



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



DESTINAÇÃO DE MACRÓFITAS COMO ALTERNATIVA À DISPOSIÇÃO EM ATERRO: ESTUDO DE CASO EM RESERVATÓRIO NO RIO PARAÍBA DO SUL (SP)

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.9.26.XII-001>

Leonardo de Souza Lisboa (*), Thiago Liberato de Veiras, Gabriela Reichert, Rodolfo Rosendo de Carvalho, Joaquim Duarte

*G5 Engenharia – lsl@g5engenharia.com.br.

RESUMO

Lançamentos irregulares de esgoto em rios urbanos e fontes de poluição difusa contribuem o aumento da concentração de nutrientes em reservatórios. Essas condições, combinadas com temperaturas ideais e baixas velocidades favorecem a proliferação de macrófitas, cuja remoção recorrente resulta na geração de grandes volumes de resíduo sólido, com elevado custo de manejo e destinação em aterro sanitário. Este estudo teve como objetivo sistematizar alternativas de uso e destinação da biomassa de macrófitas e avaliar sua aplicabilidade em um reservatório localizado no rio Paraíba do Sul (SP). A revisão bibliográfica categorizou as rotas segundo sua finalidade (compostagem, energética, termoquímica, ambiental e material), seguida de análise aplicada ao estudo de caso considerando escala de geração, presença de resíduos misturados, logística e condicionantes regulatórios. Os resultados indicam que compostagem e a produção de carvão vegetal apresentam maior viabilidade técnica e operacional, enquanto a produção de biogás depende de integração com infraestrutura existente e as demais rotas apresentam baixa aplicabilidade prática. Conclui-se que a substituição parcial da disposição em aterro por estratégias de valorização é tecnicamente viável, desde que associada à estrutura mínima de triagem e secagem da biomassa e à avaliação econômica detalhada das alternativas priorizadas.

PALAVRAS-CHAVE: macrófitas aquáticas, eutrofização, resíduos sólidos, valorização de biomassa, economia circular.

ABSTRACT

Untreated or inadequately treated domestic wastewater discharges in urban rivers and nonpoint source pollution increase nutrient loading in reservoirs. These conditions, combined with ideal temperatures and low flow velocities promote excessive macrophyte growth in reservoirs. Recurrent mechanical harvesting of this biomass generates large volumes of solid waste, typically directed to landfill disposal at significant management cost. This study aimed to systematize macrophyte biomass valorization pathways and assess their applicability to a reservoir located within the Paraíba do Sul River basin (São Paulo State, Brazil). A structured literature review classified available routes according to end-use categories (composting, bioenergy, thermochemical conversion, environmental applications, and material production), followed by a site-specific feasibility assessment considering biomass generation scale, mixed solid waste contamination, transport logistics, and regulatory constraints. Results indicate that composting and biochar production present the highest technical and operational feasibility, whereas anaerobic digestion for biogas generation depends on integration with existing infrastructure, and other pathways show limited short-term applicability. These findings demonstrate that partially replacing landfill disposal with resource recovery strategies is technically achievable, provided that basic pre-treatment infrastructure, such as sorting and drying, is implemented and supported by detailed economic feasibility analysis.

KEY WORDS: aquatic macrophytes, eutrophication, solid waste management, biomass valorization, circular economy.

INTRODUÇÃO

Em bacias hidrográficas com intensa ocupação antrópica, o lançamento de esgoto doméstico e o aporte de poluição difusa provenientes de áreas urbanas e rurais contribuem para o aumento da carga de nutrientes nos corpos d'água. Esse enriquecimento, principalmente por nitrogênio e fósforo, pode alterar a dinâmica ecológica dos sistemas aquáticos ao favorecer o desenvolvimento de organismos fotossintetizantes e a expansão de comunidades vegetais (Carpenter *et al.*, 1998).

