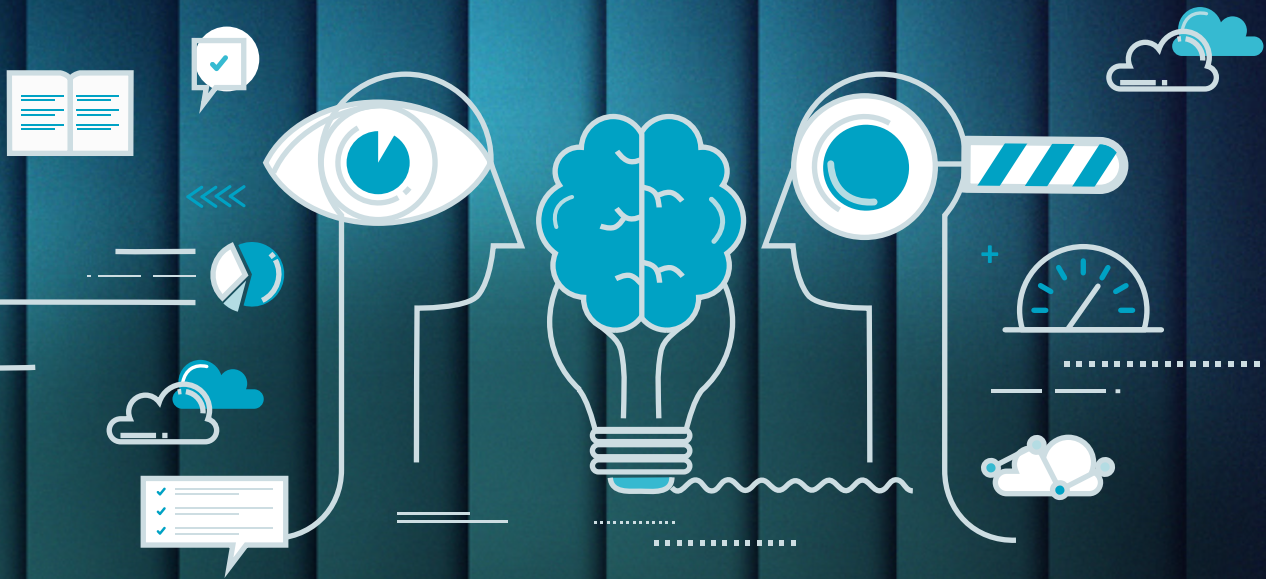


SETEMBRO/2026



TRANSFORMANDO IDEIAS EM SOLUÇÕES PARA O FUTURO

Entrevista especial:
Luís Antônio Almeida Reis,
presidente da Caesb

Caesb consolida trajetória
de inovação e parcerias de
sucesso com LACTEC e UnB

Bastidores do PDI:
os depoimentos dos
pesquisadores



Revista do
Programa de PDI
Adasa/Caesb



II PRÊMIO
INOVACAESB
2026

Grandes ideias
merecem reconhecimento.

Vem aí mais um InovaCaesb.

Programação em breve!

DIRETORIA COLEGIADA:

Presidente: Luís Antônio Almeida Reis

Diretor de Engenharia: Sérgio Antunes Lemos

Diretor Financeiro, Comercial e de Relações com Investidores: Agenor Valladão Neto

Diretor Jurídico: Mauro Sérgio Barbosa

Diretor de Operação e Manutenção: Walter Lúcio dos Santos Barros

Diretor de Regulação: Luiz Eduardo Sá Roriz

Diretor de Suporte ao Negócio: André Kluppel Carrara

Secretária-Geral: Grazielle Beserra Borges

5

EDITORIAL

Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação como motor da transformação no Saneamento

6

RAIO-X DO PDI

O que é o Programa de PDI Adasa/Caesb

8

ENTREVISTA ESPECIAL

Luís Antônio de Almeida Reis, presidente da Caesb

11

ENTREVISTA

Inovação em saneamento no cenário global: desafios, cooperação e caminhos para transformar conhecimento em soluções

12

ENTREVISTA

Do laboratório ao mercado: o maior desafio da inovação

22

ENTREVISTA

Parcerias e investimento: caminhos para avançar no saneamento

24

ENTREVISTA

Caesb consolida trajetória de inovação e parcerias de sucesso com LACTEC e UnB

30

ENTREVISTA

Entre regras e incentivos, a regulação redefine o avanço tecnológico no saneamento

34

PROJETOS EM ANDAMENTO

68

PROJETO CONCLUÍDO

79

NOVOS PROJETOS

FICHA TÉCNICA

Elaboração: Superintendência de Captação de Recursos, Cooperação e Inovação (CCI)

Superintendente: Fuad Moura Guimarães Braga

Gerência de Cooperação e Inovação: Laís Pereira de Freitas

Equipe Técnica: Thiago Lopes Amaral, Ana Clara Almeida Lima, Maria Martinele, Lucas Ferreira Linhares

Produção editorial e gráfica: Foco21 Comunicação

Jornalista responsável: Ana Paula Vieira Rogers (MTB 27666)

Equipe: Suely Melo (edição), Juliana Ferreira, Luciane Murae e Sofia Jucon

Diagramação: Neopix DMI

Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação como motor da transformação no Saneamento

Sejam bem-vindos(as) à Revista do Programa PDI Adasa/Caesb!

Ao abriremos as páginas desta nova edição, propomos um convite à reflexão que vai além do destaque tecnológico das ferramentas modernas. Para nós, na Superintendência de Captação de Recursos, Cooperação e Inovação (CCI), a inovação nunca foi um fim em si mesma, mas sim um instrumento vital de política pública. Nesta edição, decidimos mergulhar no conceito de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI), compreendendo-o como um dos alicerces para o crescimento sustentável da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal.

Nossa missão é clara: a universalização do saneamento e a melhoria contínua da prestação dos serviços. Para alcançarmos esse objetivo central no setor, em um cenário de mudanças climáticas e pressões urbanas crescentes, entendemos que os Programas de PDI funcionam como a ponte necessária entre os desafios reais que enfrentamos em campo e as soluções aplicáveis para a modernização operacional, e sempre aliada à sustentabilidade ambiental, garantindo que cada avanço tecnológico resulte em um uso mais eficiente dos recursos hídricos e em uma operação mais resiliente.

Sabemos, contudo, que ninguém inova isoladamente. A inovação em escala exige parcerias estratégicas, entre academia, governo e setor privado, e mecanismos de financiamento acessíveis que viabilizem a transição do laboratório para a prática operacional. Neste âmbito, ao longo desta edição, você encontrará, além dos projetos do Programa PDI Adasa/Caesb, entrevistas que destacam a governança e a cultura de inovação como diferenciais institucionais e de fomento sustentável para o setor de saneamento.

Os Programas de PDI nos permitem olhar para o futuro com a certeza de que estamos construindo soluções hoje para as gerações que virão. Deste modo, desejo a todos uma leitura inspiradora, que nos provoque a pensar o saneamento não apenas como infraestrutura, mas como o campo mais fértil para a ciência, a inovação e o desenvolvimento humano.



Fuad Moura Guimarães Braga

*Superintendente de Captação de Recursos, Cooperação e Inovação (CCI),
da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb)*

O que é o PROGRAMA DE PDI ADASA/CAESB?

Transformando ideias em soluções para o futuro!

Melhorar a eficiência
operacional da Caesb

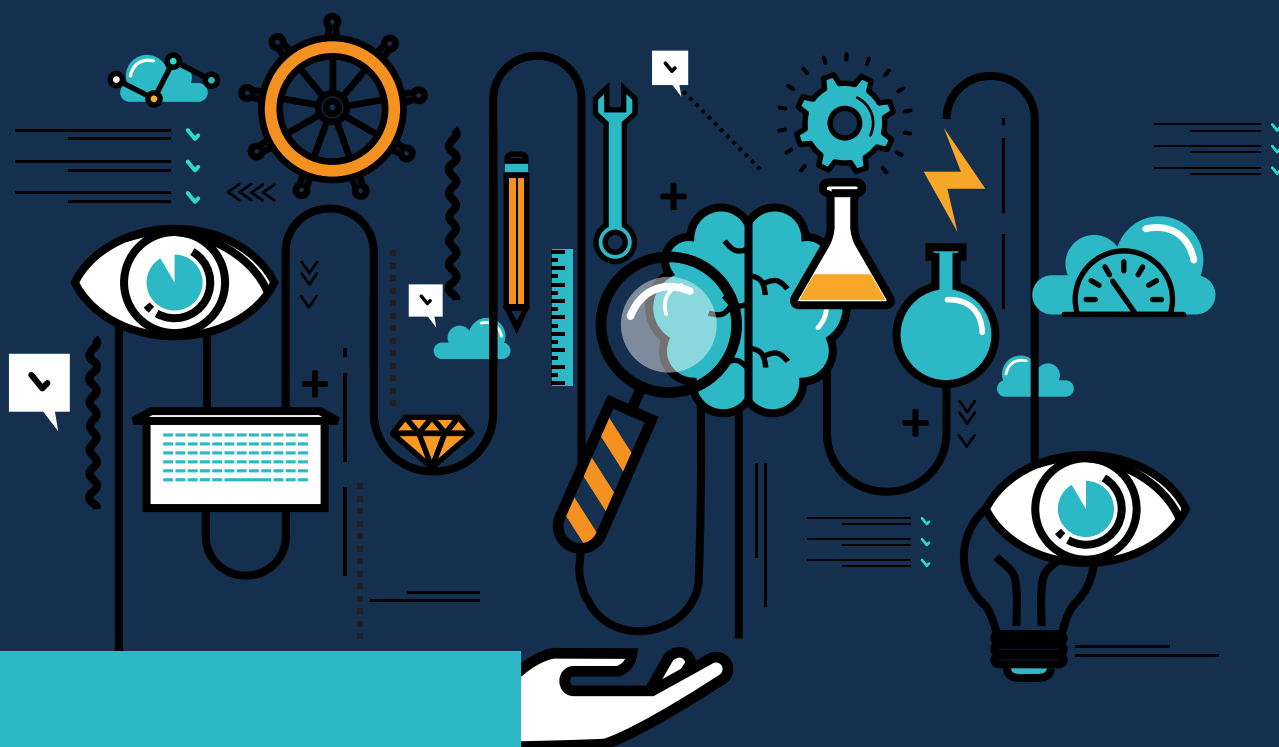


Estimular a pesquisa
aplicada e inovação aberta

Ampliar o acesso e a qualidade
dos serviços de saneamento



Fortalecer a relação com
universidades e centros de pesquisa



Projetos aprovados no 1º ciclo (2022):

01 Pesquisa e desenvolvimento de sistema de comunicação em malha (mesh) baseado nos padrões globais Wi-SUN 1.x para micromedição de consumo de água e identificação de perdas técnicas ou comerciais.

