuaram os testes na *kalanchoe*, e durante esse processo de testes outro broto de feijão foi germinado, que na terceira semana já estava suficientemente desenvolvido, obtendo no total quatro brotos, porém com a remoção do quarto broto de feijão para evitar a competição por nutrientes e espaço.

Após a obtenção dos dados do protótipo, foi possível confirmar a viabilidade da técnica: o desenvolvimento de um método para a obtenção de energia elétrica sustentável por meio do uso de plantas. Os resultados demonstraram que essa geração de bioeletricidade é de fato possível.

A tecnologia desenvolvida pode ter diversas aplicações práticas. Em projetos urbanos, por exemplo, ela poderia ser usada em árvores e canteiros para gerar e armazenar energia para a iluminação pública. Uma horta que utilize essa tecnologia pode fornecer tanto alimento para consumo pessoal ou comunitário, especialmente em áreas de vulnerabilidade social, quanto energia limpa e sustentável. Também é possível aplicar a tecnologia em telhados verdes, que, além de proporcionarem conforto térmico e melhor gestão da água, passariam a gerar energia sustentável. Em nível domiciliar, a tecnologia pode ser adotada por quem busca um benefício adicional ao cuidar de plantas, e serve para fins didáticos. Dessa forma, a tecnologia abre um leque de oportunidades com benefícios pessoais, biofílicos e ambientais, agregando a geração de energia limpa.

No entanto, é preciso considerar alguns desafios para o desenvolvimento da tecnologia. A morte das leguminosas após a frutificação, por exemplo, afeta a geração de energia, pois interrompe o processo. Isso exige supervisão e constante renovação das plantas. Outro ponto a ser observado é a limitação de recursos e materiais, como cobre, zinco e fiações elétricas, bem como o equipamento de medição (multímetro). Essas carências podem dificultar a adoção da tecnologia. Além disso, a planta e o sistema elétrico precisam de manutenção periódica, o que inclui regar, podar e trocar o vaso conforme o crescimento, além de verificar os fios e o sistema elétrico para garantir a continuidade da geração de energia.

Referências

ALMEIDA, Elis. [Estudo indica que Timóteo \(MG\) é um dos municípios com o ar mais poluído do Brasil](#). *Brasil de Fato*, 19 abr. 2024. Acesso em: 14 out. 2025.

ANDRADE, Aparecido Ribeiro de; FELCHAK, Ivo Marcelo. [A poluição urbana e o impacto na qualidade da água do Rio das Antas – Irati/PR](#). *Geoambiente On-line*, Goiânia, n. 12, p. 1-25, 2013. Acesso em: 29 set. 2025.

CUNHA, Léa A. [Plantas que enriquecem o solo](#). *Prosa Rural*, maio 2005. Acesso em: 13 set. 2025.

EF BRASIL. [Vaso fornece energia por meio de plantas e microrganismos no Peru](#). *Youtube*, 11, set. 2019. Acesso em: 9 maio 2025.

EURONEWS EM PORTUGUÊS. [Eletricidade verde de raiz – science](#). *Youtube*, 29, abr. 2013. Acesso em: 29 jun. 2025.

GNPW Group. [Crise energética no Brasil: um desafio que persiste até 2025](#). Rio de Janeiro, 23, out. 2024. Acesso em: 19 out. 2025.

GOMES, Jhonatah A. [7 Principais Plantas de Cobertura de Solo: características e aplicações](#). *Agroadvance*, 28, jan. 2025. Acesso em: 26 set. 2025.

[Qual o impacto das fontes de energias não renováveis no mundo](#). *Grupo Quanta*, 04, abr. 2022. Acesso em: 29 set. 2025.

GÜNTHER, Wanda Risso; DI GIULIO, Gabriela Marques (org.). [Ambiente urbano e sustentabilidade: desafios e oportunidades](#). São Paulo: Faculdade de Saúde Pública da USP, 2018. Acesso em: 29 set. 2025.

NASCIMENTO, Guilherme R., et al. [Geração de energia verde: captação da energia da fotossíntese](#). *XXI Ciência Viva*, Uberlândia-MG, p. 01-08, nov. 2016. Acesso em: 09 jun. 2025.

SANTOS, Adriana Vieira dos; *et al.* [Energia renovável não polui?](#) *Revista Educação e Ciências Sociais*, Salvador, v. 6, n. 11, p. 50-68, jul./dez. 2023. Acesso em: 29 set. 2025.

SANTOS, Jorge Luiz dos. [Poluição atmosférica por emissão de partículas sedimentáveis na área urbana de Ipatinga \(MG\): em foco a proposição de uma sequência didática contextualizada e interdisciplinar para o ensino de química](#). 2021. 147 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Educação Básica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2021. Acesso em: 14 out. 2025.

VILAR, Daniel. [Morfologia do Desenvolvimento em Gramíneas e Leguminosas](#). *Portal Adriconline*, 14, jan. 2022. Acesso em 17, out. 2025.

VILLARDI, Juliana Wotzasek Rulli; GOUVEIA, Nelson. [Poluentes atmosféricos advindos do espaço urbano e regiões metropolitanas como determinantes para a saúde das populações, e o papel das políticas públicas](#). IEA-USP, São Paulo, 5 jul. 2023. Acesso em: 29, set. 2025.

Capítulo 10

Energia das águas: turbinas que geram energia na ETA

Larissa Maria da Rocha Machado; Leticia Vieira de Oliveira; Maria Isabelle Firme Rocha; Marianne Mascarenhas Lima; Rafaela Miranda Souza.

Prof. Cícero Menezes da Silva (orientador); Matheus Mechetti Lulli (coorientador).

Resumo: Diante dos impactos crescentes das mudanças climáticas, este trabalho busca propor a instalação de turbinas auxiliares em pontos de vazão em Estações de Tratamento de Água (ETAs) com potencial energético excedente, de modo a aproveitar essa energia perdida em eletricidade útil para a própria rede elétrica. Ao contribuir para a redução do consumo energético dessas ETAs destacadas, a proposta se alinha a importantes metas globais de sustentabilidade, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) e 7 (Energia Limpa e Acessível), ao promover sustentabilidade e acesso à energia limpa e acessível, reduzindo impactos globais e a partir do uso de estruturas já existentes nessas estações. Assim, trata-se de uma proposta que se compromete com tecnologia e responsabilidade social, com potencial de aplicação em políticas públicas, voltada à preservação ambiental e ao bem-estar coletivo diante dos desafios climáticos atuais.

Palavras-chave: geração de energia; hidrelétricas; sustentabilidade.

As mudanças climáticas já fazem parte de nossa realidade, e encontrar soluções sustentáveis para lidar com seus impactos tornou-se uma prioridade. O aumento da temperatura média global, a intensificação de eventos climáticos extremos e a escassez de recursos naturais são reflexos diretos de um modelo de desenvolvimento baseado no consumo excessivo e na dependência de fontes de energia não renováveis como o petróleo, o carvão mineral, o gás natural, entre outros. Diante desse cenário, a busca por alternativas sustentáveis de geração energética se tornou essencial para garantir o equilíbrio ambiental e o bem-estar das futuras gerações.

Entre as diversas estratégias voltadas à sustentabilidade, o uso racional da água e o aproveitamento de seu potencial energético têm se destacado. A água, além de indispensável à vida, é também uma importante fonte de energia limpa.

Tradicionalmente, essa energia é explorada em grandes usinas hidrelétricas, que, embora eficientes, geram impactos ambientais significativos devido à construção de barragens e à modificação de ecossistemas naturais. No Brasil, mais de 60% da energia elétrica ainda é proveniente de usinas hidrelétricas, o que reforça a necessidade de buscar alternativas com menor impacto ambiental (UENO, 2024).

Nesse contexto, cresce o interesse por soluções sustentáveis e de menor impacto ambiental, como a geração hidrelétrica, que aproveita fluxos de água já existentes em sistemas de abastecimento e tratamento. Um exemplo promissor dessa abordagem é o aproveitamento do potencial energético excedente em Estações de Tratamento de Água (ETAs). Durante o processo de tratamento, a água passa por diferentes etapas que envolvem variações de pressão e altitude. Nessas etapas, parte da energia hidráulica é desperdiçada ao longo do sistema, um potencial que, se adequadamente aproveitado, pode ser convertido em eletricidade limpa.

Com base nesse recurso tecnológico pouco empregado, propõe-se aqui um modo de aproveitamento do potencial energético excedente em ETAs, por meio da instalação de turbinas auxiliares em pontos estratégicos de vazão. O objetivo é transformar a energia perdida no processo em eletricidade útil, podendo ser usada para o fornecimento à rede elétrica. Essa solução pode ser considerada uma solução potencialmente eficiente, econômica e ambientalmente responsável, por não exigir a construção de novas estruturas nem causar danos significativos aos ecossistemas.

Vale destacar que essa proposta se aplica apenas às Estações de Tratamento de Água (ETAs) que apresentam potencial excedente, ou seja, àquelas em que há diferença de pressão e vazão suficiente para movimentar turbinas sem comprometer o abastecimento, durante o processo de tratamento e distribuição da água. Nesses sistemas, há pontos de perda de carga e variações de pressão significativas, principalmente nas adutoras e nas saídas dos reservatórios. Esses pontos, muitas vezes ignorados no planejamento operacional, representam oportunidades reais de geração de energia limpa e renovável. Um exemplo desse tipo de aplicação ocorre em Joinville (SC), onde a tecnologia foi instalada na tubulação que liga a ETA do Pirai ao reservatório R-5 (localizado em Vila Nova), aproveitando a energia gerada pelo fluxo de água para produzir eletricidade limpa e renovável.

Além de contribuir para a redução do consumo energético das ETAs, o projeto também se mostrou alinhado a importantes metas globais de sustentabilidade, em especial os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da *Agenda 2030* da ONU. A iniciativa relaciona-se diretamente com o ODS 7 (Energia Limpa e Acessível), ao promover a geração de eletricidade renovável; com o

ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura), ao incentivar a modernização e o uso eficiente das estruturas já existentes; e com o ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), ao reduzir os impactos ambientais e estimular o uso de energia de baixo carbono.

Pergunta de pesquisa e objetivos

A pesquisa partiu da seguinte questão: *Como o potencial energético nas estações de tratamento de água que apresentam esse excedente pode ser aproveitado para gerar energia elétrica limpa e sustentável?*

Com base nessa pergunta, o estudo teve como objetivo geral analisar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do aproveitamento do potencial energético excedente especificamente em ETAs que apresentam esse excedente, visando à geração de energia elétrica.

Os objetivos específicos foram: *i)* Identificar pontos do sistema de tratamento de água com maior potencial energético; *ii)* Avaliar a eficiência das turbinas auxiliares instaladas nesses locais, e *iii)* Analisar a relação custo-benefício da implementação do sistema.

Fundamentação conceitual

As Estações de Tratamento de Água (ETAs) são locais onde a água bruta é tratada para se tornar água potável a ser distribuída para a população. Essa água passa por vários processos até ficar adequada. Segundo Arthur Sousa (2025), primeiro, ocorre o processo de remoção de partes maiores, como galhos, folhas ou lixo em geral. Essa etapa é essencial para que não haja danos aos equipamentos. Depois disso, iniciam-se os processos de coagulação e floculação, quando são adicionados produtos químicos à água, que agrupam as partículas menores em flocos maiores, facilitando sua retirada. Em seguida, ocorre a sedimentação, processo no qual esses flocos se acumulam no fundo do reservatório. Logo após, vem a etapa de filtração, onde os resíduos que não foram removidos anteriormente são retirados. Por fim, a água passa pela desinfecção, com a adição de substâncias (normalmente cloro) que eliminam microrganismos nocivos à saúde. Depois de tratada, a água é armazenada em grandes reservatórios e, então, distribuída para uso da população.

Todo o processo de captação, tratamento e distribuição depende de energia elétrica, seja para o funcionamento das bombas, sensores ou sistemas automatizados. Nesse sentido, a rica disponibilidade hídrica do Brasil não só viabiliza o abastecimento de água, como também sustenta o funcionamento das usinas

hidrelétricas, que fornecem a maior parte da energia consumida no país. Ou seja, os recursos hídricos brasileiros são essenciais tanto para garantir água potável quanto para gerar a energia que permite que esse sistema funcione plenamente. O Brasil é o país com a maior disponibilidade hídrica do planeta e possui como principal fonte de energia as usinas hidrelétricas, que respondem por cerca de 62% de toda a energia elétrica produzida no país (Ueno, 2024).

A princípio, a utilização de uma fonte renovável traz a impressão de que não há prejuízos ambientais, visto que a água é utilizada e lançada novamente ao rio. Ainda assim, é necessário discorrer sobre os impactos que as construções dessas estruturas trazem ao meio ambiente.

Uma usina hidrelétrica é uma estrutura de grande escala que tem como principal objetivo a conversão do potencial energético da água em energia elétrica, ou seja, eletricidade, utilizando de rios ou represas como base, funcionando de forma sustentável. O processo de geração de energia inicia-se com a energia potencial gravitacional da água armazenada em um reservatório a uma determinada altura. Ao liberar a água, sua energia é transformada em energia cinética rotacional (energia do movimento) através de turbinas e transformada em energia mecânica graças a pás que são forçadas a girar por causa da pressão da água. Por fim, ela é convertida em energia elétrica por meio de geradores (Ueno, 2024).

Contudo, o principal problema das usinas hidrelétricas não está em seu funcionamento, mas especialmente no processo de instalação, dividido em planejamento, implantação e operação. Durante a implantação, ocorrem ações como terraplanagem (nivelamento do solo), que causa impactos como assoreamento de corpos hídricos, comprometimento da qualidade da água e do ar, degradação da paisagem natural etc.; supressão de vegetação (remoção da cobertura vegetal), causando a perda da flora e da fauna da região além da indução a processos erosivos; e construção da barragem (estrutura construída para contenção de água), que entre os impactos causados, prejudica a qualidade do ar e da água, da paisagem natural, entre outros (Veronez; Lima; Tshibangu, 2022).

Além dos danos ecológicos, há sérios impactos sociais e culturais: comunidades inteiras, incluindo populações ribeirinhas, indígenas e moradores de cidades ou sub-regiões, que muitas vezes são removidas, perdendo seu território, vínculos culturais e modo de vida. Esses efeitos são, em grande parte, negativos e de longo prazo (Giongo; Barbosa; Mendes, 2018).

Diante dessas consequências, buscam-se alternativas mais sustentáveis para a geração de energia. Uma dessas soluções é a utilização do potencial excedente em Estações de Tratamento de Água (ETAs), que permite a produção de

eletricidade por meio do aproveitamento da força da água no sistema. Trata-se de uma tecnologia de menor impacto ambiental, pois utiliza estruturas já existentes, sem a necessidade de barramentos ou alagamentos.

Do ponto de vista técnico, a eficiência das turbinas auxiliares depende diretamente do volume de vazão e da diferença de pressão disponível no sistema. Em ETAs com desníveis acentuados entre captação, tratamento e distribuição, o potencial energético é naturalmente maior. Isso reforça a importância de estudos prévios de engenharia hidráulica para a identificação dos pontos de maior rendimento e para o dimensionamento correto dos equipamentos. A escolha adequada do tipo de turbina (Pelton, Francis, Kaplan ou de fluxo cruzado, por exemplo) também influencia na performance e na durabilidade do sistema.