Essas pressões podem ser intensificadas pelas próprias condições hidrodinâmicas do ambiente. O crescimento de espécies aquáticas vegetais está frequentemente relacionado à combinação entre disponibilidade de nutrientes e



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



condições hidráulicas favoráveis ao acúmulo de biomassa, especialmente no caso de macrófitas flutuantes livres, que apresentam elevada taxa de crescimento e grande capacidade de assimilação de nutrientes (Villamagna & Murphy, 2010; O'Hare *et al.*, 2018). Nesse contexto, trechos de rios com regularização de vazão, como os reservatórios, apresentam condições de redução da velocidade de escoamento e o aumento do tempo de residência da água, o que favorece a retenção de nutrientes e de material orgânico, criando condições mais estáveis e ideais para o estabelecimento de vegetação aquática (Wetzel, 2001).

A presença massiva de macrófitas em reservatórios gera impactos operacionais, ambientais e econômicos. A biomassa acumulada pode interferir na captação de água, obstruir estruturas hidráulicas e demandar intervenções periódicas de remoção. Além disso, a decomposição de grandes volumes vegetais pode alterar a disponibilidade de oxigênio dissolvido e a dinâmica de nutrientes no sistema aquático (Smith *et al.*, 1999).

Após a remoção, essa biomassa passa a ser tratada como resíduo sólido, caracterizado por alto teor de umidade, grande volume e heterogeneidade, frequentemente associado a resíduos transportados pelo curso d'água. A destinação em aterro sanitário constitui a solução mais utilizada, porém implica custos logísticos e baixo aproveitamento do potencial material e energético da biomassa. Nesse contexto, abordagens alinhadas aos princípios da economia circular têm incentivado a investigação de rotas alternativas de valorização, capazes de integrar a gestão de resíduos a soluções ambientalmente e economicamente mais sustentáveis (Geissdoerfer *et al.*, 2017).

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar uma revisão bibliográfica sistematizada sobre usos e destinações da biomassa de macrófitas e avaliar, com base nessa síntese, a aplicabilidade das alternativas identificadas a um reservatório impactado por proliferação recorrente de macrófitas na bacia do rio Paraíba do Sul (SP).

METODOLOGIA

A área de estudo corresponde a um reservatório implantado em trecho do rio Paraíba do Sul, no estado de São Paulo (Figura 1).