02 Monitoramento e modelagem avançados como suporte à gestão integrada de recursos Hídricos e ao desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para o gerenciamento do Lago Paranoá (sistema Bacia-Lago).

03 Avaliar a aplicabilidade da adoção da adsorção em carvão ativado ou da separação em membranas de ultrafiltração e nanofiltração como etapas de tratamento a serem integradas na ETA Lago Norte e ETES Brasília Norte e Sul com objetivo de aperfeiçoar a remoção de vírus e de microcontaminantes.

Investimento Caesb: R\$ 3.392.784,43

Contrapartida das Executoras: R\$ 1.580.240,00

Valor global: R\$ 4.973.024,43

Projetos aprovados no 2º ciclo (2026):

01 Desenvolvimento e validação de metodologias de vigilância epidemiológica baseada em esgotos para monitoramento de arboviroses no Distrito Federal.

02 Visão GeoEspacial Limnológica dos Reservatórios de Água do Distrito Federal (Vigie Águas).

Investimento Caesb: R\$ 2.405.342,62

Contrapartida das Executoras: R\$ 2.582.640,00

Valor global: R\$ 4.987.982,62

ENTREVISTA ESPECIAL: LUÍS ANTÔNIO DE ALMEIDA REIS, PRESIDENTE DA CAESB



“Conhecimento só gera transformação quando circula e é colocado em prática”. Esta premissa do presidente da Caesb, Luís Antônio de Almeida Reis, permeia toda a filosofia da companhia. “A Caesb acumula décadas de experiência em um setor altamente especializado e tem capacidade para produzir soluções que interessam não apenas ao Distrito Federal, mas ao saneamento brasileiro”. Nesta entrevista especial, o presidente aborda a inovação e a atuação da Caesb, cada vez mais sintonizada com as demandas do setor, contribuindo para o alcance da universalização no país. Confira.



❓ Revista do Programa PDI Adasa/Caesb - Qual é o papel da inovação no posicionamento estratégico da Caesb, no setor de saneamento e na geração de valor público para a sociedade?

Luís Antônio de Almeida Reis - Inovação precisa resolver problemas reais. É usar tecnologia e conhecimento para reduzir perdas, melhorar o tratamento da água e do esgoto, antecipar problemas na rede, tornar a operação mais eficiente e facilitar a vida do cidadão, com ações como a Iná, nossa inteligência artificial de atendimento.

Na Caesb, todo projeto de inovação deve estar conectado aos eixos prioritários da Companhia: redução de perdas de água, melhoria da qualidade do efluente tratado e avanço do projeto de reúso indireto controlado da água. São desafios estratégicos que orientam nossos esforços de pesquisa e inovação. O saneamento enfrenta questões cada vez mais complexas e não podemos responder a elas fazendo sempre da mesma forma. Quando inovamos, buscamos gastar melhor, prestar um serviço de maior qualidade e gerar resultados concretos para a população.

❓ Revista do Programa PDI Adasa/Caesb - Como a Companhia avalia a importância da disseminação do conhecimento gerado pelas iniciativas de pesquisa, desenvolvimento e inovação para a sociedade e para o setor de saneamento?

Luís Antônio de Almeida Reis - Conhecimento só gera transformação quando circula e é colocado em prática. A Caesb acumula décadas de experiência em um - setor altamente especializado e tem capacidade para produzir soluções que interessam não apenas ao Distrito Federal, mas ao saneamento brasileiro.

Compartilhar pesquisas, resultados e experiências amplia o alcance desse trabalho, fortalece parcerias com universidades e outras instituições e permite que uma solução desenvolvida aqui possa contribuir para enfrentar desafios semelhantes em outras cidades.

❓ Revista do Programa PDI Adasa/Caesb - A Caesb tem avançado na estruturação da inovação como eixo estratégico, contando com destinação de recursos para ações de inovação. Como o senhor enxerga o impacto dessas decisões para o futuro da Companhia?



“A inovação deixou de ser uma iniciativa pontual e passou a fazer parte da estratégia da Caesb. Hoje, ela está presente na operação, no atendimento ao cliente e na gestão, sempre direcionada aos principais desafios da Companhia.”

Luís Antônio de Almeida Reis - Destinar recursos para inovação é preparar a Caesb para o futuro. É preciso definir prioridades e criar condições para que as melhores soluções sejam testadas, desenvolvidas e incorporadas à operação.

Por isso, direcionamos nossos esforços especialmente para reduzir perdas, melhorar cada vez mais a qualidade do esgoto tratado e desenvolver o reúso indireto controlado da água. O resultado que buscamos é objetivo: mais eficiência, melhor aproveitamento dos recursos naturais e serviços cada vez melhores para a população.

❓ Revista do Programa PDI Adasa/Caesb - Como a Caesb avalia a evolução da gestão da inovação ao longo dos últimos anos e a in-

tegração desse tema ao planejamento estratégico da Companhia?

Luís Antônio de Almeida Reis - A inovação deixou de ser uma iniciativa pontual e passou a fazer parte da estratégia da Caesb. Hoje, ela está presente na operação, no atendimento ao cliente e na gestão, sempre direcionada aos principais desafios da Companhia.

Isso também muda a cultura da empresa, porque estimula nossas equipes a identificar problemas, propor soluções e testar novas formas de trabalhar. Inovação deixa de ser apenas tecnologia e passa a ser uma ferramenta para alcançar resultados melhores.

❓ Revista do Programa PDI Adasa/Caesb - Olhando para o futuro, qual deve ser o papel da Caesb como referência em inova-

ção no setor de saneamento e no desenvolvimento sustentável do Distrito Federal?

Luís Antônio de Almeida Reis - A Caesb tem conhecimento técnico, profissionais qualificados e estrutura para ser referência nacional em inovação no saneamento. Queremos transformar desafios importantes do setor em soluções concretas, especialmente na redução das perdas de água, na melhoria da qualidade dos efluentes e no reúso indireto controlado.

Esse é um caminho fundamental para aumentar a eficiência dos nossos sistemas, proteger os recursos naturais e fortalecer a segurança hídrica do Distrito Federal. No fim, inovar é entregar água, saneamento e qualidade de vida cada vez melhores para a população.



INOVAÇÃO EM SANEAMENTO NO CENÁRIO GLOBAL: DESAFIOS, COOPERAÇÃO E CAMINHOS PARA TRANSFORMAR CONHECIMENTO EM SOLUÇÕES

Neste cenário marcado por crises climáticas, hídricas e energéticas, a inovação desponta como elemento central para transformar o setor de saneamento. Nas entrevistas a seguir, especialistas brasileiros que atuam há anos no exterior discorrem sobre a evolução dos sistemas de pesquisa e desenvolvimento no Brasil e no mundo, apontando gargalos, oportunidades e novas abordagens para aproximar ciência e aplicação prática.

Do laboratório ao mercado: o maior desafio da inovação

ENTREVISTA: LUEWTON LEMOS AGOSTINHO

❓ Revista PDI Adasa/Caesb: Como avalia a evolução dos sistemas nacionais de pesquisa, desenvolvimento e inovação nos últimos dez anos, especialmente diante de crises globais como a climática, a energética e a hídrica?

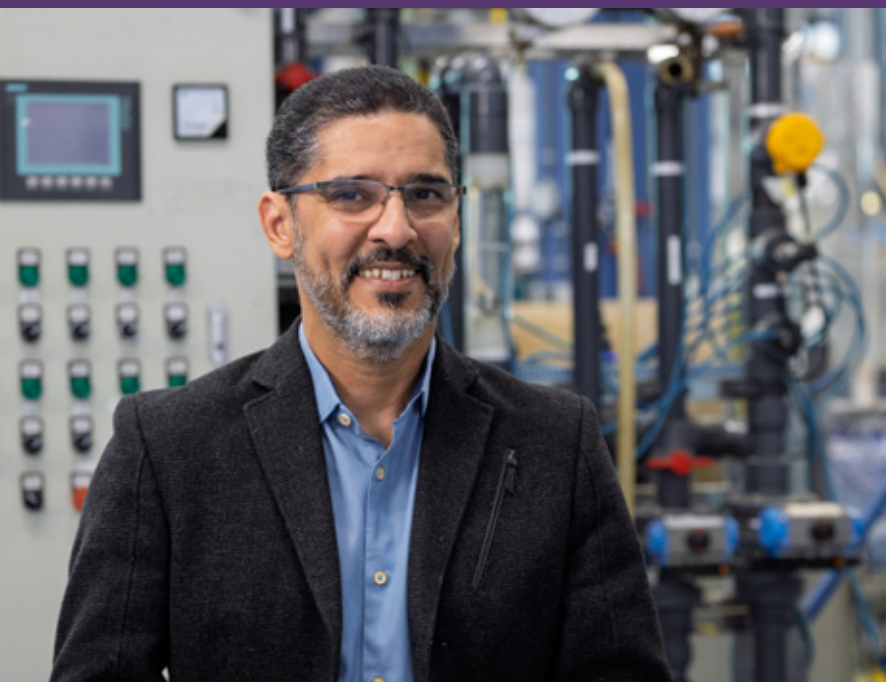
Luewton Lemos Agostinho: Resido na Europa há 18 anos. Ainda assim, gostaria de oferecer uma perspectiva baseada em minha experiência, especialmente como usuário – alguém que, a partir da Europa, busca acessar e trabalhar com as opções do sistema de inovação brasileiro.

Nos últimos anos, houve uma ampliação das alternativas disponíveis, tanto por meio de estruturas ligadas à FINEP quanto por órgãos de fomento e pelo BNDES. No entanto, ao analisar os últimos dez anos, é possível identificar diferentes momentos no que se refere à inovação. Se compararmos com o período inicial dessa década, especialmente entre 2013 e 2016/2017, durante a fase final do programa Ciência sem Fronteiras, observamos um cenário distinto. Esse programa foi uma ferramenta relevante de capacitação e formação, amplamente utilizada também na Europa, beneficiando estudantes de graduação e pós-graduação, além de profissionais.