Um projeto semelhante ao que é proposto neste estudo ocorreu na cidade de Joinville (SC), onde foi implantada uma iniciativa de geração de energia elétrica a partir das tubulações de água. A Companhia Águas de Joinville instalou uma turbina na adutora do reservatório R-5 (reservatório localizado em Vila Nova, onde é armazenada a água tratada pela ETA). O sistema aproveita a pressão da água para converter energia hidráulica em elétrica. A tecnologia desenvolvida pela empresa HIGRA permite gerar energia suficiente para abastecer dezenas de residências, sem comprometer o fornecimento ou a pressão da água distribuída à população. Estima-se que a turbina instalada no reservatório R-5 possa produzir até 40 kWh, proporcionando uma economia significativa à companhia (Joinville, 2024). A energia gerada é creditada pela Celesc (empresa responsável pela geração, transmissão e distribuição de energia elétrica em Santa Catarina) nas unidades operacionais, contribuindo para a eficiência energética do sistema. Dessa forma, o projeto demonstra a viabilidade do aproveitamento de fluxos de água existentes para a produção de energia limpa. Além disso, evidencia a redução de custos operacionais e impactos ambientais.

A iniciativa combina inovação tecnológica, sustentabilidade e economia. Desse modo, o exemplo de aproveitamento energético implementado pela Prefeitura de Joinville se destaca como modelo de geração de energia renovável em pequena escala. Entre os seus benefícios estão a redução dos custos operacionais e o aproveitamento mais eficiente de um potencial que já existia, mas não utilizado. Por outro lado, é preciso considerar o investimento inicial e os ajustes técnicos necessários para integrar as turbinas ao sistema. No caso do projeto de Joinville, o investimento foi de aproximadamente R\$ 2,4 milhões, com retorno superior a R\$ 8 milhões. As adequações técnicas levaram cerca de seis meses e incluíram, além da instalação da turbina, a implantação de uma adutora para viabilizar o projeto.

Essa experiência pode servir como referência para outros sistemas de saneamento urbano, sendo ponto de partida para as análises apresentadas mais adiante, que descrevem a metodologia adotada na pesquisa, os procedimentos realizados e as referências bibliográficas que sustentam o desenvolvimento do estudo.

Procedimentos metodológicos

O trabalho teve caráter descritivo e exploratório, pois buscou compreender e detalhar o potencial energético excedente em Estações de Tratamento de Água (ETAs), analisando suas possibilidades de aproveitamento para geração de energia elétrica limpa e sustentável. Segundo Oliveira (2011), a pesquisa descritiva tem como objetivo observar e registrar fatos sem interferência do pesquisador, enquanto a exploratória visa ampliar o conhecimento sobre determinado fenômeno, permitindo interpretá-lo de forma mais clara e aprofundada. Assim, o estudo descreveu as etapas do tratamento de água, identificou os pontos de maior perda energética e analisou a viabilidade de transformação desse excedente em eletricidade renovável, considerando também dados técnicos sobre consumo de energia, custos operacionais e emissões de gases.

Quanto à natureza da pesquisa, adotou-se uma abordagem qualiquantitativa, combinando interpretação crítica de conteúdos. A dimensão qualitativa envolveu a leitura e interpretação de artigos, relatórios e documentos sobre sustentabilidade e aproveitamento energético em ETAs, permitindo compreender conceitos como eficiência energética, reaproveitamento de recursos e impactos ambientais. A dimensão quantitativa consistiu na observação e comparação de dados sobre consumo de energia, custos operacionais e emissões de gases de efeito estufa, aproximando a teoria da prática. A abordagem qualiquantitativa possibilita uma compreensão mais completa dos fenômenos estudados nas ETAs.

Foi realizado, também, um estudo sobre os impactos sociais, já que para a construção de hidrelétricas e toda sua estrutura, populações indígenas e ribeirinhas sofrem diversos problemas. Entre eles, destacam-se: a realocação de comunidades para outras regiões, muitas vezes acompanhada de rupturas em seus estilos de vida; o alagamento de grandes parcelas territoriais, incluindo áreas consideradas sagradas, como os locais tradicionais de sepultamento; a invasão das terras indígenas, facilitadas indiretamente pela expansão das instalações do setor elétrico; a diminuição da disponibilidade da caça e a redução das áreas cultiváveis; e a proliferação da população de vetores, incluindo artrópodos e moluscos, levando ao aumento na incidência de malária e outras doenças infecciosas (Kofman, 2001).

Visamos identificar os potenciais ganhos sociais, ambientais e econômicos. Os ganhos sociais ocorrem por meio da redução de custos e tarifas públicas, uma vez que a própria ETA passa a gerar sua própria energia, diminuindo os gastos com eletricidade. Os ganhos ambientais decorrem da redução na emissão de gases poluentes e da geração de energia renovável. Já os ganhos econômicos estão relacionados ao aproveitamento de recursos já existentes e à diminuição do consumo de energia proveniente da rede pública.

O estudo caracteriza-se como um estudo de casos múltiplos, segundo Oliveira (2011), pois concentrou sua análise e estudo em diversas ETAs. A adoção do estudo de casos múltiplos foi essencial para observar de forma direta o funcionamento da estação que apresenta potencial excedente, as tubulações existentes da própria ETA e eventual possibilidade de adição de turbinas para um aproveitamento energético nas ETAs.

A coleta de dados foi realizada por meio de pesquisa bibliográfica. A análise de conteúdo foi adotada como técnica principal para a interpretação dos dados qualitativos obtidos durante a pesquisa. Esse método possibilitou uma leitura detalhada e sistemática das informações.

Em síntese, a metodologia adotada garantiu a integração entre pesquisa bibliográfica, análise qualitativa e quantitativa, e observação da vazão, propondo que o estudo fosse replicável e capaz de fornecer evidências sobre o aproveitamento do potencial energético excedente em ETAs.

O trabalho estudou a utilização de energia que antes era desperdiçada, pesquisando se a utilização dessa vazão não iria apenas reduzir custos e consumo de energia, como também contribuir para a preservação do meio ambiente, ao diminuir a dependência de fontes externas e reduzir a emissão de gases, em face da utilidade para o excedente do potencial energético, alimentando as próprias ETAs.

Resultados e discussão

A análise dos resultados obtidos com o desenvolvimento e a simulação do projeto de instalação de turbinas em ETAs permite compreender de maneira mais ampla o potencial de aproveitamento energético existente nesse tipo de sistema. Observou-se que, durante o processo de tratamento e distribuição, há pontos de perda de carga e variações de pressão significativas, principalmente nas adutoras e nas saídas dos reservatórios. Esses pontos, muitas vezes ignorados no planejamento operacional, representam oportunidades reais de geração de energia limpa e renovável.

A aplicação de turbinas hidráulicas nesses locais mostra-se uma alternativa promissora para transformar parte da energia dissipada em eletricidade. No presente projeto, o estudo de caso desenvolvido serviu como base para a análise de viabilidade da proposta, evidenciando que a geração estimada de energia obtida por meio da turbina projetada é suficiente para suprir parte da demanda energética do próprio sistema em que foi implementada. Essa redução no consumo de energia elétrica proveniente da rede convencional contribui diretamente para a diminuição dos custos operacionais e, em médio prazo, tende a compensar o investimento inicial realizado na instalação do sistema.

Ao projetar este tipo de tecnologia para ETAs de médio (como é o caso da ETA de Timóteo) e grande porte (o que se aplica a Estação de Ipatinga), é possível estimar ganhos ainda mais expressivos. Considerando-se o consumo médio de energia elétrica de uma estação convencional (que pode ultrapassar 25% de seus custos operacionais totais), a implementação de um sistema de microgeração hidrelétrica permitiria reduzir substancialmente essas despesas. A estimativa de redução de até R\$300 mil anuais em gastos com energia elétrica representa não apenas um alívio orçamentário, mas também um avanço estratégico para a sustentabilidade do saneamento básico no Brasil.

Além do aspecto técnico, a análise ambiental revelou benefícios significativos. Diferentemente das grandes usinas hidrelétricas, a instalação de turbinas em ETAs não requer desvio de cursos d'água, barramentos ou inundações de áreas naturais. Assim, o impacto ambiental é menor, uma vez que a infraestrutura já existe e o processo não interfere na qualidade da água distribuída à população. A energia gerada é limpa e livre de emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas ao alinhar-se diretamente aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7, 9 e 13).

Do ponto de vista econômico, embora o investimento inicial possa parecer elevado, a instalação de turbinas hidráulicas pode ser uma alternativa viável para converter parte da energia dissipada em eletricidade, uma vez que o retorno financeiro é garantido a médio prazo. A experiência de Joinville indica que um investimento de cerca de R\$2,4 milhões pode gerar retorno superior a R\$8 milhões em poucos anos, considerando a economia de energia elétrica e os créditos de compensação recebidos junto à concessionária.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de reinvestir a economia obtida em melhorias no próprio sistema de saneamento. Com a redução das despesas energéticas, as companhias de abastecimento poderiam direcionar recursos para a modernização dos equipamentos, automação dos processos, capacitação dos profissionais e expansão dos serviços para áreas ainda não atendidas. Dessa forma,

o projeto não se limita à geração de energia, mas contribui para a eficiência e qualidade do saneamento básico como um todo.

Socialmente, o projeto também apresenta impactos positivos. A adoção de tecnologias sustentáveis em órgãos públicos ou empresas de abastecimento pode vir a estimular a conscientização ambiental da população e o engajamento da comunidade em práticas voltadas à sustentabilidade. Além disso, a iniciativa cria oportunidades para o desenvolvimento de novos estudos, parcerias entre universidades e empresas, e a formação de profissionais qualificados em áreas como engenharia ambiental, elétrica e de recursos hídricos.

Contudo, alguns desafios ainda precisam ser superados. A falta de padronização técnica e de regulamentação específica para a microgeração de energia em sistemas de abastecimento de água limita a expansão dessas iniciativas em escala nacional. Também há necessidade de maior incentivo governamental e de linhas de financiamento voltadas à inovação no setor de saneamento. Outro ponto crítico é o monitoramento constante da eficiência das turbinas e do impacto que sua operação pode exercer sobre a pressão e o fluxo da água distribuída.

Em síntese, os resultados obtidos e analisados apontam que o aproveitamento do potencial energético excedente nas ETAs é uma alternativa viável, sustentável e tecnicamente segura. Apesar dos custos iniciais e das adaptações necessárias, o projeto apresenta vantagens econômicas, ambientais e sociais expressivas, configurando-se como uma solução inovadora e estratégica para o cenário energético e hídrico brasileiro. Sua replicação em outras cidades poderia reduzir significativamente o consumo de energia elétrica de origem não renovável, fortalecer a segurança energética e contribuir para a construção de um modelo de desenvolvimento mais equilibrado e sustentável.

Considerações finais

Em suma, ao utilizar estruturas já existentes de usinas em ETAs, a proposta funciona como uma alternativa viável, econômica e ambientalmente responsável para a geração de energia elétrica ao evitar a construção de novas usinas e, consequentemente, os impactos ambientais e sociais associados a elas. Ainda assim, diante do projeto apresentado, ainda se encontram desafios.

É importante destacar, antes de tudo, que essa proposta só é aplicável às ETAs que apresentam potencial energético excedente. Antes da implementação, é necessário observar se ocorrem vazões de energia nessas estruturas e se é viável a construção dessas usinas auxiliares, em vista do custo inicial que um projeto assim requer.

Em função da falta de estudos e de projetos semelhantes ao realizado em Joinville (SC), não é possível prever o desempenho dessas estruturas a longo prazo, isto é, a quantidade de anos. A durabilidade dos equipamentos, a eficiência da turbina, o monitoramento constante dessa eficiência junto com o impacto que sua operação pode exercer sobre a pressão e o fluxo da água distribuída, e o impacto na qualidade da água e do processo de tratamento são, ainda, incertos. Muito disso se deve não só ao custo de investimento inicial que as empresas e/ou órgãos interessados teriam que fazer, junto com o tempo que essas instalações e ajustes técnicos levaram, mas também por se tratar de uma proposta recente. Além disso, a falta de incentivo governamental e de linhas de financiamento a inovação no setor de saneamento são fatores que devem ser repensados.

Por outro lado, em um projeto recente assim, o ideal seria um maior investimento governamental em tecnologias e pesquisas voltadas a esse setor, além do uso de testes e estudos para avaliar a funcionalidade e o desempenho dessas estruturas a longo prazo, de modo que o custo inicial se torne mais acessível. A regulamentação e padronização dos modelos também surgem como uma sugestão, de modo a evitar a necessidade de novos métodos e aparelhos a cada modelo novo.

A possibilidade de armazenar e distribuir a energia gerada amplia ainda mais o potencial da iniciativa, tornando o abastecimento hídrico energético mais eficiente e resiliente. Além de contribuir diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS 7, 9 e 13), a possibilidade também reforça a importância de políticas públicas voltadas à preservação ambiental e à adaptação às mudanças climáticas. Ao reduzir custos operacionais, promover o uso racional da água e garantir maior estabilidade no fornecimento de energia, propostas semelhantes beneficiariam diretamente a população e os serviços essenciais. Consequentemente, a instalação de turbinas em ETAs é uma solução com potencial, tanto do ponto de vista ambiental quanto econômico e social.

Referências

GIONGO, Carmem Regina; BARBOSA, Fernanda Escobar Fernandes; MENDES, Jussara Maria Rosa. [Construção de hidrelétricas e populações atingidas no Brasil: uma revisão sistemática](#). *Revista Aletheia*, v. 51, n. 1-2, p. 165-176, 2018. Acesso em: 27 jun. 2025

JOINVILLE (Prefeitura). [Águas de Joinville instala turbina em tubulação de água para gerar energia elétrica](#). *Prefeitura de Joinville*, 16 de jan. de 2024. Acesso em: 19 jul. 2025.

KOIFMAN, Sergio. [Geração e transmissão da energia elétrica: impacto sobre os povos indígenas no Brasil](#). *Cadernos de Saúde Pública*, v. 17, n. 2, p. 413-423, 2001. Acesso em: 19 out. 2025.

OLIVEIRA, Maxwell Ferreira. [Metodologia científica: um manual para a realização de pesquisas em administração](#). Catalão: UFG, 2011. Acesso em: 14 nov. 2025.

SOUSA, Arthur. [Estação de Tratamento de Água ETA: importância e funcionamento para a sustentabilidade ambiental](#). *Tratamento de água e efluentes*, 20 jan. 2025. Acesso em: 27 jun. 2025.

UENO, Alessandra. [Hidrelétricas são responsáveis por mais de 60% da geração de energia elétrica brasileira](#). *Jornal da USP*. 06 fev. 2024. Acesso em: 17 jul. 2025.

VERONEZ, Fernanda Aparecida; LIMA, Fabrício Raig Dias; TSHIBANGU, Ghislain Mwamba. [Impactos ambientais de usinas hidrelétricas no Brasil: um guia de identificação](#). *Sustentabilidade em Debate*, v. 13, n. 1, p. 229-246, 2022. Acesso em: 27 jun. 2025.

Capítulo 11

Energia eólica em autoestradas: o potencial dos aerogeradores para a geração de energia eólica

Enzo Gustavo da Costa Silva; Felipe Pinho Fiedler Bremer; Gabriel Magalhães Lessa; Luiz Henrique Teobaldo Rios; Samuel Pires Gomes de Noronha.

Prof. Carlos Eduardo Oliveira Andrade (orientador); Ryan Ralphsajane dos S. Silva (coorientador).