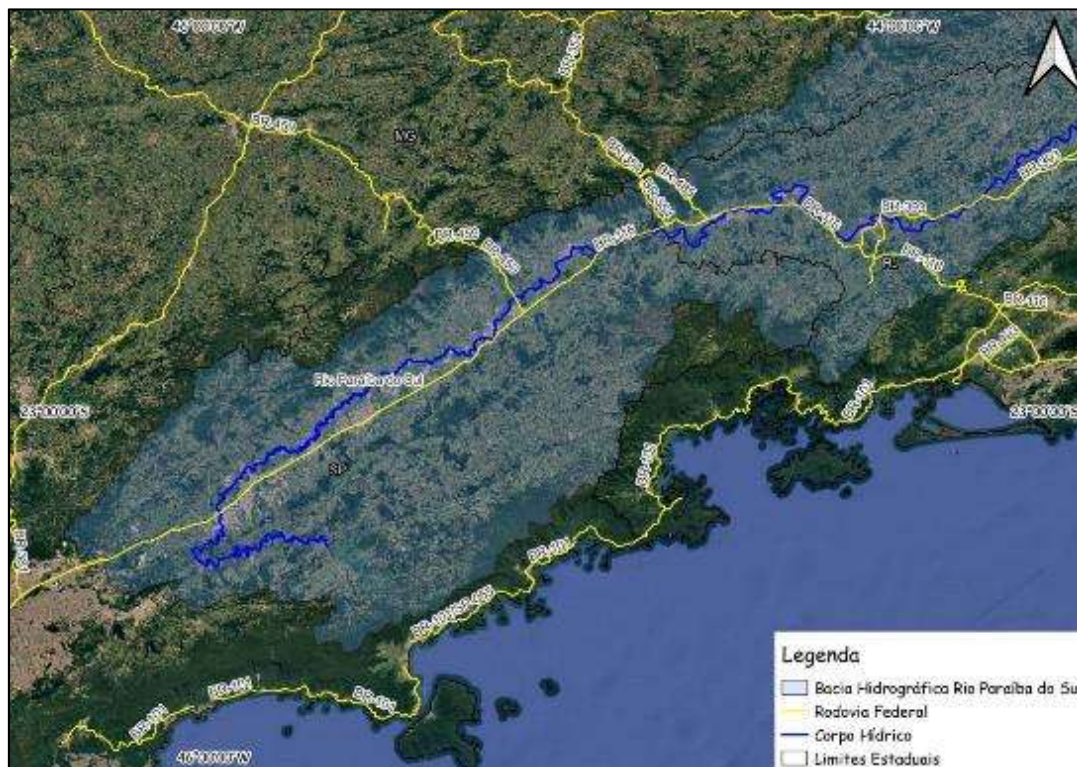


Figura 1 – Localização geral da bacia do rio Paraíba do Sul no Sudeste brasileiro.

Fonte: o autor, (2026)



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



O Paraíba do Sul é um dos principais sistemas hídricos do Sudeste brasileiro, com cerca de 1 050 km de extensão, desde sua nascente no interior paulista até a foz no litoral fluminense, e uma bacia hidrográfica de aproximadamente 56 000 km² distribuída entre os estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro. Ao longo de sua calha e de seus principais afluentes estão inseridos mais de 180 municípios, configurando um território intensamente urbanizado e economicamente dinâmico, o que implica significativa demanda por recursos hídricos e elevada carga de intervenções sobre o sistema fluvial (CEIVAP, 2023; ANA, 2020).

Ao longo das últimas décadas, diferentes estudos indicam que a bacia do rio Paraíba do Sul apresenta pressões antrópicas associadas ao lançamento de efluentes domésticos, à expansão urbana e ao escoamento difuso proveniente de áreas rurais (PACHECO *et al.*, 2017). O reservatório analisado localiza-se em trecho regulado do rio, onde a redução da velocidade de escoamento favorece a retenção de material orgânico e de vegetação aquática.

No reservatório estudado observa-se a presença recorrente de bancos de macrófitas ao longo da calha e das margens. Entre as espécies predominantes identificadas destacam-se *Eichhornia crassipes* (aguapé), *Pistia stratiotes* (alfac-d'água), *Polygonum* sp., *Elydra anagallis* e *Brachiaria* sp., representando principalmente formas biológicas flutuantes livres e emergentes. A biomassa acumulada demanda intervenções periódicas de remoção para manutenção das condições hidráulicas e operacionais do empreendimento. Atualmente, o material retirado é destinado a aterro sanitário, implicando custos associados ao transporte e à disposição final, além da perda do potencial de aproveitamento da biomassa gerada.

Inicialmente, foi realizada revisão sistematizada da literatura com o objetivo de identificar rotas tecnicamente viáveis para o aproveitamento da biomassa de macrófitas. A busca foi conduzida nas bases ScienceDirect, SpringerLink, Web of Science, Scopus e MDPI, contemplando publicações dos últimos cinco anos (2021–2026). Foram incluídos exclusivamente artigos revisados por pares que apresentassem aplicação prática ou avaliação técnica de alternativas de valorização da biomassa, sendo excluídos estudos puramente ecológicos ou fora do recorte temporal definido. Quando múltiplos trabalhos abordavam a mesma rota tecnológica, a seleção priorizou periódicos de maior relevância científica, estudos metodologicamente mais robustos e, quando disponível, maior número de citações. A partir desse processo, foram selecionados três artigos representativos por alternativa, que fundamentaram a sistematização dos usos e destinações da biomassa, bem como a síntese de suas principais vantagens e limitações técnicas, operacionais e ambientais.

Na etapa seguinte, procedeu-se à caracterização do estudo de caso, correspondente a um reservatório situado no rio Paraíba do Sul, no estado de São Paulo. A composição da vegetação aquática foi obtida a partir de relatórios operacionais de remoção de macrófitas referentes ao período de 2012 a 2022, disponibilizados pelo empreendimento. Esses documentos registram as espécies predominantes observadas durante as operações de manejo, permitindo identificar as macrófitas presentes no sistema e inferir suas respectivas formas biológicas (flutuantes livres, emergentes ou enraizadas), informação relevante para a análise das rotas de destinação da biomassa.