Houve, ainda, intensa participação em missões curtas de pesquisa, que estruturavam e facilitavam o intercâmbio de professores e profissionais, especialmente na área de tecnologia da água, entre Brasil e Europa. Naquele período, inclusive, desenvolvemos cursos de formação em tratamento por membranas e recebemos diversos professores, especialistas, engenheiros e estudantes.

Nos anos mais recentes, esses programas tornaram-se mais escassos, com redução nas iniciativas de intercâmbio. Em contrapartida, houve maior foco em programas voltados diretamente à indústria. Atualmente, observo iniciativas de aceleração e desenvolvimento mais estruturadas, com destaque para programas da FINEP e do BNDES. Uma característica relevante é a organização dessas iniciativas em diferentes níveis de maturidade tecnológica (Technology Readiness Level - TRL), atendendo desde startups até empresas bem estabelecidas no mercado.

No que diz respeito à relação com as crises climática, energética e hídrica, é importante destacar que a crise hídrica sempre foi uma realidade no Brasil, em função da extensão do semiárido; portanto, temos larga experiência nesse setor e até importamos tecnologia e expertise. Já as crises energética e climática trazem novas perspectivas para o campo de água. No campo energético, há crescente atenção à pesquisa e à inovação em hidrogênio, tendo em vista que a matéria-prima para estes sistemas é água com alto grau de pureza. No âmbito climático, destacam-se as adaptações necessárias para lidar com eventos extremos, como enchentes e períodos prolongados de seca. Vale também mencionar, nesse âmbito, uma mudança de mentalidade mais recente, especialmente no setor de saneamento, com ênfase nas emissões e nos planos de descarbonização. Essa agenda já está bem consolidada em setores como portos e, nos últimos dois ou três anos, vem ganhando força também no setor de água, particularmente no tratamento de esgoto.



Luewton Lemos Agostinho é professor e coordenador do Grupo de Tecnologia da Água na NHL Stenden University of Applied Sciences na Holanda. Especialista em tecnologia da água, ele atua no WaterCampus Leeuwarden, conectando governo, empresas e academia

❓ Revista PDI Adasa/Caesb:
Quais são hoje os principais gargalos para transformar conhecimento científico em inovação aplicada, especialmente em setores essenciais como água e saneamento?

Luewton Lemos Agostinho: Esses gargalos também estão fortemente associados a fatores geográficos. Os desafios de inovação na Europa, por exemplo, diferem daqueles observados no Brasil, na América do Sul ou em outros contextos. Para faci-

litar a análise, é possível dividi-los entre gargalos europeus e brasileiros.

Na Europa, os principais gargalos estão relacionados à estratificação do ecossistema de inovação. Esse ecossistema abrange diferentes níveis de maturidade tecnológica (TRL), desde estágios iniciais - ligados à concepção da ideia - até níveis mais avançados, como TRL 8 e 9, nos quais predominam demandas comerciais e de negócios, mais do que técnico-científicas.

A integração entre esses níveis é complexa, pois cada etapa do processo de inovação exige estratégias e, muitas vezes, infraestruturas distintas.

No setor de água e saneamento, essa diferença é ainda mais evidente. Em níveis mais baixos de TRL (de 0 a 4), as inovações geralmente são desenvolvidas em escala de bancada, com sistemas de pequena capacidade, operando em litros ou até mililitros por hora. Já em níveis mais elevados (de 4 a 8), há necessidade de outra infraestrutura, com sistemas em escala piloto ou maior, capazes de operar com metros cúbicos - ou milhares de litros - por hora.

Essa estratificação também implica demandas específicas de conhecimento. A academia tradicional tende a atuar mais fortemente nos níveis iniciais (TRL 0 a 4), focando no desenvolvimento fundamental. Por outro lado, as chamadas universidades de ciências aplicadas, comuns na Europa, concentram-se em níveis intermediários (TRL 4 a 8), com maior ênfase em adaptação, validação e implementação tecnológica.

Esse cenário representa um gargalo tanto europeu quanto brasileiro. No Brasil, a inovação tecnológica ainda está majoritariamente concentrada em universidades e institutos de pesquisa tradicionais. Observa-

-se a necessidade de maior articulação entre essas instituições e centros mais voltados à aplicação, como os Institutos Federais, que poderiam atuar de forma mais efetiva em níveis mais avançados de TRL.

Outro ponto crítico é o suporte às startups, especialmente para superar o chamado “vale da morte” da inovação e alcançar o mercado. Esse suporte demanda não apenas recursos técnicos, mas também a identificação de clientes e a estruturação de modelos de negócio, algo que ainda precisa ser mais integrado ao sistema de inovação.

No contexto brasileiro, especialmente no setor de água, há também a necessidade de um sistema mais unificado. Falta uma articulação mais consistente entre as demandas das empresas de saneamento e a atuação da academia, de modo a direcionar esforços para desafios mais atuais e prioritários. Embora existam iniciativas, como as câmaras técnicas da ABES, elas ainda são insuficientes diante da dimensão territorial do país e da complexidade do setor.

A centralização e priorização dessas demandas poderiam contribuir significativamente para acelerar a inovação. Além disso, é importante ampliar a coordenação em nível nacional. Na Europa, por exemplo,

há uma atuação mais estruturada do setor público na definição de linhas de financiamento e pesquisa, frequentemente exigindo a participação conjunta de indústria e academia. Esse modelo estimula a cooperação e direciona a inovação para áreas estratégicas.

Embora a Europa já apresente avanços nesse tipo de integração, ainda há desafios. No caso do Brasil, há um caminho mais longo a percorrer, especialmente no fortalecimento da cooperação entre atores e na consolidação de um sistema de inovação mais articulado e eficiente.

❓ Revista PDI Adasa/Caesb:
O modelo tradicional de inovação - centrado em universidades, grandes empresas e patentes - ainda responde aos desafios globais ou precisa ser repensado?

Luewton Lemos Agostinho: O ecossistema de inovação deve ser, necessariamente, multiparticipativo. As universidades exercem um papel importante, assim como as grandes empresas, mas é indispensável a atuação do poder público, das pequenas empresas e atores públicos.

No setor de água e saneamento, é fundamental ampliar o modelo tradicional, historicamente concentrado na engenharia e nas ciências naturais, incorporando outras áreas do conheci-

mento - em especial, negócios. Essa integração permite compreender melhor aspectos como análise de mercado e avaliação do potencial de uma tecnologia ainda nas fases iniciais de desenvolvimento, identificando se soluções específicas possuem viabilidade comercial e qual é a dimensão desse mercado.

Na Europa, por exemplo, as taxas de sucesso giram entre 10% e 12%. Isso significa que, a cada 100 novas ideias na área de tecnologia da água, apenas cerca de 10 se tornam produtos. Em muitos casos, não se trata de uma limitação tecnológica: a solução funciona, atende às exigências técnicas e cumpre os objetivos propostos, como a remoção de determinados poluentes ou a recuperação de recursos. No entanto, a limitação está no mercado, que nem sempre é suficientemente amplo para justificar a criação de uma nova empresa. Assim, muitas iniciativas deixam de avançar nas etapas finais de maturidade tecnológica (TRL 7 a 9). Por isso, análises de mercado e o diálogo com especialistas são essenciais para orientar investimentos e aumentar as chances de sucesso, para além das questões técnico-científicas.

Dessa forma, o modelo de inovação deve ser amplamente multiparticipativo. A participação da academia, por exemplo,

também precisa ser plural. No Brasil, ainda há forte concentração nos grandes centros universitários, mas, no setor de água, muitas demandas estão relacionadas à adaptação em escala piloto e a níveis mais elevados de TRL. Nesse contexto, é fundamental ampliar a participação de instituições mais voltadas à prática, como os Institutos Federais.

Considerando os principais atores do ecossistema, academia, provedores de tecnologia e usuários finais, é necessário promover maior diversidade em cada um desses grupos. No caso dos provedores de tecnologia, é importante combinar grandes empresas, que dispõem de recursos e demandas consolidadas, com micro, pequenas e médias empresas, que contribuem com flexibilidade e capacidade de implementação de novas soluções.

Já entre os usuários finais, essa diversidade também é essencial. É necessário envolver o poder público em diferentes níveis, incentivar a participação das empresas de saneamento e fortalecer conexões com setores estratégicos, como o agrícola e o de mineração. Essa articulação amplia a capacidade de absorção de inovações e contribui para o desenvolvimento de soluções mais aderentes às necessidades reais do país.

? Revista PDI Adasa/Caesb:

Como a cooperação internacional em ciência e tecnologia tem evoluído e que papel ela desempenha na aceleração de soluções para problemas comuns, como escassez hídrica e saneamento inadequado?

Luewton Lemos Agostinho:

A evolução recente, especialmente no campo digital, tem facilitado significativamente a cooperação internacional. A pandemia de COVID-19, por exemplo, atuou como um importante catalisador para o desenvolvimento e consolidação de tecnologias de comunicação, como plataformas de reuniões virtuais, ampliando ainda mais a colaboração entre países. Esse avanço se soma a ferramentas já utilizadas anteriormente, como e-mails e redes sociais, tornando a comunicação mais ágil e acessível.

Essa cooperação é essencial, sobretudo no setor de água e saneamento, que demanda conhecimentos diversos, abrangendo desde áreas biológicas até a física aplicada. Nesse contexto, a colaboração internacional não apenas amplia o acesso a diferentes campos do conhecimento, como também fortalece a cadeia de inovação tecnológica, especialmente no que se refere à interação entre provedores de tecnologia e usuários finais.

A cooperação internacional atua diretamente na articulação entre os atores da inovação, aproximando, muitas vezes, fornecedores e usuários, com ou sem a mediação da academia e ampliando o portfólio de expertise e soluções.

A experiência demonstra, no entanto, que a academia pode desempenhar um papel relevante como agente de conexão. Por meio de sua ampla rede de relações com empresas e instituições, ela consegue identificar demandas específicas - por exemplo, de companhias de saneamento - e conectá-las a soluções já desenvolvidas por outras organizações.

Além disso, a implementação de soluções frequentemente requer etapas de teste e adaptação, como projeto piloto. Nesse aspecto, a academia possui expertise consolidada na estruturação e execução de projetos científicos, contando com conhecimento técnico, infraestrutura e recursos humanos qualificados. A participação de estudantes também contribui para reduzir custos e, ao mesmo tempo, formar profissionais que poderão atuar futuramente no setor.