Resumo: A proposta central do nosso trabalho é evidenciar a captação eficiente dos fluxos de ar induzidos pelo tráfego em autoestradas usando turbinas eólicas de eixo vertical tipo Darrieus instaladas em trechos estratégicos, criando assim uma fonte de energia renovável. Essa solução sustentável foi escolhida por aproveitar o vento residual dos veículos e ampliar o acesso a fontes limpas de energia. As turbinas Darrieus apresentam coeficiente de potência relativamente alto (cerca de 40%) e operam independentemente da direção do vento, permitindo instalar o gerador no solo e alcançando rotações elevadas que facilitam sua ligação a pequenos geradores. Em contrapartida, essas turbinas têm baixo torque de partida e tendência a vibrações estruturais, exigindo balanceamento cuidadoso e fixações rígidas. O trabalho é relevante para comunidades rurais sem acesso confiável à rede elétrica, pois promove autossuficiência energética, reduz emissões de poluentes e contribui para os ODS 7 (energia limpa) e ODS 13 (ação contra mudanças climáticas).

Palavras-chave: recursos energéticos; aerogeradores; mudanças climáticas.

Nas últimas décadas, o aumento do consumo energético e a dependência de combustíveis fósseis têm impulsionado a busca por alternativas sustentáveis capazes de reduzir os impactos ambientais e o custo da eletricidade em comunidades de menor acesso à infraestrutura elétrica. Nesse contexto, a energia eólica surge como uma solução promissora, uma vez que é limpa, renovável e de ampla disponibilidade em regiões de campo aberto. Com base nisso, o presente trabalho propõe o uso de aerogeradores de pequeno porte, com eixo vertical, (modelo H-Darrieus) em autoestradas, que são locais com ventos constantes e espaço livre para instalação. Estes equipamentos têm como objetivo captar a energia cinética dos ventos e a transformar em energia elétrica por meio de um sistema composto por pás, eixo e gerador.

A energia produzida pode ser armazenada em baterias ou direcionada para o abastecimento direto de residências, propriedades agrícolas e sistemas de irrigação, reduzindo a dependência da rede elétrica convencional. Além de promover a autossuficiência energética, essa iniciativa pode contribuir para a diminuição da emissão de gases poluentes e para o avanço dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 7 e 13, que tratam, respectivamente, da energia limpa e da ação contra as mudanças climáticas.

Com isso, o trabalho visa demonstrar que até movimentos cotidianos, como o deslocamento de automóveis, podem ser utilizados de forma inteligente e sustentável para reduzir a dependência de fontes não renováveis de energia, diminuir as emissões de gases poluentes e promover a eficiência energética em infraestruturas urbanas e rodoviárias. Para tanto, a construção e o teste de um protótipo aparecem como uma forma eficiente de comprovar a viabilidade técnica e ambiental da proposta. Isso abre caminho para a aplicação prática dessa tecnologia em larga escala no futuro.

Fundamentação conceitual

Como consta no REN21 (2015), vários países do mundo aumentam substancialmente seu interesse pelo desenvolvimento de fontes de energia eólica para a produção de energia elétrica. Além disso, o recente desenvolvimento das fontes de energia eólica reduziu os custos e melhorou o desempenho e a confiabilidade dos aerogeradores.

A energia eólica, sem sombra de dúvidas, é marcada muitas vezes por suas grandes turbinas que rasgam os céus trabalhando de forma contínua e incansável de modo a gerar energia elétrica através dos ventos. Como outras fontes de energia, esta possui vantagens e desvantagens na sua aplicação. Suas principais vantagens são: o seu uso inesgotável; a não emissão de gases poluentes; a sua baixa geração de resíduos em comparação aos combustíveis fósseis; contribuição com a diminuição da emissão de gases de efeito estufa; a baixa manutenção e entre outras (Cavalcanti, 2015).

A turbina H-Darrieus opera predominantemente pela força de sustentação (*Lift*), semelhante à forma como as asas de um avião geram sustentação. Suas pás, que podem ser curvas (em formato de batedor de ovos) ou retas (H-Darrieus), têm um perfil aerodinâmico que cria uma diferença de pressão quando o vento flui sobre elas, gerando a força de sustentação que impulsiona a rotação (Hoguan, 2019).

A velocidade das pás H-Darrieus pode ser significativamente maior do que a velocidade do vento (TSR pode ser de 3 a 5 ou mais), o que contribui para sua maior eficiência, e as leva a atingir coeficientes de potência de 30% a 40% (Hoguan, 2019).

Contudo essa, como outras variantes da Darrieus, não possui boa capacidade de auto-partida. Isso ocorre porque o princípio de funcionamento baseado na força de sustentação (*lift*) requer uma certa velocidade relativa entre a pá e o vento para que a sustentação seja gerada de forma eficaz e inicie o movimento rotacional. Em velocidades de vento muito baixas ou quando a turbina está parada, as pás não conseguem gerar o levantamento necessário para superar a inércia e o atrito (Automaxx Windmill, 2024).

Todavia o problema da capacidade de auto-partida pode ser mitigado através do uso de perfis aerodinâmicos (aerofólios) assimétricos (como certos perfis NACA) ou perfis que geram mais sustentação em ângulos de ataque baixos pode ajudar a produzir um torque positivo desde o início da rotação (Fernandes, 2018).

Quanto a locais de instalação, a turbina H-Darrieus é ideal para ser instalada em ambientes urbanos, pois ocupa menos espaço horizontal que uma HAWT, é menos sensível à mudança de direção do vento (não precisa de sistema de guinada) e tem um perfil visual que pode ser mais aceitável em algumas paisagens urbanas. A turbina é a escolha tanto para locais com vento variável, quanto locais turbulentos, devido à sua relativa simplicidade de construção e o potencial de otimização aerodinâmica (Vissoto, 2016).

Figura 1: Aerogerador do tipo H-Darrieus



Fonte: Cubas (2025).

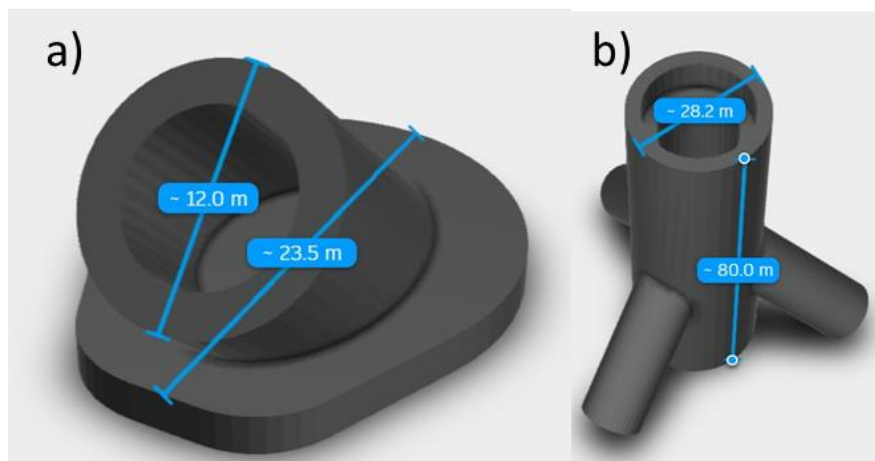
Procedimentos metodológicos

Foi utilizada uma impressora 3D do tipo FDM (Modelagem por Fusão e Deposição), empregando-se filamentos dos tipos PLA, PETG ou ABS. A impressão foi configurada com resolução de camada de aproximadamente 0,28 mm e preenchimento de 10% (modo raso). O uso de suporte ou *raft* foi considerado opcional. As peças necessárias foram baixadas e impressas, adotando-se o milímetro (“m”) como unidade de medida.

Para a montagem do protótipo, foram organizadas previamente todas as peças e materiais necessários. Utilizaram-se sete lápis sextavados grandes e de mesmo tamanho, um rolamento 608-ZZ, um parafuso de cabeça panela de 13 mm, fita isolante, uma porca M4, cola quente, um LED, fios de pequeno comprimento e um motor de corrente contínua (DC).

Inicialmente, procedeu-se à confecção do tripé de sustentação, por meio da colagem das três tampas das pontas das pernas (Figura 2a) em uma das extremidades de três lápis sextavados, utilizando cola quente. As extremidades opostas desses lápis foram coladas nas três aberturas menores do suporte do rolamento (Figura 2b). Em seguida, realizou-se a inserção dos rolamentos 608-ZZ nas aberturas maiores do suporte (Figura 2b), aplicando leve pressão até o completo encaixe. O uso de cola foi feito de maneira moderada, a fim de evitar o travamento do rolamento.

Figura 2: a) Tampa da ponta da perna; b) Suporte do rolamento



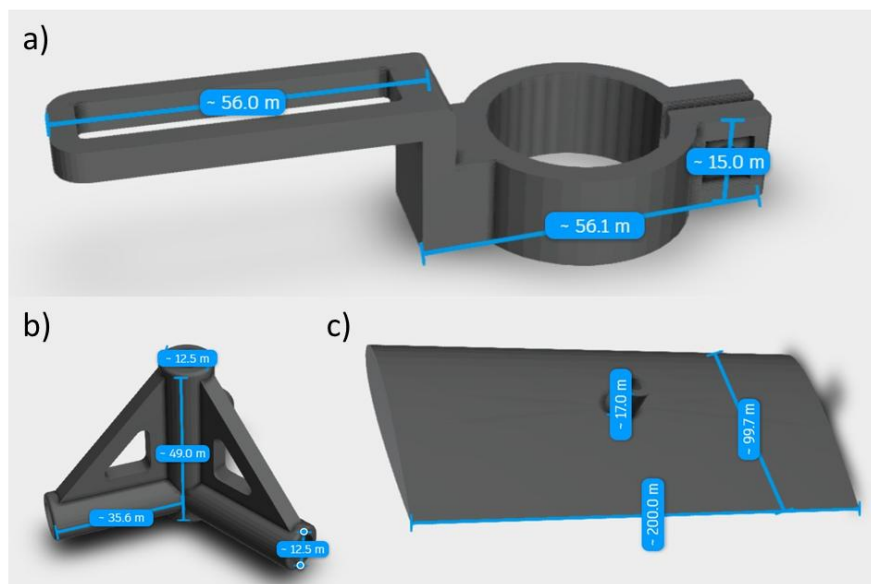
Fonte: os autores.

Na sequência, procedeu-se à fixação do motor DC no suporte correspondente (Figura 3a). O conjunto foi fixado ao suporte do rolamento com o auxílio de um parafuso M2 e uma porca M4. Os espaçadores deslizantes (Figura 3b) foram fixados ao motor por meio de parafusos adequados, garantindo o correto alinhamento entre as engrenagens.

Posteriormente, realizou-se a montagem da estrutura superior, colando-se quatro lápis no suporte superior: um central e três laterais, empregando cola quente.

As pás do tipo NACA 0018 Airfoil (Figura 3c) foram fixadas nas extremidades dos três lápis horizontais, assegurando que permanecessem coplanares, ou seja, contidas em um mesmo plano superior e inferior.

Figura 3: a) Suporte do motor elétrico; b) Suporte superior; c) Perfil aerodinâmico NACA



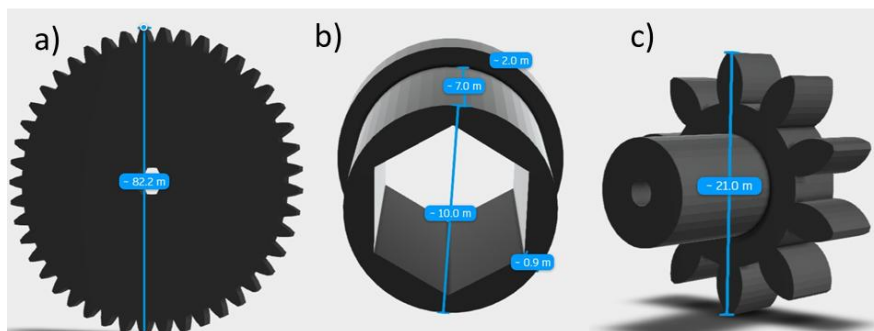
Fonte: os autores.

Em seguida, a engrenagem maior (Figura 4a) foi encaixada na estrutura superior, posicionando-a na altura adequada com o auxílio de um espaçador (Figura 4b). A estrutura superior, contendo a engrenagem de 45 dentes (Figura 4a), foi então acoplada ao suporte dos rolamentos.

No eixo do motor DC, encaixou-se a engrenagem de 10 dentes (Figura 4c), fixando-a com uma pequena quantidade de cola instantânea. As posições das

engrenagens foram ajustadas de modo a permitir o livre movimento, aplicando-se lubrificante quando necessário.

Figura 4: a) Engrenagem de 45 dentes retos; b) Espaçadores; c) Engrenagem com 10 dentes retos



Fonte: os autores.

Por fim, as pernas foram fixadas à base desejada utilizando fita dupla-face, com o objetivo de estabilizar o conjunto. Realizaram-se as conexões elétricas do motor para medições ou para geração de energia, conforme o propósito experimental. Quando conveniente, aplicou-se fita isolante nas regiões de contato entre o eixo central e o rolamento, a fim de aumentar a aderência entre o rolamento e o eixo formado pelos lápis sextavados.

Resultados e discussão

A simulação do aerogerador em funcionamento é apresentada no vídeo *Aerogerador em funcionamento – teste 1* (disponível em: <https://www.youtube.com/shorts/w7fc2aBpIds>). O movimento inicial do rotor foi promovido por um ventilador operando na velocidade 3. No segundo vídeo, *Aerogerador acoplado ao motor DC – teste 2* (disponível em: <https://www.youtube.com/shorts/FxqAzYvucKE?si=hc54fiOKlvPIARHw>), observa-se o aerogerador já acoplado ao motor DC, demonstrando a capacidade do sistema de acender um LED durante o funcionamento. Nessa condição, o gerador produziu uma tensão aproximada de 0,4 V, suficiente para acionar o LED, embora o brilho não tenha se mantido constante ao longo do teste.

Verificou-se que o aerogerador requer uma velocidade inicial de ar relativamente baixa para iniciar a rotação das pás. Após o acionamento, o rotor adquire inércia e passa a aproveitar ventos de maior intensidade para elevar a eficiência de conversão da energia mecânica em energia elétrica. O ventilador utilizado supriu adequadamente essa velocidade inicial; entretanto, a geração elétrica permaneceu

limitada devido ao emprego de um motor de baixa eficiência, cuja substituição por um modelo mais adequado já foi providenciada.

A análise bibliográfica indicou que a BR-381 apresenta um fluxo aproximado de 24,7 mil veículos por dia (Presidência da República, 2025), os quais produzem rajadas momentâneas de vento, com velocidades variáveis, podendo atingir cerca de 10 m/s a distâncias próximas a 0,5 m. Essas características sugerem a possibilidade de aproveitamento parcial desse recurso para acionamento do aerogerador.

Os resultados obtidos permitem afirmar que o protótipo é capaz de gerar energia elétrica, ainda que com eficiência bastante reduzida quando comparada à energia cinética total disponibilizada pelo fluxo de ar do ventilador. Essa baixa eficiência decorre, principalmente, da limitada capacidade de conversão do motor empregado, que dissipa grande parte da energia mecânica em forma de calor, bem como da reduzida área de contato das pás com o vento gerado, o que ocasiona perdas significativas, uma vez que o fluxo de ar excede a área útil do aerogerador.