Os mesmos relatórios foram utilizados para caracterizar as operações de manejo realizadas no reservatório, incluindo informações sobre volume ou massa removida por evento, frequência das campanhas, métodos de retirada, transporte e destinação atualmente adotada. A análise desses registros permitiu estimar a ordem de grandeza da biomassa gerada e compreender aspectos operacionais e logísticos associados ao manejo do material removido.

Adicionalmente, foi realizada uma avaliação da infraestrutura disponível no entorno do empreendimento, com o objetivo de identificar instalações potencialmente integráveis ao manejo da biomassa. Para isso, foram consultadas bases públicas de dados e plataformas digitais de mapeamento, permitindo o levantamento preliminar de aterros sanitários, estações de tratamento de esgoto (ETEs) e outras estruturas relacionadas à gestão de resíduos e saneamento. A partir dessas informações, foram estimadas distâncias aproximadas de transporte e analisadas possíveis alternativas de integração operacional.

Por fim, a aplicabilidade das rotas de aproveitamento identificadas na revisão bibliográfica foi avaliada qualitativamente à luz das características do estudo de caso. Essa análise considerou principalmente a compatibilidade técnica das alternativas com o tipo de biomassa gerada, a escala das operações de remoção e as condições logísticas associadas ao manejo do material. A comparação entre as alternativas descritas na literatura e as condições observadas permitiu identificar as rotas com maior potencial de aplicação no contexto analisado.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



RESULTADOS

As alternativas de aproveitamento da biomassa de macrófitas descritas na literatura podem ser agrupadas, de forma geral, segundo a finalidade do produto gerado, incluindo rotas agrônômicas, energéticas, termoquímicas, ambientais e materiais. No âmbito dessas categorias, as rotas agrônômicas correspondem a compostagem e à estabilização aeróbia da matéria orgânica com recuperação de nutrientes. As rotas energéticas incluem a produção de biogás por digestão anaeróbia e de bioetanol por conversão bioquímica da biomassa. A produção de carvão vegetal representa uma rota termoquímica, gerando material carbonáceo com potencial uso agrícola ou energético. A biomassa também pode ser aplicada em tratamento de água como material adsorvente, utilizada na produção de biomateriais ou destinada à produção de ração em sistemas controlados.

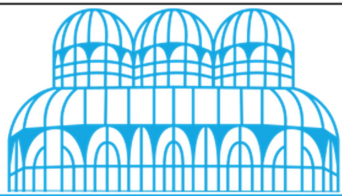
A Tabela 1 apresenta uma síntese dessas rotas de destinação, acompanhadas de suas principais vantagens e limitações.

Tabela 1 –Vantagens e Limitações para alternativas de Destinação das Macrófitas

Destinação	Vantagens	Desvantagens / Limitações	Referências
Compostagem	Tecnologia consolidada; baixo investimento relativo; recuperação de nutrientes; possibilidade de aplicação local; redução de volume e massa	Requer área disponível e manejo contínuo; controle de odores; qualidade depende da composição da biomassa; pode haver restrições sanitárias	Serafini <i>et al</i> (2025)
Biogás	Geração de energia renovável; integração com outros resíduos orgânicos; redução da carga orgânica; produção de digestão utilizável	Exige controle operacional; possível necessidade de pré-tratamento; viabilidade dependente da escala e da composição da biomassa	Xiang <i>et al.</i> , (2026)
Bioetanol	Conversão em combustível líquido; inserção no conceito de bioeconomia; potencial de integração industrial	Alta complexidade tecnológica; pré-tratamento lignocelulósico necessário; dependência de escala e estabilidade da matéria-prima	Abba <i>et al.</i> , (2025)
Carvão Vegetal	Produção de material estável; possibilidade de uso agrícola ou energético; redução significativa de volume; facilidade de armazenamento	Necessita unidade térmica; controle de emissões; viabilidade dependente de mercado e escala operacional	Kassa <i>et al.</i> , (2025)
Tratamento de água	Aplicação em tratamento de água/efluentes; agregação de valor ambiental; possível aproveitamento de biochar produzido	Muitas aplicações ainda em escala laboratorial; necessidade de regeneração e destinação do material saturado	Ullah & Rahman (2024)
Biomateriais	Substituição de materiais convencionais; agregação de valor; potencial absorção de grande volume de biomassa	Exige padronização e controle de qualidade; depende de mercado consumidor; maior complexidade tecnológica	Lawanwadeekul & Chindapasirt, (2025)
Ração	Alto valor nutricional; potencial inserção em economia circular; mercado emergente	Forte restrição sanitária; risco de bioacumulação de contaminantes; exige cultivo controlado	Sulaiman <i>et al.</i> , (2025)