Dessa forma, a cooperação internacional amplia tanto o acesso ao conhecimento quanto as conexões entre provedores tecnológicos e usuários finais,



desempenhando um papel relevante na aceleração de soluções. Quanto maior o conjunto de alternativas analisadas - em termos de empresas, tecnologias e experiências -, maiores são as chances de identificar a solução mais adequada para uma determinada demanda.

No que se refere a desafios específicos, como a escassez hídrica e o saneamento inadequado, a cooperação internacional é tão relevante quanto qualquer outra iniciativa. Como mencionado anteriormente, ações dessa natureza contribuem para ampliar o portfólio de soluções disponíveis e fortalecer a capacidade de resposta a problemas complexos. No entanto, é neces-

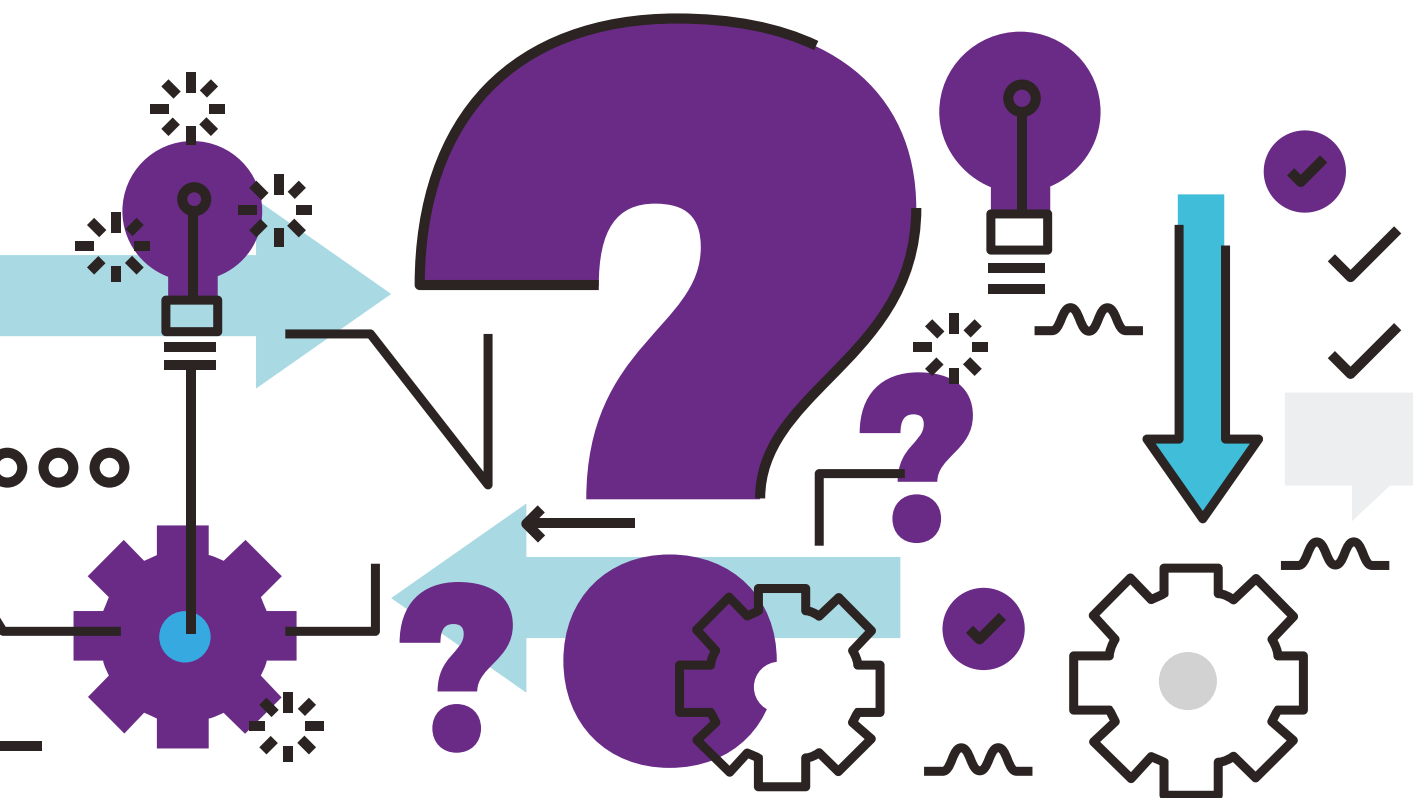
sário considerar possíveis incompatibilidades tecnológicas e limitações relacionadas à expertise local, que podem dificultar ou mesmo impedir a implementação, em contexto nacional, de tecnologias consolidadas em outros países. Esse processo de adaptação é mais complexo do que aparenta, exigindo a participação de especialistas e consultores locais capazes de avaliar a viabilidade técnica, institucional e operacional dessas soluções.

? Revista PDI Adasa/Caesb:
Quais as principais dificuldades para transformar pesquisa em inovação aplicada?

Luewton Lemos Agostinho:

Como mencionado anteriormente, ao tratar especificamente de pesquisa, é importante reconhecer que toda inovação pressupõe, em alguma medida, a realização de pesquisa. A inovação está intrinsecamente associada à produção de conhecimento, ainda que, nos estágios finais de maturidade tecnológica (TRL), o foco se desloque para aspectos de mercado e negócios. Mesmo nesse contexto, estudos de mercado também constituem uma forma de pesquisa, ainda que de natureza mercadológica.

Dessa forma, aplicam-se os mesmos princípios já mencionados: a participação de múltiplos atores, a organização em



torno do modelo básico composto por provedor de conhecimento (academia), provedor tecnológico e usuário final, além da relevância da cooperação internacional e da divisão de responsabilidades conforme a especialidade de cada agente.

É fundamental estruturar o processo de inovação de maneira estratificada, acionando os parceiros e atores mais adequados em cada etapa. Nos níveis mais baixos de TRL, a academia desempenha papel central, com forte apoio governamental, uma vez que o risco é elevado e tende a afastar o investimento privado. Nesses casos, o subsídio público é essencial.

Na fase intermediária (TRL 4 a

7), o cenário mais adequado envolve a participação de instituições com perfil mais aplicado, como institutos tecnológicos, além de maior envolvimento das empresas, já que o risco é reduzido. Ainda assim, o apoio público permanece necessário, embora os maiores aportes ocorram, geralmente, nas fases iniciais.

Nos estágios finais (TRL 7 a 9), o foco se volta ao mercado. Nesse momento, torna-se fundamental a atuação de especialistas em negócios, o fortalecimento de estruturas de mercado, o incentivo à criação de novas empresas e o suporte às startups em seus primeiros anos, especialmente para supe-

rar as dificuldades associadas ao chamado “vale da morte” da inovação.

Em síntese, trata-se de organizar o sistema de inovação de forma coordenada e estratégica, garantindo a participação adequada de cada ator ao longo de todo o ciclo.

❓ **Revista PDI Adasa/Caesb:**

Quais são os principais desafios científicos e tecnológicos do saneamento diante das mudanças climáticas e das desigualdades regionais?

Luewton Lemos Agostinho:

No contexto brasileiro, há relatórios recentes - incluindo um estudo lançado pelo consulado holandês e executado pela Arca-

dis - que mapeiam os principais desafios e oportunidades de mercado no setor de tratamento de água no país (leia mais).

Esses desafios também estão refletidos no marco legal do saneamento, que estabelece metas ambiciosas de universalização. Em síntese, o Brasil precisa ampliar significativamente a cobertura de abastecimento de água e expandir a rede de coleta e tratamento de esgoto.

No caso do abastecimento, as maiores dificuldades estão em áreas descentralizadas, como favelas, comunidades ribeirinhas e regiões semiáridas do sertão, onde muitas vezes a única fonte de água é o transporte por caminhões-pipa.

No que se refere ao esgotamento sanitário, os desafios também abrangem tanto áreas descentralizadas quanto centros urbanos, incluindo favelas e comunidades ribeirinhas. Além disso, há um problema estrutural relevante: a baixa automação dos sistemas. Torna-se necessário ampliar a automação, implementar sensores e modernizar a operação das estações.

Outro ponto crítico é a limitação tecnológica do tratamento atualmente predominante no país, ainda fortemente concentrado na remoção de matéria orgânica. Há necessidade de avançar para etapas mais sofisticadas de tratamento, como o

tratamento terciário, com foco na remoção de nutrientes - especialmente nitrogênio e fósforo -, além do enfrentamento dos micropoluentes, que frequentemente não são removidos de forma eficiente pelos sistemas existentes. Por fim, a gestão do lodo gerado nas estações de tratamento de esgoto (ETEs) tende a se tornar um desafio ainda maior do que já é atualmente, em razão da expansão da cobertura de tratamento exigida pelo novo marco regulatório do saneamento.

De forma geral, esses são alguns dos principais desafios do setor de saneamento no Brasil.

Ao comparar com o contexto europeu, especialmente o holandês, observa-se um conjunto de desafios distintos. Na Europa, há forte ênfase na transição energética e na busca pela neutralidade climática. Empresas de saneamento têm investido na redução do uso de gás natural e na adoção de fontes renováveis, como a energia solar, além de estratégias para atingir a neutralidade energética.

Paralelamente, há crescente pressão por redução das emissões de gases de efeito estufa, aumento da captura de carbono e implementação de processos de descarbonização. Diversos países europeus já estabeleceram metas de neutralidade climática para as estações de trata-



"A cooperação internacional amplia tanto o acesso ao conhecimento quanto as conexões entre provedores tecnológicos e usuários finais.



mento, com prazos que variam, em geral, entre 2035 e 2050.

Outro desafio relevante na Europa é o controle de poluentes emergentes, como PFAS, microplásticos, nanoplásticos e outros micropoluentes, que vêm ganhando destaque nas políticas ambientais.

As mudanças climáticas também têm imposto novos desafios, como a intensificação de eventos extremos e, de forma particularmente relevante, a ocorrência de secas prolongadas. Mesmo em países como a Holanda, historicamente associados à abundância de água,

têm sido registrados períodos de estiagem mais severos.

Diante desse cenário, surge a necessidade de gestão mais eficiente da demanda hídrica, especialmente no setor industrial. A Holanda, por exemplo, estabeleceu a meta de reduzir em até 20% o consumo de água industrial nos próximos dez anos, como forma de garantir maior segurança hídrica e liberar capacidade para o abastecimento público.

Essa limitação na disponibilidade de água também impacta o setor residencial, sobretudo em um contexto de pressão por

expansão habitacional, evidenciando a necessidade de equilibrar oferta e demanda.