Do ponto de vista operacional, observou-se que o aerogerador pode ser acionado por rajadas de vento provenientes do tráfego rodoviário; contudo, a velocidade média do ar em condições normais nas rodovias é próxima de 1 m/s, insuficiente para iniciar o movimento do rotor. Assim, o aproveitamento energético dependerá da proximidade com vias de tráfego intenso e da ocorrência de rajadas heterogêneas produzidas pelos veículos, as quais podem variar de intensidade e duração.

Considerações finais

Durante o desenvolvimento deste projeto, foi investigado o potencial de aproveitamento da energia cinética gerada por fluxos de ar induzidos por um ventilador para a produção de energia elétrica por meio de um aerogerador de eixo vertical tipo H-Darrieus. A pesquisa incluiu a análise do consumo energético do ventilador e a eficiência do aerogerador, contemplando a construção e os testes de um protótipo em pequena escala. Considerando-se, ainda, aspectos como a velocidade mínima necessária para iniciar o movimento do rotor e a relação entre a energia fornecida e a energia efetivamente gerada, o que permitiu compreender o aproveitamento e as perdas de energia ao longo do processo. Esse percurso possibilitou validar conceitualmente a proposta de converter movimentos cotidianos em energia renovável, destacando a relevância de soluções criativas para a sustentabilidade.

Com base nessas análises realizadas, o estudo demonstrou que é viável capturar a energia cinética de fluxos de ar, mesmo quando gerados artificialmente, e convertê-la em energia elétrica por meio do aerogerador. Verificou-se que a energia produzida está diretamente associada à eficiência do rotor e à velocidade mínima necessária para a sua partida. Dessa forma, confirmou-se que a parte da energia normalmente desperdiçada pode ser reaproveitada, evidenciando que o aerogerador atua como uma alternativa sustentável de conversão de energia cinética, ainda que a quantidade gerada seja reduzida em escalas menores.

Apesar dos resultados promissores, constatou-se que o aerogerador apresenta limitações que precisam ser consideradas. A principal delas refere-se ao baixo torque de partida, característico do modelo H-Darrieus, que demanda uma velocidade mínima do vento para iniciar sua rotação, o que pode comprometer o desempenho em condições de fluxo reduzido. Além disso, a presença de vibrações estruturais requer uma base firme e adequadamente balanceada, a fim de evitar danos ao equipamento. Observou-se também que a eficiência é fortemente influenciada pelas características do vento, que, em função do fluxo de ar e das condições ambientais, torna a geração de energia menos constante. Ademais, custos relacionados à instalação e à manutenção, embora menores que os de turbinas de grande porte, precisam ser cuidadosamente analisados. A instalação em áreas próximas às vias de tráfego exige, ainda, atenção aos aspectos de segurança e aos possíveis impactos ambientais.

Assim, concluiu-se que, embora apresente desafios e limitações, a proposta possui potencial significativo e pode ser aprimorada mediante estudos e testes futuros, contribuindo para o desenvolvimento de alternativas sustentáveis de microgeração de energia.

Referências

[Como medir com precisão a produção de energia do seu aerogerador](#). *Automaxx*, 1 jul. 2024. Acesso em: 19 jul. 2025

CARDOSO, I. [Aproveitamento energético do fluxo de ar resultante da passagem dos automóveis nas \(auto\)estradas](#). 2018. 58 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energias Renováveis) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

CAVALCANTI, A. [Diretrizes para o design de artefatos geradores de energia utilizando a captação dos ventos resultantes do deslocamento dos automóveis em vias expressas](#). Recife: Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Artes e Comunicação, 2015. 130 f. Dissertação (Mestrado em Design). Acesso em: 24 out. 2025.

CUBAS, A. [Darrieus wind turbine from pencils and 3D printed parts](#). [S. l.]: *Instructables*, 2025. Acesso em: 24 out. 2025.

FERNANDES, S. [Análise e simulação de turbinas eólicas de eixo vertical \(Darrieus e Lenz2\) e horizontal para o dimensionamento de geradores elétricos](#). Campo Grande: Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia, 2018. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica). Acesso em: 24 out. 2025.

HOGUANE, C. A. M. [Estudo da influência do ângulo das pás na potência e eficiência mecânicas de uma turbina eólica híbrida de eixo vertical do tipo Savonius-Darrieus](#). *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 8, n. 1, 2019. DOI: 10.5380/rber.v8i1.56166. Acesso em: 24 out. 2025.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA. BR-381/MG: [Lula participa da assinatura do contrato de concessão que prevê investimentos de R\\$ 10 bilhões](#). *Planalto*, 22 jan. 2025. Acesso em: 24 out. 2025.

REN21. [Renewables 2015 Global Status Report](#). Paris: REN21 Secretariat, 2015. Acesso em 15 nov. 2025.

SILVA, Enzo Gustavo da Costa. [Aerogerador em funcionamento – teste 1](#). 2025. Vídeo (Short). Acesso em: 13 nov. 2025.

SILVA, Enzo Gustavo da Costa. [Aerogerador acoplado ao motor DC – teste 2](#). 2025. Vídeo (Short). Acesso em: 13 nov. 2025.

VISSOTO, G. [Viabilidade técnica na geração de energia elétrica com o uso de microgeradores eólicos](#). Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. 52 f. Monografia (Especialização em Energias Renováveis). Acesso em: 24 out. 2025.

Capítulo 12

Ginásio comunitário multifuncional adaptável para abrigo de emergência

Lavinia Maria de Medeiros Gonçalves; Luiza Orlanda Sousa Moreira; Maria Júlia Lana Arthuso; Sara Luiza de Paula Lopes; Vitória Batista de Souza.

Prof.^a Júlia Junqueira (orientadora); Felipe Freitas Moraes (coorientador).

Resumo: Este trabalho busca nortear os parâmetros para se criar um ginásio comunitário multifuncional que funcione durante todo o ano e que, em períodos em que ocorram inundações e/ou movimentação de terra, possa ser usado como abrigo de emergência. A ideia é demonstrar a possibilidade de se construir um espaço de convivência que promova diversas atividades para todas as idades e que seja um lugar de recreação e acolhimento. Nesse sentido, foram feitas pesquisas sobre as possibilidades de um ginásio multifuncional no município de Timóteo (MG), os critérios de localização para a sua construção, os protocolos de emergência do município, o Plano Diretor do município, dentre várias leis concernentes ao tema que são essenciais para que a referida infraestrutura seja factível. Com o ginásio, busca-se promover momentos de qualidade de vida, inclusão social, bem como fortalecer o convívio comunitário. E visando a sustentabilidade, serão usados painéis solares e sistemas apropriados para armazenamento de água da chuva. Ao se criar um lugar seguro, recreativo e sustentável, atendendo as necessidades da população, e preocupando-se com o meio ambiente, promove-se o bem-estar social e contribui-se com a “Agenda 2030” da Organização das Nações Unidas (ONU) ao focalizar os ODS 9, 11 e 13, com infraestruturas resilientes e sustentáveis, e tornando as cidades inclusivas.

Palavras-chave: ginásio comunitário multifuncional; abrigo de emergência; infraestrutura sustentável e resiliente; Vale do Aço; Timóteo.

Em regiões que estão sujeitas a um maior risco de inundações e movimentação de terra, a falta de uma infraestrutura adequada para abrigar a população em momentos de emergência é um grande desafio enfrentado pela comunidade e pelas autoridades públicas. Cada vez mais é comum as pessoas perderem seus lares, pertences e documentos, chegando a ficarem desabrigadas, além, infelizmente, dos casos que envolvem perda de vidas. A resposta para esse problema exige soluções criativas, sustentáveis, multifuncionais e

inclusivas, que não apenas garantam a segurança dos desabrigados em momentos críticos, mas também contribuam para o desenvolvimento social durante o ano todo. Pensando nisso, neste capítulo serão tratadas discussões buscando demonstrar a possibilidade e os benefícios da construção de um ginásio comunitário multifuncional com dupla finalidade. Durante todo o ano, funcionará como um espaço comunitário voltado a atividades esportivas, de lazer e de interações entre pessoas de diferentes faixas etárias. Mas em épocas de inundações e/ou deslizamentos de terra (movimentação de terra), será facilmente convertido para o uso como abrigo emergencial, sendo um local bem estruturado e com inclusão social. Com o ginásio, busca-se promover um ambiente seguro, acolhedor e útil para a comunidade em diferentes contextos. Também contará com apoio psicológico, que ajudará pessoas com depressão, ansiedade, estresse extremo, entre outros, a lidar com as dificuldades inerentes à situação de emergência que foi imposta naquele momento.

Assim, como forma de minimizar os impactos causados pelas mudanças climáticas, o objetivo principal deste trabalho é nortear os parâmetros essenciais para a construção de um ginásio comunitário multifuncional. Ele se localizaria no município de Timóteo (MG), especialmente em determinadas áreas mais vulneráveis, como o bairro Cachoeira do Vale. Para tanto, foi necessário: *i)* identificar quais são os protocolos de emergência do município de Timóteo (MG) para a eventualidade de inundações e deslizamentos de terra e se havia planos de risco ou de contingência no município, seguindo a Lei nº 12.608, de 10 de abril de 2012, referente à Política Nacional de Proteção e Defesa Civil; *ii)* identificar, com base na legislação vigente, quais são os critérios necessários à construção de ginásios públicos, bem como à construção de abrigos de emergência; *iii)* caracterizar, com base na literatura especializada, quais são as principais características que um abrigo de emergência deve atender; *iv)* e elaborar as linhas gerais de um plano de construção de um ginásio conversível em abrigo de emergência.

Os objetivos orientam a concepção de um espaço público adequado que vise tanto o desenvolvimento social quanto o amparo à população em vulnerabilidade. A integração entre a funcionalidade cotidiana e a preparação para emergências reforça o compromisso deste trabalho com a resiliência urbana diante do agravamento do desastre causado pelas mudanças climáticas e ação humana em diversos lugares, alinhando-se aos princípios dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 9, 11 e 13 da *Agenda 2030* da Organização das Nações Unidas (ONU), ao propor a construção de uma infraestrutura resiliente e sustentável, e tornando as cidades inclusivas. Logo, este trabalho articula-se a partir da análise dos impactos das mudanças climáticas, dos processos de aprimoramento do espaço e de inclusão social.

Fundamentação conceitual

As mudanças climáticas vêm se intensificando cada vez mais e têm afetado diretamente áreas urbanizadas. Uma das consequências disso são eventos de precipitação mais intensos. Durante estes eventos, são geradas grandes perdas para a sociedade e é nesses momentos que o ginásio comunitário multifuncional deverá prestar abrigo para a população. Sejam elas causadas por deslizamentos de terra (movimentação de terra) e/ou inundações. É importante ressaltar que o termo inundação e enchente não são sinônimos, e como o abrigo atuará diante da situação de inundação, é importante saber suas diferenças. De acordo com Sousa e Rocha, “a enchente corresponde ao aumento da vazão em uma seção transversal de um rio, com potencial capacidade de suscitar inundação. A inundação, por sua vez, equivale ao transbordamento da água do leito menor para o leito maior” (Sousa; Rocha, 2022, p. 272-273). A enchente, portanto, pode ou não suscitar uma inundação, sendo este um fenômeno posterior àquele.

É importante lembrar que os problemas decorrentes das mudanças climáticas são pontos primordiais focalizados nos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) propostos pela ONU e que fazem parte da *Agenda 2030*. Essa Agenda ainda reforça a importância da preparação para os desafios causados por mudanças climáticas, que estão crescendo de forma exponencial. O ODS 13 – tomar medidas urgentes para combater a mudança climática e seus impactos –, destaca, por exemplo, a necessidade de resiliência e adaptação às suas decorrências (ONU, 2015, p. 32), como as inundações e deslizamentos de terra apresentados na introdução deste capítulo. Por isso a importância, como apontado no ODS 9 – construir infraestruturas resilientes, promover a industrialização inclusiva e sustentável e fomentar a inovação –, e no ODS 11 – tornar as cidades e os assentamentos humanos inclusivos, seguros, resilientes e sustentáveis. E como observado, tais ODS vão ao encontro da proposta deste trabalho, que propõe o desenvolvimento de uma infraestrutura com qualidade, sustentabilidade e resiliência, apoiando o bem-estar humano, como também busca mitigar os problemas causados por catástrofes, protegendo pessoas em situações de vulnerabilidade, como se observa nos preceitos da *Agenda 2030*: “proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes, particularmente para as mulheres e crianças, pessoas idosas e pessoas com deficiência” (ONU, 2015, p. 30), bem como aumentar o número de políticas públicas inclusivas que busquem a resiliência a desastres.

E como é possível notar, nas últimas décadas, eventos extremos relacionados à água, como enchentes, inundações e deslizamentos de terra, são recorrentes em diversas cidades brasileiras (Souza; Rocha, 2022, p. 265), inclusive na região do Vale do Aço, Leste de Minas Gerais, a exemplo do município de Timóteo, que

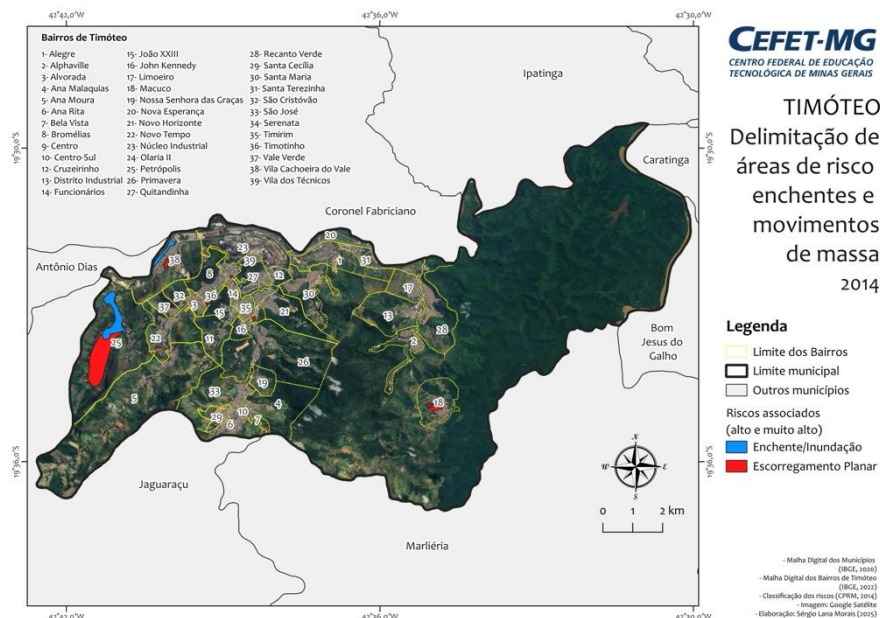
se encontra em uma área de topografia mais baixa, dentro de um vale, deixando-o mais vulnerável a possíveis inundações decorrentes de enchente. E justamente por estar localizado na parte baixa e à margem do rio Piracicaba, o município de Timóteo é o que mais sofre com as cheias do rio, como ressaltam Barbosa *et al.*:

No histórico, a enchente de 1979 foi uma das maiores registradas, várias cidades ficaram totalmente alagadas na região metropolitana do Vale do Aço, além de grande parte de João Monlevade e Governador Valadares. Em 1997, ocorreu a segunda maior enchente em Minas Gerais, na qual mais de 26 mil pessoas ficaram desabrigadas, e cerca de 600 mil ficaram sem água potável em todo o Estado e, mais uma vez, a região do Vale do Aço foi a mais afetada. Em 2012, a chuva fez o nível do rio Piracicaba subir no município de Timóteo, causando grandes prejuízos. A prefeitura contabilizou um prejuízo de cerca de R\$ 7 milhões. Em janeiro de 2020, o nível do rio Piracicaba subiu novamente, inundando Cachoeira do Vale, bairro de Timóteo. Segundo a prefeitura, 98 pessoas ficaram desalojadas (Barbosa *et al.*, 2020, p. 220).