Fonte: o autor (2026)

A escala de remoção observada no reservatório, com volumes anuais da ordem de milhares de metros cúbicos de biomassa úmida (Figura 2 A e B), evidencia que a gestão das macrófitas constitui não apenas uma questão ambiental, mas também logística e econômica. Nesse contexto, um fator operacional relevante é a presença recorrente de resíduos sólidos misturados à vegetação removida, como plásticos, galhos e outros materiais transportados pelo curso d'água e retidos entre as plantas antes do barramento (Figura 2 C e D). A presença desses contaminantes representa um obstáculo comum às rotas de valorização da biomassa, uma vez que compromete o processamento da matéria-prima e a qualidade dos produtos obtidos. Dessa forma, a realização de etapas prévias de triagem para separação desses resíduos torna-se um requisito operacional para viabilizar as alternativas de destinação avaliadas.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade

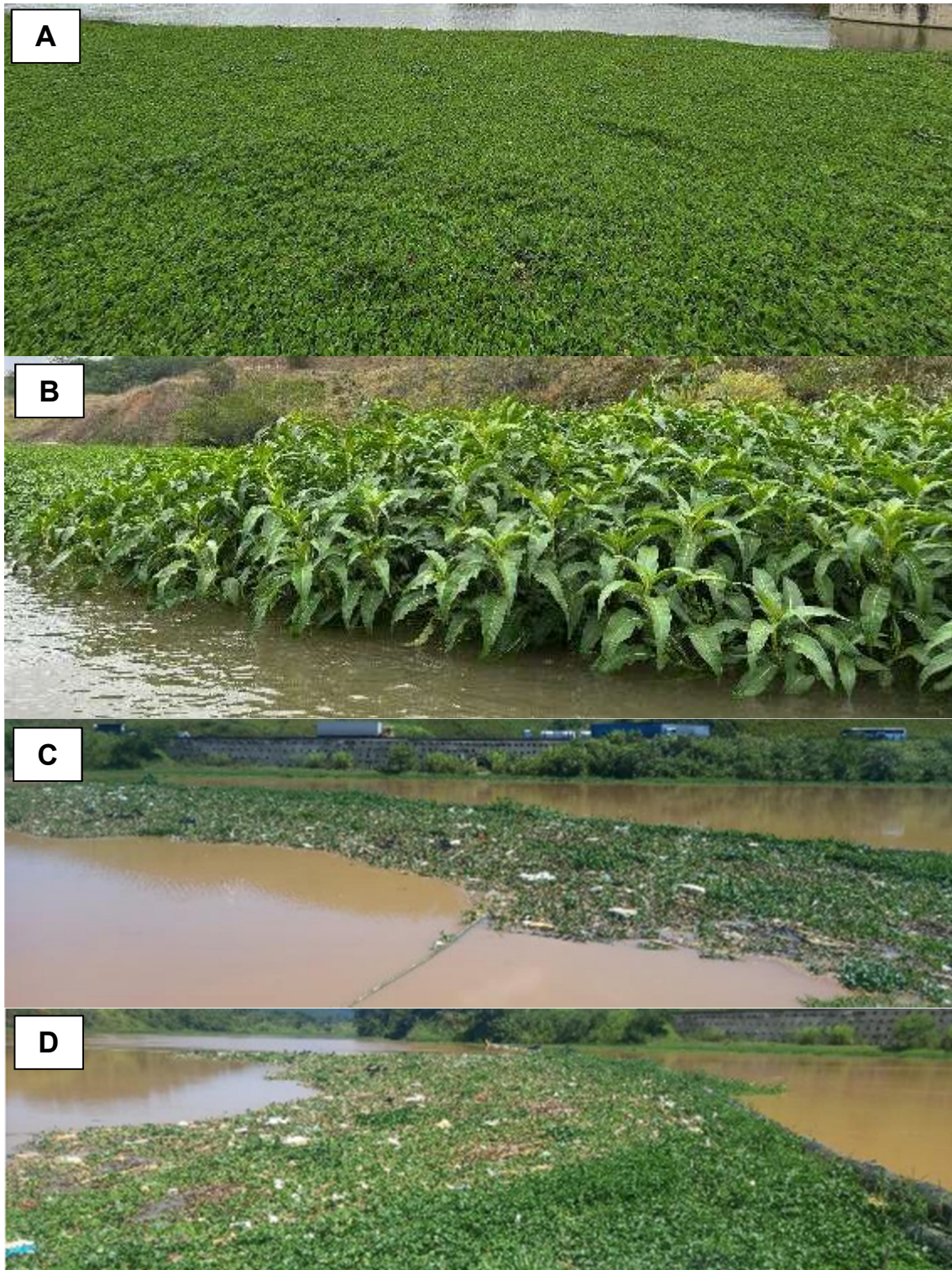


Figura 2 – Macrófitas no reservatório. A) *Pistia stratiotes* (alface d'água). B) *Polygon* sp. (milho d'água). C) e D) Resíduos presentes nas macrófitas

Fonte: o autor, (2026)

A valorização agrônômica, por meio da compostagem, apresenta elevada compatibilidade com o cenário analisado. Trata-se de tecnologia robusta, tolerante a variações na composição da biomassa e capaz de absorver volumes significativos, especialmente quando integrada a resíduos estruturantes de origem agropecuária. Em regiões com forte atividade rural, o composto produzido pode ser absorvido localmente, contribuindo para a melhoria da qualidade do



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



solo. No entorno da área de estudo, a proximidade com áreas de conservação e iniciativas de recomposição florestal associadas à Mata Atlântica também representa oportunidade adicional de aplicação em projetos de restauração ecológica. As principais limitações estão relacionadas à necessidade de área licenciada, controle de drenagem e manejo adequado do processo. Ainda assim, considerando a simplicidade tecnológica e a aderência ao contexto regional, essa alternativa apresenta elevada viabilidade.