Em síntese, enquanto o Brasil enfrenta desafios estruturais relacionados à expansão e universalização dos serviços, a Europa avança em questões ligadas à sustentabilidade, inovação tecnológica e adaptação às mudanças climáticas.

❓ Revista PDI Adasa/Caesb:
Como a pesquisa aplicada pode ajudar a ampliar o acesso ao saneamento em áreas onde soluções convencionais não funcionam?

Luewton Lemos Agostinho:
Entendo a sua pergunta, especialmente no que se refere à ampliação do acesso ao saneamento em áreas onde as soluções convencionais não são viáveis. No contexto brasileiro, essas regiões correspondem, em geral, a comunidades descentralizadas. Os exemplos mais típicos incluem comunidades ribeirinhas, comunidades indígenas, regiões do semiárido - com ocupações difusas -, áreas rurais e favelas.

Tenho atuado, junto ao meu grupo de pesquisa, principalmente na questão do semiárido. Como exemplo de como a pesquisa aplicada pode contribuir para essas regiões, em 2016 recebemos, no instituto, a visita do então governador do Ceará,

Camilo Santana, acompanhado do presidente da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME), Eduardo Sávio Martins. Na ocasião, discutiu-se a possibilidade de cooperação institucional. Uma questão central levantada foi: como a pesquisa poderia apoiar o atendimento a comunidades difusas no semiárido nordestino, especialmente em áreas sem disponibilidade de água subterrânea ou superficial - ou seja, sem rios, açudes ou reservatórios subterrâneos.

Nessas condições, o abastecimento costuma ser realizado por meio de caminhões-pipa. Existem, contudo, outras soluções utilizadas no Ceará, estado reconhecido por sua atuação no enfrentamento dos desafios do semiárido, como as cisternas para captação de água da chuva e, em alguns casos, sistemas convencionais como a osmose reversa. No entanto, essas alternativas apresentam limitações: a osmose reversa depende da existência de uma fonte hídrica, geralmente subterrânea, e as cisternas estão condicionadas à ocorrência de chuvas, que se tornam cada vez mais escassas.

Diante desse cenário, surge a necessidade de alternativas tecnológicas que possam complementar ou substituir o uso de caminhões-pipa. Uma das solu-

ções propostas foi a implementação de sistemas de geração de água atmosférica (Atmospheric Water Generation – AWG), que convertem a umidade do ar em água potável.

Esses sistemas operam, de forma simplificada, em duas etapas principais. A primeira consiste na captação do ar por meio de um módulo de absorção, responsável por extrair a umidade presente no ambiente. Em seguida, essa umidade é direcionada a um segundo módulo, no qual a água é separada, purificada e tornada própria para consumo humano.

Considerando que a umidade relativa do ar no semiárido é, em geral, baixa, a produção desses sistemas também é limitada, situando-se em torno de 2 mil litros por dia. Ainda assim, trata-se de uma solução viável para comunidades difusas, especialmente quando destinada exclusivamente ao consumo humano (ingestão). Nessa configuração, um sistema com essa capacidade pode atender aproximadamente 200 pessoas.

Após a visita de 2016, foram realizados testes em 2021, no município de Quixeramobim (CE), com um sistema piloto capaz de produzir entre 200 e 500 litros por dia. Os resultados foram satisfatórios. Atualmente, em parceria com o governo do estado, a FUNCEME e outras instituições,

está em desenvolvimento a implementação de um sistema em escala real.

Essa tecnologia, de origem holandesa, também evidencia a importância da cooperação internacional. A interação entre governos, instituições de pesquisa e outros atores de diferentes países possibilita o acesso a soluções inovadoras, bem como sua adaptação às realidades locais. Exemplos como esse devem ser incentivados e replicados, de modo a ampliar o conjunto de alternativas disponíveis para enfrentar os desafios associados às demais categorias que demandam soluções difusas de abastecimento e tratamento, mencionadas anteriormente.

❓ Revista PDI Adasa/Caesb:
Que experiências internacionais em P&D&I em saneamento podem inspirar o Brasil - e quais cuidados são essenciais nessa adaptação?

Luewton Lemos Agostinho:
Apresento duas experiências que considero relevantes e que poderiam ser adaptadas ao contexto brasileiro.

A primeira é a do Water Campus (acesse aqui), localizado na cidade de Leeuwarden, na Holanda. Trata-se de um ecossistema colaborativo com infraestrutura física dedicada à inovação, financiado por investimentos públicos, privados e acadêmi-

cos, com o objetivo de acelerar o desenvolvimento tecnológico nas áreas de tratamento de água e esgoto, no campo conhecido como “tecnologia da água”. No âmbito do WaterCampus, nosso grupo atua diretamente com demandas brasileiras, desempenhando diferentes papéis que vão desde o mapeamento de necessidades e a identificação de oportunidades de parceria até a execução de projetos nos quais tecnologias holandesas podem ser adaptadas e aplicadas a contextos brasileiros - e vice-versa (leia mais).

O Water Campus funciona como um parque de inovação tecnológica, semelhante aos existentes no Brasil, como o Parque de Inovação Tecnológica (PIT) de São José dos Campos. No entanto, diferencia-se por ser totalmente especializado no tema água. Enquanto outros parques têm caráter multisetorial, reunindo empresas e iniciativas de diferentes áreas, o Water Campus concentra exclusivamente atores ligados ao setor de tecnologia da água.

Essa especialização permite atrair com maior eficiência instituições públicas, empresas e centros de pesquisa do setor, promovendo discussões mais direcionadas e o desenvolvimento de linhas de pesquisa alinhadas às demandas prioritárias. O modelo é altamente cola-

borativo: as agendas de pesquisa são definidas de forma conjunta entre academia, poder público e iniciativa privada, integrando todos os atores do ecossistema de inovação.

Trata-se de uma experiência que poderia ser considerada para adaptação no Brasil, especialmente pela sua capacidade de alinhar interesses e acelerar a geração de soluções aplicadas.

A segunda proposta diz respeito à integração dos recursos destinados à pesquisa e desenvolvimento (P&D) pelas concessionárias de saneamento. No Brasil, há um número significativo de concessionárias - estaduais e privadas -, cada uma com seus próprios programas e fundos de investimento em inovação.

Embora cada concessionária defina suas prioridades e demandas específicas, observa-se que muitos dos desafios enfrentados são comuns em todo o país. A fragmentação desses recursos, portanto, pode limitar o alcance e a eficiência das iniciativas de pesquisa.

Na Holanda, existe um modelo no qual parte dos recursos de P&D das concessionárias é centralizada em um instituto de pesquisa único, mantido e parcialmente gerido por essas próprias empresas. Nesse arranjo, as concessionárias participam diretamente da definição das li-

nhas de pesquisa, o que garante alinhamento com as necessidades reais do setor.

Esse modelo possibilita ganhos de escala, maior coordenação entre os atores e aceleração do desenvolvimento tecnológico, ao concentrar recursos, ampliar a cooperação e atrair pesquisadores de alto nível para trabalhar em desafios estratégicos.

A criação de uma estrutura semelhante no Brasil poderia potencializar os investimentos já realizados, aumentar a eficiência das pesquisas e fortalecer a capacidade de inovação do setor de saneamento.

Essas duas experiências - a especialização de parques tecnológicos e a integração de recursos de P&D - representam caminhos promissores para impulsionar a inovação no país, a partir de modelos já consolidados no contexto europeu.

Parcerias e investimento: caminhos para avançar no saneamento

ENTREVISTA: JOSÉ VASCONCELOS

❓ Revista PDI Caesb-Adasa: Quais são hoje os principais gargalos para transformar conhecimento científico em inovação aplicada, especialmente em setores essenciais como água e saneamento?

José Vasconcelos: Um gargalo é o investimento na pesquisa no setor. Internacionalmente, muitas vezes as comunidades atendidas por sistemas de saneamento só se lembram deles quando há uma falha, e isso causa uma falta de pressão da sociedade por melhorias em tecnologia, eficiência, segurança etc. Sem essa pressão, não há o investimento necessário para essas áreas.

Outro gargalo é a internacionalização da pesquisa. Muitas vezes, o conhecimento gerado em pesquisa não é realmente original. Com mais colaborações internacionais, entre companhias de saneamento, universidades no Brasil, e no exterior, novas ideias e tecnologias podem ser transferidas e aprimoradas.

❓ Revista PDI Adasa/Caesb - O modelo tradicional de inovação - centrado em universidades, grandes empresas e patentes - ainda responde aos desafios globais ou precisa ser repensado?

José Vasconcelos: Acredito que o modelo poderia ser aprimorado com o desenvolvimento de startups no setor de tecnologia ligada ao saneamento (como citei anteriormente). Isso poderia ser criado com parcerias entre empresas de saneamento e universidades.

❓ Revista PDI Adasa/Caesb - Como a cooperação internacional em ciência e tecnologia tem evoluído

e que papel ela desempenha na aceleração de soluções para problemas comuns, como escassez hídrica e saneamento inadequado?

José Vasconcelos: Já existe várias cooperações internacionais no que tange a recursos hídricos e saneamento entre o Brasil e outros países, no que tange às universidades.

❓ Revista PDI Caesb-Adasa: Como avalia a posição do Brasil no sistema global de pesquisa, desenvolvimento e inovação?

José Vasconcelos: O Brasil tem vários aspectos na área de saneamento que podem ser considerados muito avançados, por exemplo, no que tange a tecnologias de baixo custo e ao saneamento em áreas rurais e de baixa densidade populacional. Porém, há oportunidade de melhoria em várias outras áreas, como desenvolvimento de sensores, IoT, modelagem computacional etc. que devem ser abraçadas o quanto antes.

❓ Revista PDI Adasa/Caesb - Na sua opinião, quais fatores podem contribuir para que, embora o país produza ciência de qualidade, ainda enfrente desafios na transformação dessas pesquisas em inovação aplicada?