Como em muitos municípios brasileiros, várias áreas de Timóteo não têm infraestrutura adequada para suportar desastres como os mencionados e nem possuem formas adequadas de abrigar a população. Alguns dos bairros timotenses que costumam ser os mais afetados são Cachoeira do Vale e Petrópolis. E ao fazer um levantamento das áreas de risco do município — levando em consideração queda e rolamento de blocos de rocha, deslizamento planar solo-solo, inundação, solapamento de margens e processo erosivo —, além desses dois bairros, as seguintes localidades também foram identificadas: Alegre, Alto Serenata, Alvorada, Ana Moura, Ana Rita, Centro Sul, Córrego do Caçador, John Kennedy, Macuco, Novo Horizonte e Olaria 2 (Lana; Ribeiro, 2014).

No mapa 1 a seguir, as áreas inundáveis, por exemplo, estão destacadas na cor azul, permitindo uma visualização clara dos locais que estão em risco durante eventos de inundação. Essa representação é crucial para a análise de vulnerabilidades na região, ajudando a identificar quais áreas merecem atenção especial em termos de planejamento urbano e gestão de desastres.

Mapa 1: Delimitação de áreas de risco de enchentes e movimentos de massa



Fonte: Morais (2014).

Vale ressaltar que a sub-bacia do rio Piracicaba, onde está inserido o município de Timóteo, apresenta características específicas que influenciam diretamente na dinâmica hidrológica local (Barbosa et al., 2020). Logo, a construção de um ginásio em um bairro com áreas possíveis de inundação pode trazer benefícios para a comunidade, proporcionando tanto um abrigo em situações de emergência quanto um espaço multifuncional para atividades diárias. E para que a construção do ginásio proporcione segurança e eficácia, deve haver um planejamento envolvendo a participação da comunidade também, garantindo que as necessidades e as preocupações locais sejam levadas em conta, maximizando, assim, a acessibilidade e a utilização do espaço. Dessa forma, a construção do ginásio comunitário multifuncional tem muito a contribuir para o bem-estar da comunidade do município de Timóteo.

Procedimentos metodológicos

No Plano Diretor de Timóteo de 2024, definem-se muitas legislações importantes sobre toda a ocupação do município, sejam públicas ou privadas, e incentiva projetos que busquem favorecer a comunidade. E alguns parâmetros do plano são essenciais para o nosso objeto de estudo, a saber: a Lei de Zoneamento, o

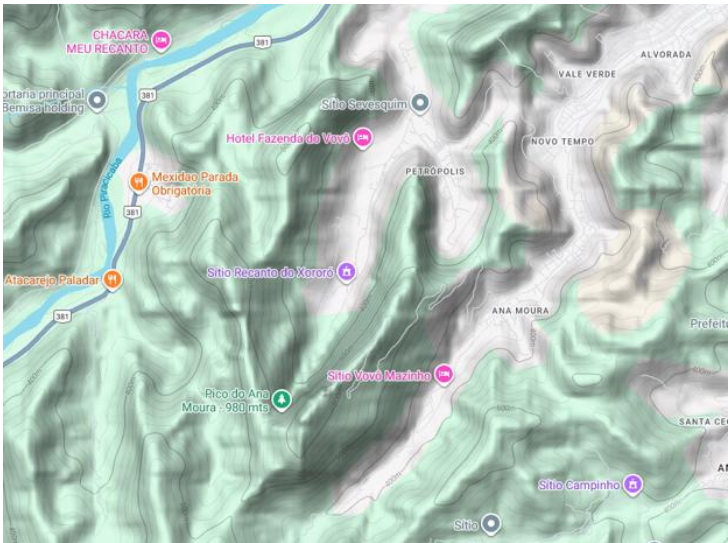
Código de Obras Urbanas e a proposta pública dos Eixos de Desenvolvimento. De acordo com o Art. 12 – *Ordenamento do uso e ocupação do solo* –, “o macrozoneamento e o zoneamento têm como finalidade fixar as regras fundamentais do ordenamento territorial, objetivando definir as diretrizes e instrumentos de forma a atender aos princípios e políticas de desenvolvimento municipal, objetivos gerais, programas e ações deste Plano Diretor Participativo” (Timóteo, 2024). Os macrozoneamentos específicos das áreas com as quais trabalhamos neste estudo são: a Zona Especial de Interesse Social – Regularização (ZEIS-R), que são áreas com prioridade de infraestruturação e regularização, e a Zona Especial de Interesse Social – Produção (ZEIS-P), que são áreas voltadas à produção habitacional.

Já o Eixo de Desenvolvimento focalizado é o Eixo Promoção da Qualidade de Vida e Bem-Estar Social, pois busca investir em recursos da política de assistência social, garantir espaços adequados para o lazer e práticas esportivas, garantir a eficiência dos programas de integração das pessoas em situação de vulnerabilidade social e garantir alternativas de habitação em caráter temporário até que se alcance solução definitiva ao problema habitacional para grupos vulneráveis (Timóteo, 2024).

Logo, a partir da análise do mapa 1, foi observado que os bairros Cachoeira do Vale e Petrópolis possuem maior risco de inundações e deslizamentos de terra. Com isso, foram usadas a ferramenta Google Maps do Google, para analisar o relevo de ambos os bairros, e o documento “Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa” (Lana; Ribeiro, 2014), para buscar quais áreas seriam apropriadas para sediar o ginásio sem riscos de inundação ou deslizamento de terra.

A análise do relevo com o Google Maps, como se demonstra na figura 1, apontou que o bairro Petrópolis está localizado em um fundo de vale, tornando-o inviável para a construção do ginásio, pois há um alto risco de inundação. Portanto, o bairro mais propício à construção do abrigo seria no Cachoeira do Vale.

Figura 1: Relevo do bairro Petrópolis, Timóteo (MG)



Fonte: Google Maps (2025).

No documento “Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa” (Lana; Ribeiro, 2014), registram-se com exatidão os locais mais suscetíveis a esses desastres em todo o município. E esses dados foram usados para analisar quais áreas deveriam ser evitadas para a construção do abrigo. Em Cachoeira do Vale, os locais que devem ser evitados são os próximos às ruas, conforme o quadro a seguir:

Quadro 1: Áreas a evitar na construção de abrigo no bairro Cachoeira do Vale, Timóteo

Bairro	Ruas	Área	Tipologia
Cachoeira do Vale	Ruas Rondônia, São Marcos, São Lucas, São Lourenço, São João Batista, Santa Efigênia, São Jorge, Santa Brígida, Santa Luzia, Santa Margarida, São Pedro e São Tomaz.	TM-01	Queda e rolamento de blocos de rocha, deslizamento planar solo-solo, inundação e solapamento de margens.
	Rua Vale Verde.	TM-02	Deslizamento planar solo-solo.
	Ruas Duque de Caxias, Goiás, Ceará, Tamoios, Tupinambás, Guarani, Carij�s e Avenida Belo Horizonte (números 1487, 1475, 1451 e 1439).	TM-03	Deslizamento planar solo-solo.

Fonte: Lana e Ribeiro (2014).

Já na figura 2, mostra-se uma representação visual dessas áreas, a área mais acima é a TM-01; a menor, ao centro da imagem, é a TM-02; e na parte inferior à direita é a TM-05.

Figura 2: Áreas TM-01, TM-02 e TM-05 no bairro Cachoeira do Vale, Timóteo (MG)



Fonte: Google Earth (2025).

Após a utilização da ferramenta *Street View*, concluímos que o melhor lugar para a construção do ginásio é na Avenida Belo Horizonte, próximo ao sinalizador na cor azul, como se demonstra na figura 2. Esta área específica não se enquadra nas zonas de risco de enchentes mapeadas pelo município. Observa-se que há áreas sem construção e que podem ser utilizadas. A área citada se localiza entre o Posto Acesita e da Madeireira Rubim, onde há um lugar que seria propício para a construção. Caso essa área fosse a escolhida para ser usada, poderia delimitar um ponto na Avenida Belo Horizonte, onde se localiza o Posto Acesita, e usar também a área disponível atrás do Posto. É possível observar essa possibilidade ao analisar a figura 3:

Figura 3: Possível localização para a construção do ginásio no bairro Cachoeira do Vale, Timóteo (MG)



Fonte: Google Maps (2025).

Essencialmente, abrigos devem ser estabelecidos em áreas seguras, longe de riscos imediatos, como inundações e deslizamentos de terra. Deve-se assegurar que não sejam instalados em proximidade de áreas com riscos químicos ou industriais. Da mesma forma, que as edificações a serem adaptadas contem com estruturas seguras, em condições de salubridade, habitabilidade e distantes da área de maior risco de impacto (Brasil, Emergências em Assistência Social (MDS), 2024, p. 17). E deve-se priorizar uma localização que facilite “o abastecimento do abrigo com água, alimentos, roupas e outros recursos; a chegada e saída de profissionais da Saúde, Assistência Social, Segurança Pública, entre outros; e o acesso das pessoas acolhidas a serviços essenciais que estejam funcionando, como CRAS, hospitais, Unidades Básicas de Saúde e escolas” (Brasil, Emergências em Assistência Social (MDS), 2024, p. 17).

É importante lembrar que os abrigos temporários são espaços transitórios para acolhimento emergencial, implementados pela Assistência Social na fase de resposta a desastres. Ginásios, nesse contexto, são edificações ideais por conta de sua rápida adaptação, especialmente em situações inesperadas, desde que

avaliados previamente no Plano de Contingência (fases de mitigação e preparação). Esse planejamento permite identificar e avaliar edificações que possam ser adaptadas rapidamente, como ginásios, clubes ou escolas, garantindo segurança e funcionalidade (Brasil, Emergências em Assistência Social (MDS), 2024, p. 16).

Por isso deve-se ter uma atenção especial ao local propício a ser adotado como um abrigo, pois ele precisa ter potencial adequado para se adaptar, com estrutura, localização e serviços ideais para essas situações. Para tanto, é importante alguns elementos, como os que são destacados no documento “Emergências em Assistência Social”, do Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS), e que são apresentados a seguir:

A. Cadastro: uma recepção no contexto de um abrigo pode trazer muitos benefícios, como ajudar a identificar e quantificar as pessoas e grupos familiares, bem como crianças, adolescentes e idosos desacompanhados, separados e indocumentados; servindo também para o reconhecimento de minorias e pessoas com deficiências, o que ajuda na acomodação adequada e a atenção que será direcionada a cada abrigado. Além, claro, de dimensionar a quantidade de suprimentos necessários (água, alimentos, kits de higiene, cobertores, colchões, roupas, calçados, brinquedos, dentre outros). Durante eventos extremos, é possível que familiares se percam uns dos outros durante o momento crítico do evento. Como crianças ou animais de estimação que podem se assustar e se separarem de suas famílias durante o caos. Assim, o registro de pessoas pode ajudar na reunião de famílias, bem como no processo de busca de animais domésticos perdidos.

É importante também que os abrigados tenham um espaço seguro para guardar seus objetos pessoais. Principalmente em situações de evacuação, em que as pessoas nem sempre conseguem pegar todos seus bens importantes, como documentos, roupas e objetos com apego emocional. E que a distribuição dos materiais para atender às necessidades básicas das pessoas acolhidas seja feita de forma a facilitar a retirada e também na identificação de itens prioritários para reposição. Portanto, é necessário que o abrigo tenha uma recepção dedicada a esses e outros serviços relacionados, como organização de regras de convivência, pedido de recursos e comunicação da escalação de uso de serviços, se necessário.

B. Dormitórios: o abrigo deve sempre ter dormitórios para proporcionar conforto e privacidade para seus abrigados. Isso inclui dormitórios isolados para pessoas com doenças infectocontagiosas, como Tuberculose, Covid-19, H1N1 etc., com o intuito de prevenir riscos de surtos. Esses casos também devem ser lavados à Secretaria de Saúde para avaliação da melhor alternativa para o acolhimento, acompanhamento e orientações sobre medidas preventivas a serem adotadas. Além disso, “para a acomodação das famílias, recomenda-se considerar as

relações de vizinhança, os vínculos comunitários pré-existent e as especificidades dos diferentes grupos. Membros da mesma família devem ser mantidos juntos, se assim desejarem e se isso não configurar risco a algum deles” (Brasil, Emergências em Assistência Social (MDS), 2024, p. 22).

C. Animais no abrigo: é recomendado que os abrigos tenham um espaço específico para acolher animais domésticos, a fim de garantir condições adequadas de higiene, saúde e segurança. Esse espaço pode ser planejado dentro da própria edificação do abrigo, instalado em uma área externa ou até mesmo organizado em um espaço próximo. Sempre que possível, deve-se buscar o apoio e as orientações da equipe de Saúde ou da Vigilância Sanitária do município, de modo a assegurar que o acolhimento dos animais ocorra de forma adequada e sem riscos à saúde pública. Recomenda-se também ter um estoque de comida própria para esses animais.

D. Banheiros: o abrigo deverá contar com banheiros com lavatório, chuveiro e sanitários que sejam higienizados e atendam os parâmetros de quantidade mínima. Devem ser separados em, pelo menos, banheiro masculino e banheiro feminino, respeitando a identidade de gênero de cada pessoa acolhida no uso desses espaços, sempre que viável. É importante que sejam, ainda, acessíveis às pessoas com deficiência e possuam recursos como cadeira de banho.

E. Espaço para recreação e convívio: como os abrigados estarão passando por um momento muito delicado de suas vidas, é recomendada a instalação de ambientes que ofereçam atividades recreativas e de convívio com outras pessoas. Tal ação ajuda na saúde mental do indivíduo, encontrando formas de mantê-lo em sua rotina e ocupado, interagindo com outras pessoas e realizando diferentes atividades. Atividades educativas também são necessárias para crianças e adolescentes para manterem sua própria rotina, definindo espaço ou horário de uso exclusivo por crianças e adolescentes. Este espaço deve ser seguro e contar com materiais necessários.

F. Lavanderia: é preciso a instalação de uma lavanderia no abrigo para proporcionar higiene para os abrigados, facilitando a lavagem de roupas e outros itens pessoais, e oferecendo uma experiência mais confortável e digna.

G. Armazenamento, preparação e distribuição de refeições: dependendo da situação do abrigo, pode-se preferir a preparação da comida no local ou por encomenda. Aqui se apresentam propostas para ambos os casos e dentre outras recomendações, mas é recomendado a construção de uma cozinha no local, independentemente, para que a escolha esteja disponível a cada vez que o abrigo seja usado.

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (2024), a preparação e o fornecimento de refeições em abrigos temporários exigem estrutura física adequada, incluindo equipamentos e utensílios como fogões, refrigeradores, pias, bebedouros e coletores de resíduos. Quando o preparo das refeições ocorre no próprio local, recomenda-se garantir todas as condições de higiene e funcionamento, podendo-se também recorrer a unidades móveis equipadas para esse fim. Caso as refeições sejam fornecidas prontas, o abrigo deve dispor de espaços apropriados para recebimento, armazenamento, distribuição e descarte de resíduos, além de lavatórios para higienização das mãos. O documento ainda orienta que seja organizada uma área específica para refeitório, com mesas e cadeiras, a fim de assegurar que as refeições sejam realizadas de forma coletiva e digna. Quando o mesmo espaço for usado para outras atividades, é indicada a elaboração de uma escala de horários de uso.