No campo das rotas energéticas, a produção de biogás por digestão anaeróbia apresenta potencial de aproveitamento, especialmente quando integrada a sistemas já existentes, como estações de tratamento de esgoto em municípios próximos. Entretanto, a elevada umidade da biomassa e a variabilidade das espécies predominantes indicam que a viabilidade técnica depende da realização de co-digestão com outros substratos orgânicos, capazes de equilibrar a composição do material alimentado ao digestor. Assim, embora tecnicamente possível, essa alternativa tende a depender de parcerias institucionais e de avaliação econômica específica. De forma semelhante, a conversão em bioetanol, embora consolidada na literatura como rota de biorrefinaria, apresenta baixa aderência ao cenário analisado, em função da necessidade de pré-tratamentos físico-químicos, controle industrial rigoroso e operação em escala contínua. Trata-se, portanto, de alternativa com elevado interesse tecnológico, porém reduzida aplicabilidade prática no contexto estudado.

Entre as rotas termoquímicas, a produção de carvão vegetal (biochar) destaca-se por permitir significativa redução de volume da biomassa e geração de um material estável, facilitando armazenamento e transporte. Essa alternativa requer biomassa previamente seca, o que demanda estrutura mínima de desaguamento ou secagem. A existência ou formalização de área impermeabilizada para essa etapa representa um avanço estratégico, ao melhorar as condições logísticas e ampliar a viabilidade de processos térmicos. Dependendo do mercado regional, o biochar pode ser utilizado como condicionador de solo ou insumo ambiental. Apesar de demandar investimento inicial e licenciamento específico, apresenta potencial concreto como alternativa de médio prazo.