José Vasconcelos: A meu ver, e que tange às soluções em ciência, tecnologia, e engenharia, as universidades precisam se aproximar ainda mais do mercado, como companhias de saneamento, empresas de consultoria, e desenvolver soluções pragmáticas para problemas vivenciados por esses parceiros. Por outro lado, esses



José Vasconcelos é professor no Grupo de Recursos Hídricos do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Auburn, nos Estados Unidos. Seu doutorado foi concluído em 2005 pela Universidade de Michigan, Ann Arbor. Anteriormente, foi professor na Universidade de Brasília (2006-2009) e, antes disso, trabalhou na área de recursos hídricos na CAESB (Comissão Administrativa de Águas e Esgotos de Brasília, 1999-2006) e, antes ainda, na Novacap (Empresa de Infraestrutura Urbana do Distrito Federal, 1996-1999). Atualmente, seus interesses de pesquisa incluem fluxos não permanentes/multifásicos, infraestrutura hídrica urbana, bacias hidrográficas de cabeceira e interações entre fluxos de águas superficiais e subterrâneas. Atua também como um dos consultores do capítulo estudantil da Universidade de Auburn da organização Engenheiros Sem Fronteiras, tendo desenvolvido sistemas de água potável em Ruanda e na Guatemala.

parceiros precisam aprimorar as práticas, conhecendo o que se faz no âmbito internacional. E quem paga pelos serviços, em última análise, a sociedade, precisa de ser educada sobre o que deve esperar desses serviços e processos. O controle institucional do financiamento, que foca muito no COMO os recursos são gastos, deveria também se importar com os resultados e práticas da pesquisa proposta e financiada.

? Revista PDI Adasa/Caesb - Como a pesquisa aplicada pode ajudar a ampliar o acesso ao saneamento em áreas onde soluções convencionais não funcionam?

José Vasconcelos: Lamentavel-

mente, não há uma solução mágica para o problema do custo da implementação de saneamento. Algumas tecnologias podem ajudar na redução do custo de certos processos, o que pode ajudar na questão do acesso ao saneamento. Em outros contextos, como no saneamento rural, existe a possibilidade de novas ideias serem implantadas para a expansão do saneamento. Porém, a sociedade e os tomadores de decisão devem estar preparados para fazer o investimento necessário para que esse benefício essencial seja universalizado, particularmente em áreas urbanas.

? Revista PDI Adasa/Caesb - Que experiências internacionais

em P&D&I em saneamento podem inspirar o Brasil – e quais cuidados são essenciais nessa adaptação?

José Vasconcelos: Em Israel, as companhias de saneamento são obrigadas a usar parte do orçamento que dispõem para investir em tecnologias de saneamento, o que resulta em novas startups, que por sua vez muitas vezes comercializam novos produtos que geram novas receitas e novos mercados para as companhias de saneamento. Mas, por outro lado, o custo da água para o consumidor por lá é alto, o que permite que existam esses fundos que suportem esse financiamento.



Caesb consolida trajetória de inovação e parcerias de sucesso com LACTEC e UnB

Uma trajetória consistente de inovação vem sendo consolidada na Caesb. Os últimos anos foram marcados pela contínua busca por atualização e aprimoramento de tecnologias e processos, sempre alinhada aos desafios contemporâneos do saneamento e às exigências regulatórias, ambientais e sociais do Distrito Federal. Hoje, a Companhia se destaca nacionalmente no reúso indireto da água, com o caso do Lago Paranoá,

lançando efluentes tratados em nível terciário e captando e tratando água com ultrafiltração desse mesmo manancial, além de uso intensivo de sistemas de automação, telemetria e monitoramento remoto.

Um marco importante, segundo o superintendente de Captação de Recursos, Cooperação e Inovação (CCI), Fuad Moura Guimarães Braga, foi a incorporação progressiva de tecnologias digitais

“Programas de PDI dessa natureza são instrumentos fundamentais para transformar desafios operacionais em oportunidades de aprendizado, modernização e geração de valor público, consolidando a Caesb como referência em inovação no saneamento.”

Fuad Moura Guimarães Braga, superintendente de Captação de Recursos, Cooperação e Inovação (CCI)

à operação, especialmente em unidades operacionais e nos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário.

Com bons resultados sendo vistos na prática, houve então o efetivo reconhecimento da inovação como um instrumento estratégico para enfrentar desafios como universalização, eficiência energética e operacional e sustentabilidade financeira e ambiental. O tema foi inserido no planejamento estratégico da Companhia, com a criação de indicadores de desempenho, além da estruturação de uma área voltada para a gestão da inovação no organograma da Caesb. Os departamentos são agora apoiados pela Gerência de Cooperação e Inovação CCIN/CCI/DC, que sistematiza as inovações, impulsiona as áreas a inovarem e fomenta a adoção de ferramentas de inovação.

Um grande marco é o Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação – PDI Adasa/Caesb, uma importante ferramenta de inovação aberta. “O Programa tem como objetivo melhorar processos operacionais, desenvolver tecnologias próprias, testar soluções antes de sua adoção em larga escala e resolver problemas complexos do setor de saneamento, além de fortalecer o relacionamento da Companhia com institutos de pesquisa e universidades”, conta Laís Freitas, gerente de Cooperação e Inovação da Caesb.

Ela explica que, por meio dos indicadores, é possível identificar e mapear as principais fragilidades e oportunidades de melhoria, orientando a busca por novas tecnologias e soluções.

Dessa forma, é criado um ambiente propício para que a inovação atue de maneira direta e contínua na melhoria da performance dos indicadores institucionais

Fuad Moura cita como exemplo relevante a adoção de tecnologias avançadas no tratamento de água e de esgoto, o que posiciona a Caesb entre os casos mais bem-sucedidos de reúso indireto de água no país. “A Caesb lança efluentes tratados em nível terciário no Lago Paranoá, em conformidade com padrões ambientais, e realiza a captação de água para abastecimento com posterior tratamento por membranas de ultrafiltração, assegurando o atendimento pleno aos padrões de potabilidade”, enfatiza.

A Companhia também foi responsável pela implantação do primeiro caso de saneamento integrado do Distrito Federal. Em Santa Luzia, as obras estão em execução para uma iniciativa que reforça o compromisso com a universalização dos serviços, principalmente em áreas mais vulneráveis e com baixos indicadores socioeconômicos. Moura também destaca a ampliação do uso de soluções voltadas à eficiência energética e ao reaproveitamento de subprodutos do saneamento, aproximando a Caesb da economia circular e da sustentabilidade econômica e ambiental.

Tudo isso ocorreu paralelamente a um avanço institucional significativo: o fortalecimento da cultura de inovação. Foram firmadas parcerias relevantes com universidades, centros de pesquisa, associações e institutos do setor de

saneamento, além da presença ativa da Caesb nos principais fóruns que discutem os rumos do setor. “A implementação de programas estruturados de pesquisa, desenvolvimento e inovação permitiu que a inovação deixasse de ser pontual e passasse a ser tratada de forma estratégica, integrada ao planejamento da empresa”, explica Moura.

“Projetos como o que desenvolvemos em parceria com a Caesb permitem não apenas resolver um problema específico, mas criar metodologias e ferramentas que podem ser replicadas, promovendo um ciclo contínuo de inovação dentro da companhia e fortalecendo sua capacidade de atender às exigências do Marco Legal.”

Michela Scupino, diretora de Operações Tecnológicas do LACTEC

PDI EM FOCO NA PARCERIA COM O LACTEC

O investimento em PDI foi muito bem-sucedido do ponto de vista técnico e estratégico, uma vez que teve impacto direto e mensurável nos principais indicadores de desempenho do saneamento. De acordo com Fuad Moura, a adoção de soluções digitais e analíticas ampliou a visibilidade dos sistemas, permitiu a antecipação de falhas e qualificou a tomada de decisão baseada em dados, resultando em ganhos relevantes de eficiência operacional.

“No enfrentamento das perdas no sistema de distribuição de água, a combinação entre setorização de redes, monitoramento contínuo, modelagem hidráulica e análise inteligente de dados possibilita intervenções mais precisas, redução de vazamentos e melhor uso dos recursos hídricos, um aspecto especialmente crítico para o setor de saneamento de forma geral” avalia.

Em relação à qualidade do serviço prestado à população, Moura cita a regularidade no abastecimento, o aprimoramento dos padrões de tratamento, além de respostas mais rápidas a ocorrências operacionais e maior transparência na relação com o usuário.

Dessa maneira, a inovação

se materializou como meio essencial para a prestação de serviços mais eficientes, resilientes e confiáveis na Caesb, como atesta Michela Scupino, diretora de Operações Tecnológicas do LACTEC, parceiro de longa data da Companhia. “Vejo com muita clareza o valor estratégico da inovação promovida pela Caesb por meio do seu Programa de Inovação. Quando falamos em modernização do saneamento, estamos falando também de eficiência econômica: reduzir perdas é, na prática, aumentar a capacidade operacional sem ampliar a captação de água, o que gera economia e reduz a pressão sobre os recursos hídricos”, analisa.

Scupino evidencia ainda um “ganho estruturante”, que é a geração de conhecimento aplicado. “Projetos como o que desenvolvemos em parceria com a Caesb permitem não apenas resolver um problema específico, mas criar metodologias e ferramentas que podem ser replicadas, promovendo um ciclo contínuo de inovação dentro da companhia e fortalecendo sua capacidade de atender às exigências do Marco Legal do Saneamento Básico”.

No momento, está sendo conduzido um projeto voltado ao desenvolvimento de soluções

Prêmio InovaCaesb destaca cultura inovadora

A fim de reconhecer e valorizar iniciativas inovadoras desenvolvidas por colaboradores, foi lançado em 2025 o Prêmio InovaCaesb. A primeira edição destacou projetos que contribuam para a melhoria ou inovação dos serviços e processos, sustentabilidade e relacionamento com a sociedade.

“O prêmio se revelou uma estratégia de fortalecimento da cultura da inovação na Companhia, promovendo o protagonismo dos profissionais na transformação do saneamento”, conta Laís Freitas.

Ela ressalta que a inovação funciona como vetor integrador entre desempenho técnico, sustentabilidade e geração de valor público. “A adoção de automação, digitalização, telemetria e novos modelos de gestão reduz custos operacionais, melhora o desempenho dos ativos e viabiliza a manutenção preditiva, aumentando a eficiência global do sistema. No combate às perdas, soluções inovadoras possibilitam atuação preventiva, redução de perdas de água e maior segurança hídrica. No tocante à qualidade do serviço, a inovação eleva a confiabilidade do abastecimento, reduz interrupções, aprimora o controle da qualidade da água e melhora a experiência do usuário, fortalecendo a confiança da população e a aderência regulatória”, resume.