Em situações que envolvam famílias com bebês, destaca-se a importância de oferecer apoio à amamentação materna e garantir condições adequadas para o preparo de alimentos infantis, com acesso à água potável e utensílios devidamente higienizados.

H. Gestão do abrigo: é fundamental que em cada abrigo haja coordenador(a), equipe administrativa, equipe de logística, equipe de manutenção, equipe técnica de Assistência Social, podendo agregar outros profissionais do SUAS (Sistema Único de Assistência Social), e equipes/grupos de trabalho organizados por áreas para determinadas funções, como limpeza e outras tarefas. A formação das equipes responsáveis pelo funcionamento dos abrigos temporários deve envolver diferentes estratégias de mobilização. Entre elas, destacam-se a atuação de profissionais do próprio município, a possibilidade de contratações emergenciais e, até mesmo, a colaboração de organismos internacionais. E, claro, sempre que possível é recomendável que haja uma participação ativa das pessoas acolhidas na rotina e na gestão do abrigo.

Estes funcionários devem usufruir de estratégias, como: reuniões em equipe para troca de informações, tomada de decisão, compartilhamento de angústias e apoio mútuo; escalção e rodízio de funções; suporte de profissionais externos para apoio técnico e supervisão; cuidados psicológicos; estratégias mais adequadas para trabalhadores(as) afetados(as) pela emergência e que podem estar vivenciando situações de extremo estresse e dificuldade emocional. O bem-estar dos funcionários tem tanta importância quanto ao dos abrigados e as estratégias citadas podem colaborar na conclusão de tarefas e na saúde desses funcionários.

I. Construção: já em relação às técnicas construtivas, tanto como abrigo quanto ginásio, o edifício contará constantemente com o trânsito de pessoas, incluindo

crianças. Portanto, as medidas preventivas contra incêndios, choques elétricos e outros riscos são necessárias:

Instalações elétricas mal executadas, uso de equipamentos inadequados e formas precárias de preparo de alimentos representam sérios riscos em abrigos temporários, podendo causar curtos-circuitos e incêndios. A falta de sistemas de prevenção, como extintores, hidrantes e detectores de fumaça, aumenta ainda mais a possibilidade de acidentes. Para reduzir esses perigos, é essencial que o local conte com medidas de segurança contra incêndios e rotas de evacuação bem-sinalizadas, garantindo a rápida saída dos ocupantes em casos de emergência (Brasil, Emergências em Assistência Social (MDS), 2024, p. 18).

As vias de evacuação devem estar de acordo com as normas ABNT NBR 9077:2001 (saídas de emergências) e ABNT NBR 10898:1999 (iluminação de emergência), e devem ser previamente repassadas às pessoas abrigadas para que tudo ocorra de forma eficiente quando necessário. As normas ABNT NBR 9441:1998 (execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio) e ABNT NBR 13714:2000 (sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio) também devem ser executadas para garantir a implementação adequada dos sistemas de alarme e dos planos de emergência contra incêndio.

Em qualquer instalação pública é de extrema importância a questão da inclusão de todas as pessoas que irão usufruir dos seus serviços. Isso inclui usuários de cadeiras de roda, deficientes visuais, deficientes auditivos, entre muitos outros. Portanto, o planejamento do abrigo deve necessariamente atender a norma ABNT NBR 9050:2020 (acessibilidade). Ela trata de adaptações de altura para cadeirantes e deficientes visuais usuários de bengala, instruções não verbais para surdos e outros. Já o projeto de estruturas deve atender às prescrições estabelecidas pela ABNT NBR 6118:2014, que define os procedimentos para o dimensionamento e a execução de estruturas de concreto armado, abrangendo critérios de segurança, durabilidade e desempenho estrutural. Essa norma estabelece parâmetros fundamentais para o cálculo de elementos como vigas, pilares, lajes e fundações, garantindo a estabilidade e a qualidade da edificação em diferentes condições de uso e carga.

Além disso, também devem ser observadas as orientações da ABNT NBR 9062:2017, que trata do projeto e da execução de estruturas de concreto pré-moldado, normatizando as etapas de fabricação, transporte, montagem e verificação das peças estruturais. A aplicação dessa norma assegura maior controle de qualidade e racionalização construtiva, contribuindo para uma obra mais segura, eficiente e sustentável.

Por fim, visando a sustentabilidade, devem ser instalados no ginásio painéis solares e sistemas apropriados para armazenamento e reaproveitamento d'água da

chuva. No caso dos painéis, objetiva-se garantir uma fonte de energia limpa e renovável, e como o abrigo deverá ter apenas um andar e se localizará em um bairro residencial, sem muitos prédios, a captação de luz solar pelas placas é propícia. Já em relação à coleta de águas pluviais, é necessário seguir uma série de passos como, por exemplo, coleta, decantação, floculação, que estão descritos a seguir:

Primeiro passo: a água é coletada das chuvas e do rio Piracicaba, em momentos que ele começa a encher além do limite. Em seguida, a água será direcionada para um sistema de grades que separam os resíduos sólidos, como galhos e lixos, da parte líquida coletada.

Segundo passo: a água, já sem os resíduos sólidos, é bombeada para a região do tratamento, também chamada de Estação de Tratamento de Água (ETA). Neste local, é adicionado sulfato de alumínio na água coletada para que as partículas de impurezas, que são leves demais para se sedimentar, fiquem mais pesadas.

Terceiro passo: depois da adição do sulfato de alumínio, a água é submetida a um processo chamado de floculação. Neste processo, a água sofre uma agitação mecânica para que as impurezas se tornem flocos maiores e pesados. Com isso, as partículas e impurezas, agora aglutinadas, maiores e mais pesadas, se depositam no fundo do tanque, facilitando a remoção na etapa seguinte.

Quarto passo: a água vai passar pelo processo de decantação, isto é, os flocos de impureza formados na etapa anterior afundam e são separados do restante do líquido. No fundo, eles formam um lodo que será posteriormente removido e descartado em aterros sanitários.

Quinto passo: no processo de filtração, a água passa por filtros formados por camadas de areia grossa, areia fina, cascalho, pedregulho e carvão. Esses materiais têm o potencial de reter flocos que não decantaram além da completa remoção de outros resíduos menores.

Sexto passo: depois de todos os processos anteriores, corrige-se o pH da água. Depois, adiciona-se cloro ou ozônio para a eliminação dos microrganismos. Por fim, aplica-se flúor, elemento importante na prevenção de cáries na população.

Sétimo passo: após tratada, a água vai ser bombeada para os reservatórios onde será armazenada e distribuída por todo o abrigo. Esse processo garante que o abastecimento ocorra de forma regular, além de permitir a liberação em horários de maior demanda.

Resultados e discussão

No decorrer do capítulo, foram propostas várias medidas e estratégias de gestão e construção do ginásio comunitário multifuncional para que seja um local em que se ofereça um espaço de forma digna e segura aos seus usuários. Além de considerarmos a proteção e o abrigo dos moradores em momentos difíceis, analisamos também a multifuncionalidade do espaço. A seguir, no quadro 2, são descritos os principais serviços necessários nas instalações propostas neste capítulo e, no diagrama 1, é possível visualizar a setorização de layout de alguns espaços do ginásio:

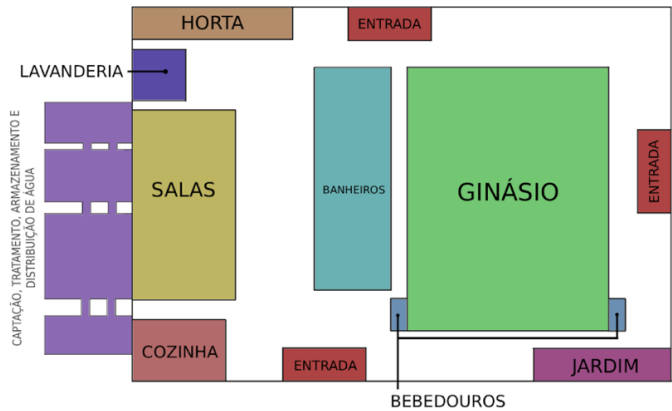
Quadro 2: Programa de necessidades para ginásio comunitário multifuncional e para abrigo emergencial

Programa de necessidades	
<i>Quadra:</i> 2 (duas), uma ao lado da outra.	<i>Quadra:</i> quando se torna um abrigo, a perspectiva é ser capaz de acomodar em torno de 200 pessoas, sendo atribuídos 4,0 m ² por pessoa, seguindo o parâmetro adotado em que se permite acomodação, circulação e serviços.
<i>Banheiro:</i> separados entre feminino e masculino; bem iluminados (com fonte de luz natural ou artificial); ter portas com tranca. É desejável que cada banheiro tenha 10 (dez) cabines separadas para chuveiros e sanitários.	<i>Banheiro:</i> separados entre feminino e masculino; distância de até 50 metros do espaço de salas (acomodação/dormitório); bem iluminados (com fonte de luz natural ou artificial); ter portas com tranca; banheira e trocador para bebês; possuir cadeira de banho. E é desejável que cada banheiro tenha 10 (dez) cabines separadas para chuveiros e sanitários.
<i>Chuveiro:</i> 1 (um) em cada cabine dos banheiros; ao menos 1 (um) com acessibilidade.	<i>Chuveiro:</i> 1 (um) para cada 25 pessoas; ao menos 1 (um) com acessibilidade.
<i>Sanitários:</i> 1 (um) para cada 20 pessoas; pelo menos 1 (um) com acessibilidade.	<i>Sanitários:</i> 1 (um) para cada 20 pessoas; ao menos 1 (um) com acessibilidade.
<i>Lavatórios:</i> 1 (um) para cada 10 pessoas.	<i>Lavatórios:</i> 1 (um) para cada 10 pessoas.
<i>Salas:</i> poderão ser convertidas em espaços para a realização de atividades de lazer/recreação ou como área de armazenamento quando não forem usadas como alojamento.	<i>Salas (dormitórios):</i> devem contar com recursos como colchões, travesseiros, roupa de cama, cobertores, camas, berços etc. Deverá haver dormitórios isolados para pessoas com doenças infecciosas. Cada dormitório poderá abrigar cerca de 10 (dez) pessoas.

—	<i>Lavanderia:</i> 1 (um) tanque e 1 (uma) máquina de lavar roupas para cada 25 pessoas acolhidas.
—	<i>Cozinha:</i> fogões, refrigeradores, pia, bebedouros, utensílios de cozinha, panelas, pratos, talheres, abastecimento e escoamento de água, coletores de resíduos, entre outros equipamentos.
<i>Bebedouros:</i> 4 (quatro) em volta das quadras; e mais 5 (cinco) espalhados por todo o espaço.	—
<i>Refeitório:</i> mesas e cadeiras.	<i>Refeitório:</i> mesas e cadeiras.
<i>Dispensa:</i> 1 (uma) para guardar alimentos; 1 (uma) para guardar produtos de limpeza.	<i>Dispensa:</i> 1 (uma) para guardar alimentos; 1 (uma) para guardar produtos de limpeza.
<i>Recepção:</i> mesas e cadeiras; armários.	<i>Recepção:</i> mesas e cadeiras; armários.
<i>Área de recreação:</i> tatames para diversas atividades, mesas e cadeiras.	<i>Área de recreação:</i> tatames para diversas atividades, mesas e cadeiras.
—	<i>Acomodação de animais domésticos:</i> locais com espaço para movimentação e para alojamento; bebedouros pets para água e espaço para alimentação.

Fonte: as autoras (2025).

Diagrama 1: Setorização de layout de espaços do ginásio comunitário multifuncional



Fonte: as autoras (2025).

A recepção é o local onde será feito o cadastro dos abrigados e poderá servir como extensão da área de convívio (recreação) em épocas que o equipamento não for usado como abrigo. O espaço de recreação tem o intuito de ser usado

também como refeitório, de acordo com uma escala de função condizente com o horário. Neste cenário, a cozinha pode ser usada tanto para o preparo quanto para esquentar refeições, proporcionando tal escolha para a gestão do abrigo, a depender da opção mais viável no momento. É recomendado que a lavanderia tenha 8 (oito) tanques, 8 (oito) máquinas de lavar roupa e 4 (quatro) secadoras. A varanda é coberta e pode ser usada para abrigar animais de estimação. A dispensa próxima a lavanderia servirá para o armazenamento de produtos de limpeza e, a outra, próxima a cozinha, para guardar alimentos.

Cada banheiro conta com 10 (dez) cabines de sanitários, (uma com acessibilidade), 10 (dez) cabines de ducha (uma com acessibilidade), 5 (cinco) lavatórios e 2 (dois) trocadores. Um banheiro é masculino e o outro é feminino. Cada uma das 7 (sete) salas (dormitórios) tem a capacidade de abrigar cerca de 10 (dez) pessoas, com colchões no chão, totalizando a capacidade de 70 pessoas nos dormitórios. Essas instalações são recomendadas para abrigar famílias ou isolar pessoas com doenças infecciosas. Quando não forem usadas como dormitório, algumas salas podem servir como armazenamento de colchões, roupas de cama e banho, produtos de higiene pessoal, e como áreas de convivência privada ou coletiva, em que grupos ou famílias podem se reunir e organizar pequenos eventos, como clube do livro, ensaios de banda de música, brinquedoteca, sala de jogos etc. E mais: o ginásio deve ser usado para atividades comuns de recreação e esporte no dia a dia, mas quando for necessário, também poderá ser utilizado para acomodar as pessoas. Assim, quando necessário, devem ser colocadas divisórias nas quadras para que elas também se tornem espaços de dormitório, fazendo com que o ginásio possa abrigar até 200 (duzentas) pessoas quando se torna um abrigo.

Considerações finais

Como foi possível observar ao longo do capítulo, a construção de um ginásio comunitário multifuncional a ser conversível em um abrigo é viável e pode trazer benefícios não só para a comunidade do bairro Cachoeira do Vale, em Timóteo (MG), como poderá ser replicado em outras regiões do Vale do Aço que, recorrentemente, também sofrem com desastres naturais.

Ainda no decorrer da pesquisa, foram estudados diversos aspectos ambientais como, por exemplo, o risco de inundações e deslizamentos de terra, o tipo de solo, a sub-bacia do rio Piracicaba, onde está inserido o município de Timóteo, além de aspectos urbanos, como a localização do terreno e o acesso da população. Tais pesquisas ajudaram a compreender melhor os desafios que a região enfrenta, além de propiciar uma reflexão sobre a importância de se pensar em

espaços multifuncionais que possam atender tanto as atividades esportivas, de lazer e recreação quanto às situações de emergência.

Também foram essenciais as pesquisas e leituras concernentes às normas, às leis, bem como ao Plano Diretor de Timóteo, documentos imprescindíveis para planejar a estrutura do ginásio/abrigo, compreendendo o que é necessário para que este tipo de espaço tenha um bom funcionamento e possa atender a toda a comunidade, tanto como ginásio como também como abrigo, quando se fizer necessário. Assim, como foi possível perceber pelo quadro 2, o diagrama 1, bem como os elementos essenciais descritos no caso da organização de um espaço para uma situação de emergência, os principais serviços necessários para o funcionamento das instalações propostas devem sempre levar em consideração a segurança, a acessibilidade, o acolhimento, o lazer e a proteção social. Logo, a proposta de um ginásio comunitário multifuncional adaptável para abrigo de emergência atinge seus objetivos e se mostra capaz de oferecer segurança, conforto e inclusão social à população, além de fortalecer o convívio entre a comunidade e contribuir para a sustentabilidade local.