A utilização da biomassa ou de seus derivados como material adsorvente para tratamento de água possui relevância ambiental, mas apresenta limitações de escala. A necessidade de preparo específico do material, controle de qualidade e posterior destinação do adsorvente saturado restringe sua capacidade de absorver os volumes anuais removidos, configurando-se como alternativa complementar, mas pouco adequada como solução principal.

A produção de biomateriais e compósitos, embora alinhada aos princípios da economia circular, depende de maior padronização da matéria-prima, controle de umidade e cadeia produtiva estruturada. A heterogeneidade das espécies predominantes e a ausência de infraestrutura industrial dedicada elevam a complexidade técnica, limitando sua viabilidade no curto prazo.

Por fim, a destinação da biomassa para produção de ração apresenta restrições relevantes, uma vez que a vegetação removida de ambientes sob influência de cargas antrópicas pode acumular contaminantes, exigindo controle sanitário rigoroso para utilização segura na alimentação animal. Embora algumas espécies apresentem potencial nutricional em sistemas controlados, essa rota não se mostra adequada para o cenário analisado.

De forma geral, a análise indica que a triagem prévia dos resíduos sólidos misturados às macrófitas constitui etapa indispensável para qualquer alternativa distinta da disposição em aterro. A adoção de barreiras ou sistemas de retenção a montante do barramento pode reduzir a carga de resíduos associada à vegetação removida, facilitando rotas de valorização e diminuindo custos operacionais. A Tabela 2 apresenta um resumo da viabilidade das diferentes alternativas de destinação da biomassa de macrófitas em distintos contextos.

Tabela 2 - Análise da aplicabilidade com multicritérios

Alternativa	Viabilidade Técnica	Logística	Complexidade Regulatória	Potencial Econômico	Aplicabilidade ao Caso
Valorização agrônômica	Alta	Média	Média	Média	Alta
Biogás	Média	Média	Alta	Média	Média
Bioetanol	Baixa	Baixa	Alta	Alta (teórico)	Baixa
Carvão vegetal	Média	Média	Média	Média/Alta	Alta
Tratamento de água	Baixa	Baixa	Média	Baixa	Baixa
Biomateriais	Baixa	Baixa	Média	Média	Baixa



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



Alternativa	Viabilidade Técnica	Logística	Complexidade Regulatória	Potencial Econômico	Aplicabilidade ao Caso
Ração	Baixa	Baixa	Alta	Média	Baixa

Fonte: o autor (2026)

A síntese apresentada na Tabela 2 confirma a superioridade da valorização agrônômica e da produção de carvão vegetal em relação às demais alternativas. A primeira destaca-se pela simplicidade operacional e elevada capacidade de absorção de biomassa, enquanto a segunda apresenta vantagens logísticas associadas à redução de volume e geração de produto estável. Em contrapartida, as demais rotas apresentam limitações mais restritivas, relacionadas à necessidade de maior controle da matéria-prima, infraestrutura especializada ou baixa compatibilidade com a escala de geração observada, o que reduz sua aplicabilidade prática no contexto analisado.

CONCLUSÃO

Considerando que o aporte de nutrientes e a contaminação difusa no curso d'água tendem a persistir no médio e longo prazo, a remoção periódica de macrófitas configura-se como medida inevitável para a manutenção operacional do reservatório. Nesse contexto, a valorização da biomassa removida representa uma estratégia consistente para reduzir custos de manejo e ampliar o aproveitamento ambiental desse material.

Entre as alternativas avaliadas, a valorização agrônômica por compostagem e a produção de carvão vegetal (biochar) destacaram-se como as opções mais viáveis no cenário analisado. A primeira apresenta maior simplicidade tecnológica e compatibilidade com o contexto regional, enquanto a segunda oferece vantagens logísticas associadas à redução de volume e à geração de um produto estável com potencial aplicação agrícola ou ambiental. As demais rotas, embora tecnicamente possíveis, apresentam limitações mais restritivas relacionadas à necessidade de infraestrutura especializada, maior controle da matéria-prima ou menor aderência à escala operacional observada.