Com o olhar para o futuro, Fuad Moura prevê um avanço ainda mais intenso da digitalização, com a aplicação de tecnologias como inteligência artificial, internet das coisas, gêmeos digitais e análise avançada de dados, tanto na operação quanto no planejamento dos sistemas. “Também devem ganhar protagonismo as soluções voltadas à sustentabilidade, como economia circular, eficiência energética, redução de emissões e re-



I PRÊMIO
INOVA CAESB
2025

aproveitamento de recursos, além de novos modelos de financiamento que incentivem mutuários com políticas ESG consolidadas”, diz.

Nesse contexto, as parcerias institucionais são fundamentais para viabilizar a inovação em escala, com foco na universalização e na melhoria contínua da prestação dos serviços. “A Caesb já se destaca no cenário nacional pelos elevados índices de atendimento à população do Distrito Federal. No campo da inovação, esse posicionamento é viabilizado por ações como a implementação de programas estruturados de pesquisa, desenvolvimento e inovação (como os realizados em parceria com a Adasa), a articulação com universidades e agentes financiadores, e a capacidade de testar, validar e escalar soluções alinhadas às necessidades reais da companhia e do setor de saneamento. Programas de PDI dessa natureza são instrumentos fundamentais para transformar desafios operacionais em oportunidades de aprendizado, modernização e geração de valor público, consolidando a Caesb como referência em inovação no saneamento”, finaliza.

“Essa colaboração não apenas fortalece a infraestrutura de pesquisa da UnB e a formação de recursos humanos altamente qualificados, mas também garante que os estudos sejam direcionados para a resolução de problemas reais e complexos enfrentados pelo setor de saneamento.”

Ricardo Minoti, coordenador do PTARH-UnB

tecnológicas para a medição de consumo de água. O Sistema de Comunicação em Malha (Mesh), baseado nos padrões Wi-Sun LX, incorpora tecnologias de IoT para telemetria, uma solução que permite a coleta de dados mais precisa, melhora o monitoramento do consumo e contribui diretamente para a redução de perdas aparentes.

“Em termos objetivos, estamos falando de uma iniciativa que amplia a eficiência operacional, a confiabilidade das informações e fortalece a gestão baseada em dados, pilares fundamentais para a sustentabilidade e a modernização do saneamento”, completa a diretora de Operações Tecnológicas do LACTEC.

AVANÇO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO NA PARCERIA COM A UNB

A Universidade de Brasília (UnB) também é parceira de anos da Caesb, por meio da parceria em pesquisa com o Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos (PTARH), do Instituto de Geociências. Mais recentemente, com a criação do Programa de PDI Adasa/Caesb, houve um fortalecimento da colaboração, contribuindo ainda mais para o avanço científico e tecnológico na gestão dos recursos hídricos distri-

tais, especialmente no contexto de corpos d’água receptores de efluentes tratados.

“Ao unir o rigor metodológico e a capacidade de inovação da Universidade com a experiência operacional e os recursos da Caesb, estabeleceu-se uma sinergia ainda maior, capaz de transcender as abordagens convencionais de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. Essa colaboração não apenas fortalece a infraestrutura de pesquisa da UnB e a formação de recursos humanos altamente qualificados, mas também garante que os estudos sejam direcionados para a resolução de problemas reais e complexos enfrentados pelo setor de saneamento”, explica Ricardo Minoti, coordenador do PTARH.

Ele também destaca benefícios que vão além dos quesitos acadêmicos e operacionais. “Essa aliança estratégica gera um impacto direto e positivo para a sociedade e o meio ambiente. Tomando-se como exemplo o Projeto de PDI do Lago Paranoá, os resultados obtidos a partir do aprimoramento da avaliação da qualidade da água fornecem subsídios técnicos robustos para a tomada de decisão baseada em evidências, com inovações no monitoramento in situ, na obtenção de dados de quali-



dade de água via sensoria-
mento remoto (utilização de
imagens de satélite e drones)
e na simulação da qualidade
da água dos sistemas afluen-
tes e do sistema lacustre, per-
mitindo o estabelecimento da
relação com os processos de
tratamento de efluentes e mi-
tigando potenciais impactos
no ecossistema aquático”, evi-
dencia Minoti.

O pesquisador completa que
todo esse contexto demonstra
o compromisso da Caesb com a
sustentabilidade e a responsabi-
lidade socioambiental, enquan-

to a UnB cumpre seu papel na
produção de conhecimento e na
transferência à sociedade, obje-
tivando a melhoria da qualida-
de de vida da população. “Em
última análise, essa parceria
contribui para que a expertise
acadêmica, o capital intelectu-
al, e os recursos tecnológicos da
Universidade permaneçam de-
dicados ao monitoramento sis-
temático da qualidade hídrica
local e à formulação de soluções
inovadoras para os desafios am-
bientais e sanitários específicos
do Distrito Federal”, conclui.

**“O prêmio [InovaCaesb]
revelou-se uma
estratégia de
fortalecimento da
cultura da inovação na
Companhia, promovendo
o protagonismo dos
profissionais na
transformação do
saneamento.”**

Laís Freitas, gerente de
Cooperação e Inovação da Caesb

Entre regras e incentivos, a regulação redefine o avanço tecnológico no saneamento

ENTREVISTA: RAFAEL MELLO, SUPERINTENDENTE DE ÁGUA E ESGOTOS DA ADASA

A regulação vem atuando como catalisador de eficiência e termômetro de segurança jurídica quando se fala em pesquisa, desenvolvimento e inovação (PDI) no saneamento. Em entrevista, o superintendente de Água e Esgoto da Adasa (Agência Reguladora de Águas, Energia e Saneamento Básico do Distrito Federal), Rafael Mello, explica como instrumentos regulatórios estão estimulando ações de PDI na região e o papel das agências nesse contexto. Confira.

❓ Revista PDI Adasa/Caesb - Qual é o papel da regulação no estímulo à pesquisa, desenvolvimento e inovação no setor de saneamento, no contexto do Distrito Federal?

Rafael Mello - No Distrito Federal, a regulação atua como o principal indutor de eficiência e segurança jurídica para o setor. O papel da Adasa é criar um ambiente onde a inovação seja um ativo valorizado, permitindo que a Caesb recupere os custos de investimentos em novas tecnologias por meio de recursos definidos na tarifa de água. Quando a agência define regras claras, ela reduz a

percepção de risco e encoraja a prestadora a buscar por soluções que otimizem o serviço de abastecimento de água e de esgotamento sanitário. Nesse sentido, destacamos a importância da Resolução nº 13, de 20 de dezembro de 2021, da Adasa, que regulamenta o Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI) em parceria com a Caesb. A norma aprova o Manual de Elaboração e Avaliação de Projetos, focado no estímulo a soluções inovadoras para o saneamento no DF.

❓ Revista PDI Adasa/Caesb - Na sua avaliação, quais instrumen-

tos regulatórios podem ser eficazes para estimular a adoção de soluções inovadoras no setor de saneamento?

Rafael Mello - Os instrumentos mais eficazes são a regulação por incentivos e o estabelecimento de metas de desempenho atreladas a bônus regulatórios, como o Fator X. Em vez de focar apenas no custo fixo do serviço, a regulação deve premiar a eficiência operacional, permitindo que a empresa retenha parte dos ganhos financeiros obtidos com inovações. Além disso, o reconhecimento imediato de ativos tecnológicos na base de remuneração é essencial para



que a modernização tecnológica não seja vista como um risco contábil pela operadora.

? Revista PDI Adasa/Caesb - Como a regulação pode contribuir com a segurança e a qualidade dos serviços e, ao mesmo tempo, abrir espaço para testes e implementação de novas tecnologias?

Rafael Mello - A regulação da Adasa atua equilibrando a exigência de padrões de qualidade com o incentivo à moderniza-

ção dos serviços no Distrito Federal. Ao estabelecer metas de desempenho no Plano de Exploração e normas de regulação, a agência garante que as operações atuais sejam seguras e confiáveis para o consumidor; simultaneamente, as diretrizes de PDI (pesquisa, desenvolvimento e inovação) oferecem a segurança jurídica e o suporte tarifário necessários para que a Caesb invista em novas tecnologias. Esse modelo permite

que soluções inovadoras sejam testadas e implementadas de forma controlada, assegurando que o avanço tecnológico se traduza em maior eficiência operacional e segurança hídrica, sem comprometer a estabilidade do sistema.

? Revista PDI Adasa/Caesb - Olhando para o futuro do setor, qual deve ser o papel das agências reguladoras na criação de um ambiente favorável à inovação e ao desenvolvimento tecnológico no saneamento?

Rafael Mello - O papel das agências deve evoluir de uma postura puramente fiscalizatória para uma atuação de estímulo à inovação. As agências devem ser as grandes articuladoras, conectando a academia, startups e as prestadoras de serviços para resolver problemas que impactam a evolução do setor de saneamento. O foco futuro da regulação será a gestão inteligente de dados e a sustentabilidade, garantindo que o saneamento seja tecnologicamente avançado, resiliente às mudanças climáticas e acessível a todos os cidadãos.

PROJETOS APROVADOS

Projeto 01

Pesquisa e desenvolvimento de sistema de comunicação em malha (mesh) baseado nos padrões globais Wi-SUN 1.x para micromedição de consumo de água e identificação de perdas técnicas ou comerciais.

100%
CONCLUÍDO

Projeto 02

Monitoramento e modelagem avançados como suporte à gestão integrada de recursos Hídricos e ao desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para o gerenciamento do Lago Paranoá (sistema Bacia-Lago)

54,17%
CONCLUÍDO

Projeto 03

Remoção de microcontaminantes e vírus em ETAs e ETEs, com ênfase no uso de carvão ativados e membranas

54,17%
CONCLUÍDO

STATUS DE EXECUÇÃO

63,33%
CONCLUÍDO

03 PROJETOS INICIADOS
PROGRESSO MÉDIO

42,22%
CONCLUÍDO

TOTAL DE PROJETOS CONCLUÍDOS

Projeto 04

Desenvolvimento e validação de metodologias de vigilância epidemiológica baseada em esgotos para monitoramento de arboviroses no Distrito Federal.

Projeto 05

Visão GeoEspacial Limnológica dos Reservatórios de Água do Distrito Federal (Vigie Águas).