Referências

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9441:1998*. Execução de sistemas de detecção e alarme de incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 10898:1999*. Sistema de iluminação de emergência. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 13714:2000*. Sistemas de hidrantes e de mangotinhos para combate a incêndio. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9077:2001*. Saídas de emergência em edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118:2014*. Projeto de estruturas de concreto: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9062:2017*. Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 9050:2020*. Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

BARBOSA, Suellen Cristina Coelho; SCHMIDT, Roberta Laís Silva; SOUSA, Kiane Heloisa Santana. [Estudo das enchentes da sub-bacia Rio Piracicaba \(MG\), bacia do Rio Doce](#). In: Congresso Internacional de Engenharia Ambiental & 10ª Reunião de Estudos Ambientais. *Anais [...]*, v. 2, p. 216-225, 2020. Acesso em: 28 jun. 2025.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome (MDS). [Emergências em Assistência Social: gestão e funcionamento dos abrigos temporários no SUAS](#). Brasília (DF): Ministério do Desenvolvimento e Assistência Social, Família e Combate à Fome, 2024. Acesso em: 3 out. 2025.

BRASIL. [Lei nº 10.098, de 19 de dezembro de 2000](#). Estabelece normas gerais e critérios básicos para a promoção da acessibilidade das pessoas portadoras de deficiência ou com mobilidade reduzida. Brasília (DF): Câmara dos Deputados, 2000. Acesso em: 5 set. 2025.

LANA, Júlio César; RIBEIRO, Rafael Silva. [Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes, inundações e movimentos de massa: município de Timóteo \(MG\)](#). Ministério de Minas e Energia, Secretaria de Geologia, Mineração e Transformação Mineral, Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Departamento de Gestão Territorial (DEGET), jan. 2014. Acesso em: 19 out. 2025.

MORAIS, Sérgio Lana. [Timóteo: delimitação de áreas de risco, enchentes e movimentos de massa \(2014\)](#). Timóteo: CEFET-MG, 2025. Escala 1:100.000. Acesso em: 25 ago. 2025.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS (ONU). [Transformando nosso mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável](#). Tradução do Centro de Informação das Nações Unidas para o Brasil (UNIC Rio). Brasil: ONU, 2015. Acesso em: 25 ago. 2025.

SOUSA, Rodrigo Vitor Barbosa; ROCHA, Paulo Cesar. [Inundações e conceitos correlatos: revisão bibliográfica e análise comparativa](#). In: CARVALHO JÚNIOR, Osmar Abílio de et al. (org.). *Revisões de literatura da geomorfologia brasileira*. Brasília: Universidade de Brasília, 2022. Acesso em: 15 out. 2025.

TIMÓTEO. Câmara Municipal de Timóteo. [Projeto de Lei Complementar nº 14, de 19 de agosto de 2024](#). Estabelece o Novo Plano Diretor Participativo de Timóteo e dá outras providências. Timóteo (MG): Câmara Municipal de Timóteo, 2024. Acesso em: 3 out. 2025.

Capítulo 13

Incêndios em Timóteo: prevenção e combate em áreas de risco incendiário

Daniel Lourenço Santana; Daniel Victor Silva Barbosa; Diego Barbosa de Freitas Martins; Gabriel de Castro Ribeiro Silva.

Prof. Aurélio Kubo (orientador); Giuliana Carvalho Leite (coorientadora).

Resumo: O presente estudo investiga a problemática dos incêndios florestais e urbanos em áreas de encosta no município de Timóteo (MG), analisando suas causas, impactos e possíveis estratégias de combate e prevenção. A pesquisa, de caráter qualitativo, foi conduzida por meio de investigação bibliográfica, documental e entrevistas com moradores de áreas afetadas. Os resultados evidenciam que os incêndios têm origem majoritariamente antrópica, ou seja, humana, e que os incêndios são agravados pelas condições de relevo e pela falta de políticas preventivas eficazes. A análise dos dados reforça que a prevenção é a estratégia mais eficiente e economicamente vantajosa, quando comparada ao combate direto, sobretudo em regiões de difícil acesso. O estudo propõe um plano de ação municipal baseado em três eixos: prevenção, combate e fiscalização, buscando fortalecer a resiliência ambiental e social de Timóteo diante do aumento dos eventos incendiários.

Palavras-chave: incêndios florestais; prevenção; Timóteo; adaptação climática; PFAS.

Embora o fogo possa ocorrer de forma natural, a ação humana o transformou em uma ameaça crescente e descontrolada. Queimadas ilegais, descarte de lixo e descuidos em áreas rurais aumentaram a frequência dos incêndios, transformando um processo da natureza em um grave problema ambiental e social, especialmente no Brasil.

De forma preocupante, essa realidade se manifesta no município de Timóteo (MG), onde as queimadas são comuns. Relatos de moradores confirmam um aumento no número de incêndios florestais nos últimos anos. Esses eventos não apenas degradam o solo e destroem a fauna e a flora, mas também afetam diretamente a população. A fumaça piora a qualidade do ar, enquanto as chamas ameaçam a segurança de bairros próximos a áreas rurais como Eldorado,

Limoeiro e Santa Terezinha. Essa situação gera uma sensação de insegurança e a percepção de que a resposta das autoridades nem sempre é suficiente.

Ao mesmo tempo, a busca por soluções de combate revela outro problema. Estratégias como a criação de aceiros e o uso de água são essenciais, mas o emprego de certas espumas de combate a incêndio pode liberar no ambiente os chamados “químicos eternos” (PFAS). Essas substâncias são tóxicas, não se degradam facilmente e se acumulam na natureza e no corpo humano, representando um risco a longo prazo.

Diante dessa situação complexa, este estudo analisou o problema dos incêndios em Timóteo com o objetivo de propor medidas de prevenção e combate adaptadas à realidade local. A pesquisa foi norteadada pela seguinte questão: quais medidas de prevenção e combate a incêndios podem ser adotadas pelo município para mitigar e reduzir os impactos causados por esses eventos em áreas florestais e encostas urbanas? Para responder a essa pergunta, a investigação se concentrou em quatro eixos principais: o diagnóstico das políticas públicas existentes, a análise dos fatores climáticos e de relevo que favorecem o fogo, o mapeamento das áreas mais atingidas e a pesquisa de soluções de combate sustentáveis.

Para entender bem o problema dos incêndios em Timóteo, é importante analisar a combinação de alguns fatores. Explorou-se como o fogo se comporta e suas causas, que na maioria das vezes são humanas; o papel da geografia local, explicando como o relevo de morros e vales piora a situação e dificulta o trabalho de combate; e aumentaria o risco ambiental criado pelo uso dos “químicos eternos” (PFAS) em algumas espumas. Entender esses pontos é a base para discutir as soluções para o município.

Fundamentação conceitual

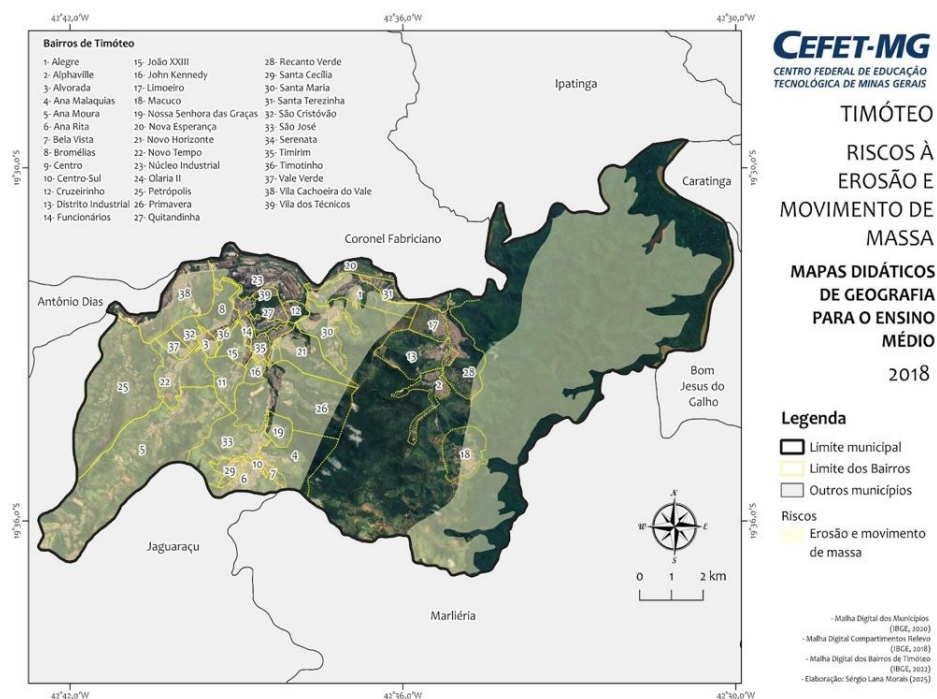
A dinâmica de um incêndio florestal depende de três elementos básicos: calor, oxigênio e combustível. Nas encostas íngremes de Timóteo, essa dinâmica é intensificada. O calor das chamas sobe pelo morro, aquecendo a vegetação que está mais acima e fazendo com que o fogo se alastre morro acima de forma muito mais rápida. O próprio relevo funciona como um “condutor natural” do fogo, transformando pequenos focos em grandes incêndios.

Essa ameaça se torna concreta na geografia de Timóteo, com seus bairros situados em vales e encostas, criando uma extensa Interface Urbano-Florestal — a área onde a cidade e a mata se encontram. A proximidade entre casas e vegetação funciona como um caminho de combustível que pode levar as chamas para as

áreas habitadas. O perigo é agravado durante o inverno, que na região é comumente seco e com pouca chuva, deixando a vegetação mais inflamável.

O bioma local, a Mata Atlântica, é outro fator de vulnerabilidade. Diferente de ecossistemas como o Cerrado, a Mata Atlântica não tem adaptações ao fogo, que age como um agente de pura destruição. Quando um incêndio acontece, os danos ao ecossistema são severos. Dados recentes mostram que a área queimada nesse bioma tem aumentado, afetando principalmente as matas em recuperação, mais secas e menos densas.

Mapa 1: Bairros de Timóteo (MG)

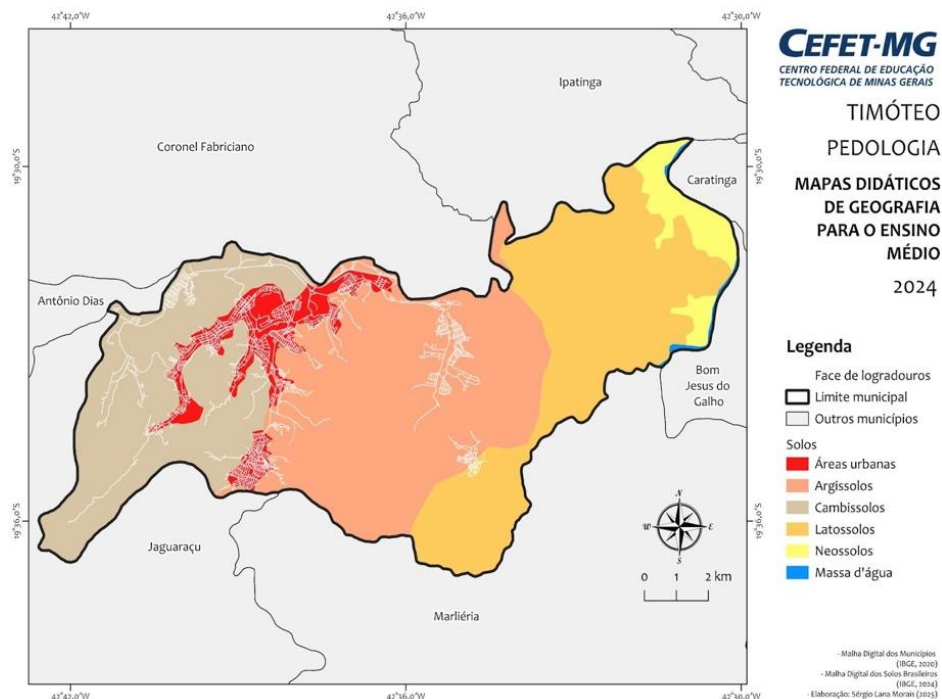


Fonte: Morais (2018).

As consequências desses incêndios são graves. Além da fumaça, que piora a qualidade do ar e a saúde da população, um dos maiores perigos após a passagem do fogo é a erosão. O mapa de solos de Timóteo indica que bairros como Santa Maria e Alegre estão sobre argissolos, um tipo de solo naturalmente suscetível à erosão. Quando o fogo destrói a vegetação que o protege, esse risco, já apontado como alto no mapa de riscos de erosão do município, aumenta drasticamente.

Assim, o incêndio não só destrói a fauna e a flora, mas também degrada o solo e potencializa um outro problema ambiental.

Mapa 2: Pedologia de Timóteo (MG)



Fonte: Morais (2024).

Diante desse cenário, é fundamental destacar a responsabilidade legal. Provocar incêndios em matas é crime previsto na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998). Além disso, a Constituição Federal, em seu artigo 23, estabelece que a proteção do meio ambiente e o combate à poluição são de competência comum da União, dos Estados e dos Municípios. Isso significa que o poder público em todas as esferas, inclusive a municipal, tem o dever de criar e implementar políticas públicas eficazes de prevenção e combate ao fogo, protegendo tanto o meio ambiente quanto a população.

Depois de entender o cenário de risco e a dificuldade de apagar os incêndios em Timóteo, a busca por métodos de combate mais eficientes se torna uma prioridade. Uma das ferramentas usadas em grandes incêndios são as espumas químicas. No entanto, algumas delas trazem um grave problema ambiental e de saúde: a presença de substâncias per e polifluoroalquil, mais conhecidas como PFAS.

Esses compostos são popularmente chamados de “químicos eternos” por um motivo simples: eles são extremamente persistentes e não se degradam facilmente na natureza. Quando uma espuma com PFAS é utilizada, esses químicos podem contaminar o solo e as fontes de água, como rios e lençóis freáticos, por décadas. Pior ainda, eles se acumulam nos organismos vivos, incluindo peixes, plantas e, por fim, no corpo humano. Pesquisas já associam a exposição a longo prazo aos PFAS a uma série de problemas de saúde, incluindo alterações hormonais, danos ao fígado e até um maior risco de desenvolvimento de alguns tipos de câncer (ATSDR).

Isso cria um dilema para as equipes de combate e para os gestores públicos. A escolha de uma ferramenta para apagar o fogo não pode ser baseada apenas na sua eficácia imediata. É preciso pensar nas consequências futuras. Usar certos tipos de espumas pode significar trocar uma crise visível e imediata, o incêndio, por outra silenciosa e duradoura, a contaminação química. Por isso, o uso desses produtos deve ser restrito, priorizando o combate com água e métodos manuais, especialmente em áreas de mata ou perto de nascentes.

Procedimentos metodológicos

A presente pesquisa foi conduzida como um estudo de caso de abordagem qualitativa, com foco no complexo problema dos incêndios florestais nas áreas de interface urbano-florestal do município de Timóteo-MG. A metodologia foi organizada para integrar diferentes fontes de informação, permitindo um diagnóstico que conecta os aspectos técnicos, legais, geográficos e sociais do problema. Para isso, o processo de investigação foi estruturado em uma ampla coleta de dados documentais, bibliográficos e primários, seguida por uma análise integrada.