Como etapa subsequente, recomenda-se a realização de estudos técnico-econômicos detalhados para as alternativas mais promissoras, contemplando custos de implantação, operação, transporte e licenciamento, bem como a estimativa de receitas associadas à comercialização dos produtos gerados. Essa avaliação deve considerar, além do retorno financeiro direto, benefícios ambientais e operacionais, incluindo a redução da dependência de aterros.

Adicionalmente, recomenda-se a implementação de sistemas de retenção de resíduos sólidos a montante do barramento e a estruturação de áreas licenciadas para triagem e secagem da biomassa, condições operacionais essenciais para viabilizar rotas de valorização. Essas medidas contribuem diretamente para ampliar a aplicabilidade das alternativas e reduzir custos associados ao manejo.

De forma geral, os resultados indicam que a adoção de estratégias de valorização da biomassa de macrófitas é tecnicamente viável no contexto analisado, desde que associada a adequações operacionais e à avaliação integrada de critérios técnicos, econômicos e logísticos.

AGRADECIMENTOS

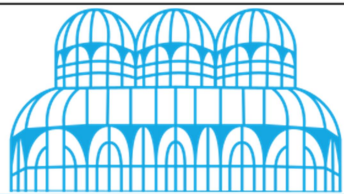
Os autores agradecem à G5 Engenharia pelo apoio e incentivo à realização deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. Plano de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul. Brasília: ANA, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/ana>. Acesso em: 03 mar. 2026.

ABBA, A. et al. Advancing circular bioeconomy through systematic review: water hyacinth valorization pathways. iScience, 2025.

CEIVAP – COMITÊ DE INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. Dados gerais da bacia do rio Paraíba do Sul. Resende: CEIVAP, 2023. Disponível em: <https://www.ceivap.org.br/dados-gerais>. Acesso em: 03 mar. 2026.



CURITIBA/PR - 05 a 07 de Maio de 2026

9º CONRESOL

9º Congresso Sul-Americano
de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade



- KASSA, Y. et al. Water hyacinth conversion to biochar for soil nutrient enhancement. *Scientific Reports*, 2025.
- LAWANWADEEKUL, S.; CHINDAPRASIRT, P. Sustainable construction materials from water hyacinth for sound absorption and insulation. *Journal of Building Engineering*, 2025.
- PACHECO, F. S.; et al. Water quality longitudinal profile of the Paraíba do Sul River. *Limnology and Oceanography*, 2017.
- SERAFINI, L. F. et al. The composting of water hyacinth: A life cycle assessment perspective. *Waste and Biomass Valorization*, v. 16, 2025, p. 507–523.
- SULAIMAN, N. S. et al. Duckweed protein: extraction, modification and potential application. *Food Chemistry*, v. 463, 141544, 2025.
- ULLAH, M. H.; RAHMAN, M. J. Adsorptive removal of toxic heavy metals using water hyacinth and its biochar: A review. *Heliyon*, v. 10, 2024.
- XIANG, G. et al. Influence of magnetic field on methane production in anaerobic digestion of water hyacinth. *Bioresource Technology*, 2026.
- CARPENTER, S. R.; CARACO, N. F.; CORRELL, D. L.; HOWARTH, R. W.; SHARPLEY, A. N.; SMITH, V. H. Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. *Ecological Applications*, v. 8, n. 3, p. 559–568, 1998.
- VILLAMAGNA, A. M.; MURPHY, B. R. Ecological and socio-economic impacts of invasive water hyacinth (*Eichhornia crassipes*): a review. *Freshwater Biology*, v. 55, p. 282–298, 2010.
- O'HARE, M. T.; BAATTRUP-PEDERSEN, A.; BAATRUP-PEDERSEN, A.; et al. Responses of aquatic plants to eutrophication in rivers. *Frontiers in Plant Science*, v. 9, p. 451, 2018.
- WETZEL, R. G. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3. ed. San Diego: Academic Press, 2001.
- 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, p. 179–196, 1999.
- GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, v. 143, p. 757–768, 2017.