A base da investigação consistiu em pesquisa bibliográfica e documental, na qual foram exploradas diversas fontes para construir a base do estudo. Foram analisados trabalhos que abordam a dinâmica do fogo, a vulnerabilidade do bioma Mata Atlântica e os riscos da Interface Urbano-Florestal. Para compreender o contexto local, foram levantadas e analisadas notícias e reportagens em jornais de circulação regional, que forneceram um histórico de ocorrências e a percepção pública dos eventos. Em paralelo, a pesquisa documental aprofundou-se no contexto legal e institucional, examinando leis ambientais federais, como a Lei de Crimes Ambientais, e em pronunciamentos oficiais do município, a fim de mapear as responsabilidades e as políticas públicas existentes. Esta etapa também incluiu a busca por soluções práticas, através da análise de manuais de brigadas de incêndio e documentos técnicos do Corpo de Bombeiros.

Para compreender a dimensão geográfica do problema, foram examinados os mapas oficiais de pedologia (solos) e de risco de erosão do município. A análise do mapa de solos foi fundamental para visualizar a configuração da Interface Urbano-Florestal de Timóteo, mostrando como a mancha urbana se localiza em vales e encostas cercadas por vegetação. Já a análise do mapa de riscos de erosão, cruzada com a do mapa de solos, permitiu identificar a vulnerabilidade específica de bairros como Santa Maria e Alegre, assentados sobre argissolos, e assim determinar a conexão entre os incêndios e o aumento do risco de erosão, um dos principais resultados discutidos neste trabalho.

Complementando as fontes secundárias, a pesquisa recorreu à coleta de dados primários através de entrevistas semiestruturadas. Foi selecionada uma amostra intencional de moradores com longo tempo de residência (mais de 20 anos) em bairros críticos como Bromélias e Santa Terezinha, que têm um histórico recorrente de incêndios nas suas proximidades. As entrevistas buscaram entender a percepção da comunidade sobre a frequência dos incêndios, o impacto do relevo no combate, a visibilidade e eficácia das ações do poder público, e as consequências diretas desses eventos no cotidiano. Os relatos obtidos confirmaram as informações levantadas na pesquisa documental, a dificuldade de acesso em áreas de morro. Serviram também para revelar o lado social do problema, como a sensação de insegurança e a percepção de uma lacuna entre as políticas planejadas e as ações realmente percebidas pela população.

Resultados e discussão

A análise da literatura acadêmica sobre incêndios florestais revela um ponto central que serve de base para toda a discussão: a gestão do fogo é fundamentalmente um debate entre duas lógicas, a da prevenção e a do combate (ou supressão). Conforme aponta Lourenço (2006, p. 60), embora o combate seja a resposta mais visível e heroica, a verdadeira solução para o problema está na prevenção, sob o lema de que “os fogos não se apagam, evitam-se, previnem-se”.

Um dos principais achados da pesquisa bibliográfica é a constatação de que, apesar de ser mais eficaz, a prevenção é sistemicamente negligenciada. Lourenço (2006) explica que isso ocorre por três motivos principais. Primeiro, a prevenção consiste em ações simples e pouco espetaculares (como limpeza de mato, criação de aceiros e educação ambiental), que não geram grande visibilidade midiática ou política. Em segundo lugar, ela exige uma mudança de hábitos da população, o que é um processo lento e difícil. E em terceiro, há uma tendência de se transferir a responsabilidade, esperando que o governo ou outras instituições resolvam o problema. O autor destaca que, muitas vezes, os investimentos financeiros que

deveriam ir para a prevenção acabam sendo direcionados para a compra de equipamentos de combate, mostrando uma clara preferência pela resposta reativa em vez da proativa.

Essa análise se conecta diretamente com os dados primários coletados em Timóteo. As entrevistas com os moradores, que relataram a percepção de “ausência de ações efetivas da prefeitura para o combate”, refletem o cenário descrito por Lourenço (2006). A sensação da comunidade de que pouco é feito para evitar os incêndios sugere que as ações de prevenção ou não existem de forma robusta, ou não são comunicadas de forma eficaz, reforçando a ideia de que o foco das autoridades e a percepção pública estão majoritariamente no momento do combate, e não nas ações que poderiam ter evitado o fogo em primeiro lugar.

Aprofundando a lógica da prevenção, Ribeiro (2004) reforça o argumento de que prevenir é economicamente mais vantajoso do que combater. O autor explica que os investimentos em prevenção (como treinamento de pessoal, educação ambiental e manejo da vegetação) são compensadores quando comparados aos custos gigantescos associados ao combate. Os custos do combate não envolvem apenas o desgaste de equipamentos e os gastos com logística, mas também os riscos de acidentes com os brigadistas, as perdas econômicas (madeira, plantações) e os danos ambientais que demandam altos investimentos para recuperação futura. Ribeiro (2004, p. 254) destaca um paradoxo: os investimentos em prevenção, como vigilância e treinamento, não geram um retorno econômico visível e imediato, pois o seu sucesso é medido pelos desastres que deixaram de acontecer. Por isso, governos e gestores têm dificuldade em calcular os benefícios e justificar os gastos. Essa dificuldade em “ver” o retorno do investimento na prevenção é, segundo o autor, uma das maiores barreiras para a criação de um sistema de proteção eficiente.

Para materializar o custo elevado do combate, a pesquisa de Rodrigues (2008) sobre os incêndios no estado do Rio de Janeiro fornece dados concretos. A autora estima que o custo operacional diário para combater um incêndio florestal era de R\$ 65.000,00, incluindo despesas com alimentação da tropa, combustível, diárias de aeronaves e depreciação de equipamentos. Em um período de estiação de apenas três meses, o custo total de operações no estado alcançou quase R\$ 1,5 milhão. Embora esses valores sejam de 2007, eles servem para ilustrar um princípio fundamental reforçado pela autora: quanto mais cedo um incêndio é combatido, menor é a área queimada e, conseqüentemente, menores são os custos envolvidos. O investimento em equipar uma brigada básica de sete pessoas, por exemplo, chegava a quase R\$ 200.000,00, evidenciando o alto custo dos recursos necessários para a resposta reativa ao fogo.

Os desafios de custo e logística são ainda maiores em locais de difícil acesso, como as encostas de Timóteo. Nestes cenários, a água, que é o meio mais econômico de combate, torna-se um recurso limitado. É nesse ponto que entram as tecnologias de retardantes químicos. Segundo Batista (2009), esses produtos, misturados à água, aumentam a eficiência da extinção, seja através de espumas que fazem a água aderir melhor à vegetação (retardantes de curta duração) ou de produtos que deixam um resíduo químico que inibe a combustão mesmo após a evaporação da água (longa duração). No entanto, o autor ressalta que essa solução tecnológica traz consigo implicações ambientais e a necessidade de rigorosos testes de toxicidade, um ponto que se conecta diretamente à preocupação deste trabalho com os “químicos eternos” (PFAS). Além disso, Batista (2009) esclarece que mesmo o combate aéreo com retardantes não elimina a necessidade de equipes terrestres para a extinção completa e o rescaldo, reforçando que não há uma solução única para o problema.

Finalmente, a pesquisa aponta para a importância crucial da primeira intervenção. O sucesso ou o fracasso no controle de um incêndio é quase sempre decidido nos seus momentos iniciais. Um foco de fogo respondido de forma rápida e eficiente por uma equipe bem-preparada torna-se apenas mais um número na estatística. No entanto, uma primeira intervenção que falha, seja por falta de pessoal, equipamento adequado ou dificuldade de acesso, transforma um pequeno foco em um grande desastre (Lourenço, 2006). Este ponto é especialmente relevante para a realidade de Timóteo, onde o relevo acidentado é o principal obstáculo para uma resposta rápida, o que reforça a necessidade de estratégias de prevenção e de equipes de primeira resposta adaptadas a esse terreno.

Considerações finais

Este estudo analisou o problema dos incêndios florestais em Timóteo (MG), buscando responder à questão central: quais medidas de prevenção e combate a incêndios podem ser adotadas pelo município para melhor adaptação aos impactos causados por esses eventos em áreas florestais e encostas urbanas? A pesquisa partiu de dois desafios locais: uma geografia de vales e encostas que dificulta o combate e a crescente percepção da comunidade de que as respostas atuais são insuficientes. A investigação documental e bibliográfica, em conjunto com a análise das condições locais, permitiu não apenas compreender a profundidade do problema, mas também estruturar uma proposta de ação concreta.

A análise dos resultados mostra algo que a literatura acadêmica já aponta: a estratégia mais eficaz e economicamente vantajosa para lidar com incêndios florestais é a prevenção, e não o combate. Autores como Lourenço (2006) e Ribeiro (2004)

demonstram que, embora menos visíveis, os investimentos em medidas preventivas geram economias substanciais ao evitar os custos humanos, ambientais e financeiros de um grande desastre. Os dados de Rodrigues (2008) sobre os altíssimos custos operacionais do combate reforçam este ponto. Em Timóteo, onde a dificuldade de acesso torna a primeira intervenção crítica e o combate ainda mais caro e complexo, a lógica da prevenção torna-se não apenas uma recomendação, mas uma necessidade urgente.

Diante do exposto, e com o objetivo de fortalecer a resiliência de Timóteo, propõe-se um plano de ação integrado, estruturado em três tópicos principais: Prevenção, Combate e Fiscalização.

1. Eixo de Prevenção: Agir antes do fogo

A prevenção deve ser a base de toda a política municipal. As ações sugeridas incluem:

- Criação de um calendário municipal de manejo: Estabelecer, em parceria com a comunidade, períodos específicos antes da estação seca para a limpeza de vegetação e a manutenção e criação de aceiros nas áreas de interface urbano-florestal, especialmente nos bairros que já apresentam uma eventual recorrência como Bromélias e Alegre.
- Campanhas de conscientização contínuas: Realizar campanhas educativas nas escolas e associações de bairro sobre os riscos das queimadas, o descarte correto de lixo e as alternativas ao uso do fogo, como a compostagem.
- Engajamento comunitário: Incentivar a formação de grupos de voluntários nos bairros, que possam atuar como "guardiões da encosta", monitorando e reportando situações de risco.

2. Eixo de Combate: Resposta rápida e adaptada

O combate em Timóteo precisa de estratégias adaptadas ao seu relevo. Propõe-se:

- Formação de Brigadas Comunitárias: Capacitar, com o apoio do Corpo de Bombeiros, equipes de brigadistas voluntários formadas por moradores locais. Por conhecerem o terreno, eles podem realizar a primeira intervenção de forma muito mais ágil, usando técnicas manuais (como abafadores) em locais em que caninhões não chegam, controlando os focos iniciais antes que se tornem grandes incêndios.

- Maior investimento em Equipamentos Leves: Priorizar a aquisição de equipamentos de combate que possam ser facilmente transportados em terrenos íngremes, como bombas-costais, abafadores e sopradores.

3. Eixo de Fiscalização: Responsabilização e controle

Para que a prevenção funcione, a fiscalização precisa ser efetiva. Algumas sugestões são:

- Criação e Divulgação de Canais Simplificados de Denúncia: Implementar um canal direto e de fácil acesso (como um número de WhatsApp exclusivo) e divulgá-lo, para que a população possa denunciar queimadas ilegais e descarte de lixo em áreas de risco, garantindo uma resposta rápida dos órgãos de fiscalização.
- Monitoramento Ativo: Utilizar recursos de baixo custo, como drones, para monitorar as áreas recorrentes e de maior risco durante os períodos de seca, agindo de forma proativa para identificar e punir os responsáveis por atividades ilegais.

A implementação dessas medidas, de forma integrada e com forte participação da comunidade, tem o potencial de não apenas reduzir a ocorrência e a dimensão dos incêndios em Timóteo, mas também de criar uma cultura de prevenção e cuidado, tornando o município um lugar mais seguro e resiliente para todos.

Referências

BATISTA, Antônio Carlos. [O uso dos retardantes no combate aéreo aos incêndios florestais](#). *Floresta*, v. 39, n. 1, p. 5-10, 2009. Acesso em: 18. out 2025.

BRASIL. [Constituição da República Federativa do Brasil](#). Brasília: Presidência da República, 1988. Acesso em: 19 jul. 2025.

BRASIL. [Lei 12.651, de 25 de maio de 2012](#). Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. Brasília: Presidência da República. Acesso em: 19 jul. 2025.

BRASIL. [Lei 9.605, de 12 de fevereiro de 1998](#). Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília: Presidência da República. Acesso em: 19 jul. 2025.

Corpo de Bombeiros Militar de Minas Gerais. [Instrução técnica 12/2019](#). 2. ed. Acesso em: 27 jun. 2025.

LOURENÇO, Luciano. Incêndios florestais. Algumas reflexões sobre prevenção e mitos do combate. *Territorium*, n. 13, p. 59-70, 2006. Acesso em: 18. out 2025.

MORAIS, Sérgio Lana. *Timóteo Bairros*. Mapas didáticos de geografia para o ensino médio. Timóteo: CEFET-MG, 2018. 1 mapa, color. Escala gráfica.

MORAIS, Sérgio Lana. *Timóteo Pedologia*. Mapas didáticos de geografia para o ensino médio. Timóteo: CEFET-MG, 2024. 1 mapa, color. Escala gráfica.

RIBEIRO, Guido Assunção. Estratégias de prevenção contra os incêndios florestais. *Floresta*, v. 34, n. 2, p. 243-247, 2004. Acesso em: 18. out 2025.

RODRIGUES, Aline Nahanna Carneiro. Considerações sobre prevenção e combate aos incêndios florestais no Estado do Rio de Janeiro. 2008. Monografia (Engenharia Florestal) — Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008. Acesso em: 18. out 2025.

Em 2015,

a ONU apresentou a *Agenda 2030*, um documento que indicava um caminho comum para alcançar um desenvolvimento ambientalmente saudável, socialmente justo e economicamente viável. Como todo caminho, este possui obstáculos, mas também há placas que indicam as melhores opções de rotas. Neste caso, as placas são os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Elaborados coletivamente, eles representam metas que devemos alcançar para que o caminho seja percorrido e tenhamos uma sociedade mais sustentável.

Como forma de conhecer, refletir e contribuir com esses objetivos, os estudantes da 1ª série dos cursos técnicos do Campus Timóteo do CEFET-MG aceitaram o desafio de desenvolver pesquisas que demonstram como podem contribuir para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável propostos pela ONU, com foco no enfrentamento dos impactos ambientais em nível local.

Após um ano de trabalho e aquisição dos conhecimentos nos cursos técnicos de Desenvolvimento de Sistemas, Edificações e Química, apresentamos o resultado desse esforço coletivo de pensar globalmente para agir localmente.

Convidamos você a navegar pelas páginas deste livro para conhecer as propostas dos estudantes do Campus Timóteo do CEFET-MG para um futuro mais sustentável.

Disciplinas integrantes do projeto

Ciências Humanas e Sociais Aplicadas

- Geografia
- História
- Filosofia

Linguagens e suas Tecnologias

- Artes
- Língua Portuguesa
- Redação e Estudos Linguísticos

Ciências da Natureza e suas Tecnologias

- Biologia
- Física
- Química

Disciplinas específicas de cursos técnicos

- Materiais de Construção
- Química



ONTEM, HOJE, AMANHÃ