MONTANTE INVESTIDO

→ **R\$ 2.353.011,12**

TOTAL INVESTIDO DE
FEVEREIRO DE 2024 ATÉ MARÇO DE 2026

→ **R\$ 6.292.218,11**

VALOR TOTAL PREVISTO
PARA OS 5 PROJETOS

INSTITUIÇÕES PARCEIRAS:



Projeto 1

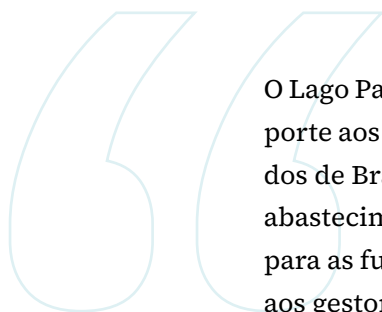


Projeto 2 / 3 / 4 e 5



Projeto em andamento

Monitoramento e modelagem avançados como suporte à gestão integrada de recursos hídricos e ao desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para o gerenciamento do Lago Paranoá (Sistema Bacia-Lago)



O Lago Paranoá é um dos grandes patrimônios urbanísticos, de lazer e de suporte aos serviços de saneamento de Brasília. O lago recebe os esgotos tratados de Brasília. A bacia do Lago Paranoá e o lago fornecem parte da água de abastecimento da cidade. Sua preservação e a manutenção de sua qualidade para as futuras gerações é uma meta de toda população e um grande desafio aos gestores e pesquisadores.

O projeto de PDI em desenvolvimento, “Monitoramento e Modelagem Avançados como Suporte à Gestão Integrada de Recursos Hídricos e ao Desenvolvimento de Sistema de Apoio à Decisão para o Gerenciamento do Lago Paranoá (Sistema Bacia-Lago)” tem como objetivo fornecer aos gestores de recursos hídricos e ao corpo técnico da Caesb uma ferramenta que permita compreender melhor a dinâmica de suas águas e o funcionamento do Sistema Bacia-Lago, bem como analisar os impactos presentes e futuros das medidas de uso de suas águas e de uso da bacia de contribuição, além de compreender os impactos provocados por alterações de variáveis climatológicas.

Os desafios para a pesquisa e para a Caesb são imensos, seja na obtenção contínua e detalhada de dados de qualidade das águas do lago que permitam a realização confiável da modelagem ou seja na prospecção de cenários futuros. Tal estratégia é fundamental ao se considerar o panorama extremamente dinâmico e variável que é gerado pelas decisões sobre a ocupação e o ordenamento territorial da bacia de contribuição ao lago.”



Sergio Koide é professor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB) desde 1981 e professor do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos desde sua criação, em 1995. Engenheiro Civil formado pela UnB, especialista em Terminais e Oleodutos pela Petrobras, mestre pelo Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia, da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE-UFRJ) e PhD pelo Imperial College London.

O desenvolvimento da pesquisa no âmbito do Projeto PDI 02 envolve desafios técnicos e operacionais associados à complexidade do sistema Bacia-Lago Paranoá e à necessidade de integração de diferentes escalas espaciais e temporais de análise. Destaca-se como desafio central a consolidação e consistência de bases de dados provenientes de múltiplas fontes, bem como a articulação entre monitoramento de campo, sensoriamento remoto e modelagem matemática.

A complexidade do sistema Bacia-Lago exige a articulação entre monitoramento hidrológico, limnológico e meteorológico, aliada ao uso de técnicas avançadas de modelagem e sensoriamento remoto. Destacam-se também os desafios operacionais relacionados à logística de campo, à manutenção de equipamentos e à dependência de condições climáticas favoráveis para a coleta de dados.

Entre os aspectos mais relevantes, ressalta-se a consolidação de uma base de dados integrada, o aprimoramento do monitoramento da qualidade da água em diferentes profundidades e a aplicação de modelos hidrológicos, hidrodinâmicos e ecológicos. O desenvolvimento de modelos de apoio à decisão e a capacitação técnica das equipes envolvidas configuram avanços estratégicos para a gestão do Lago Paranoá. Por fim, o projeto se destaca por fortalecer a interface entre pesquisa científica e gestão pública, contribuindo de forma consistente para o planejamento e a tomada de decisão em recursos hídricos, para cenários de curto, médio e longo prazos.”



Ligia Silva Viveiros Gurgel é graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Mato Grosso do Sul (2005) e mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (2008). É Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (Caesb), admitida por concurso público em 2010 e exerce a função de Supervisora na Gerência de Recursos Hídricos da Superintendência de Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Possui mais de 15 anos de experiência no setor de saneamento.

O projeto avança sobre um sistema naturalmente complexo, que demanda elevado nível de integração técnica e organizacional. Persistem desafios operacionais relevantes, especialmente relacionados à logística de campo, à manutenção de equipamentos e à dependência de condições climáticas. Em contrapartida, os avanços na integração de dados e no aperfeiçoamento dos modelos configuram ganho estratégico significativo. Destaca-se, ainda, o fortalecimento da capacidade técnica das equipes envolvidas. Trata-se de uma iniciativa fundamental para subsidiar a gestão e a tomada de decisão da Companhia, constituindo elemento indispensável para o apoio ao planejamento e a gestão qualificada do Lago Paranoá”



Glênio da Luz Lima Júnior, superintendente de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Caesb

Monitoramento e modelagem avançados como suporte à gestão integrada de recursos hídricos e ao desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para o gerenciamento do Lago Paranoá (Sistema Bacia-Lago)

Convênio nº 2/2024

Desafio

Desenvolvimento de metodologia preditiva da qualidade do Lago Paranoá frente a intensificação dos seus usos múltiplos e como manancial de abastecimento para um cenário de 30 anos.

Objetivo

Desenvolver sistema de apoio à decisão para o Lago Paranoá com enfoque no acoplamento Bacia-Lago, composto pelo monitoramento e a modelagem das bacias afluentes e do monitoramento limnológico e por sensoriamento remoto e na modelagem hidrodinâmica 1D, 2D ou 3D do Lago com a avaliação dos balanços hídricos quantitativos e qualitativos e nas previsões relacionadas ao comportamento do Sistema Lacustre no curto, médio e longo prazos.



Investimento
R\$ 997.212,90



Proponente
UnB



Contrapartida Caesb
R\$ 761.974,40



Interveniente
Finatec



Duração
48 meses



Conclusão
Fevereiro/2028

Monitoramento e modelagem avançados como suporte à gestão integrada de recursos hídricos e ao desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para o gerenciamento do Lago Paranoá (sistema Bacia-Lago)

Sergio Koide, Henrique Llacer Roig, Ricardo Tezini Minoti, Andréia de Almeida, Alice Rocha Pereira, Raquel Moraes Soares, Rejane Ennes Cicerelli, Jeremie Garnier (Universidade de Brasília)

RESUMO

O Projeto tem como objetivo principal o desenvolvimento de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) ao gerenciamento do Lago Paranoá. Para tanto, o projeto conta com atividades que englobam o levantamento de dados primários e secundários, aprimoramento do monitoramento, aquisição de dados por sensoriamento remoto, modelagem hidrológica, hidrodinâmica e de qualidade da água. Nesse primeiro ano, a equipe de Pesquisa obteve os seguintes avanços: 1) Compilação de dados e organização de base de dados integrada sobre o Lago Paranoá e suas bacias afluentes; 2) Realização do monitoramento mensal em campo de temperatura da água do Lago, comunidade fitoplancônica e clorofila-a; 3) Desenvolvimento de modelo preliminar de estimativa de temperatura superficial da água; 4) Aprimoramento da aplicação do modelo SWAT na bacia do Riacho Fundo e treinamento à equipe de pesquisa da UnB; 5) Modelagem hidrodinâmica inicial 1D (GLM) e 3D (Delft3D).

Palavras-chave: Lago Paranoá; Monitoramento hidrológico; modelagem matemática; hidrodinâmica de lagos

INTRODUÇÃO

O Lago Paranoá, criado em 1959 para usos múltiplos e, principalmente, para compor o ambiente paisagístico da nova capital, apresentou, em sua breve existência, inúmeras fases relacionadas com a qualidade de suas águas. Apenas duas décadas após sua formação sofreu graves problemas de eutrofização que acarretou mortandade de peixes e fitoplâncton causando mau cheiro e poluição grave do lago, o que exigiu medidas severas e de alto custo para reduzir as cargas de nutrientes e matéria orgânica lançadas no lago. A construção das novas estações de tratamento de esgotos (ETEs Norte e Sul) e obras complementares, reduziu drasticamente essas cargas, melhorando sensivelmente a qualidade das águas. Em 1999 o lago atingiu excelentes padrões de qualidade da água para os múltiplos usos.

Com o passar dos anos, novas cidades surgiram ou foram criadas na bacia hidrográfica do Lago Paranoá, aumentando gradualmente as cargas de nutrientes que aportam ao lago. Em 2015, estudos da Caesb já indicavam aportes de nutrientes ao lago em níveis preocupantes (Figura 1).

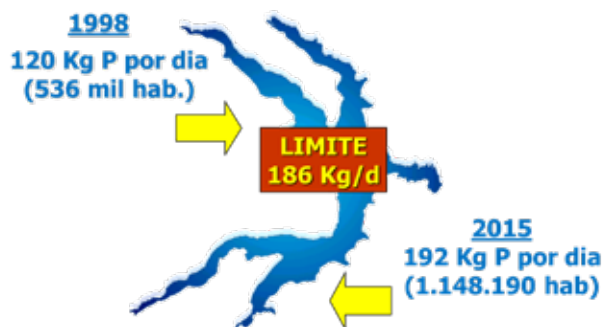


Figura 1 -Capacidade de suporte do Lago Paranoá em relação ao aporte de fósforo com base em modelos simplificados.

Desde sua criação, a Caesb tem se preocupado com o monitoramento hidrológico e da qualidade das águas dos rios e lagos do DF, mesmo em uma época em que a preocupação com os recursos hídricos e a qualidade das águas era incipiente. Em 2018 a Caesb adquiriu e instalou no Lago Paranoá uma plataforma flutuante para monitoramento em tempo real dos principais parâmetros de qualidade da água em ponto próximo à Ermida Dom Bosco, o que propiciaria as condições para acompanhamento sistemático e possibilidades de previsão de curto prazo de florações de cianobactérias, com antecedência de semanas.

Apesar dos esforços e recursos empregados no monitoramento dos rios e do Lago Paranoá no passado e na atualidade, os dados e as informações disponíveis não geram a capacidade de decisão adequada e efetiva frente aos avanços científicos e tecnológicos atuais, no que se refere ao entendimento dos processos ambientais, à estimativa dos impactos de cada tipo de carga de poluente aportado (em conjunto ou isoladamente), no estabelecimento dos limites de aporte de cargas ao sistema como forma de evitar o retorno a níveis tróficos mais elevados, e não propiciam a segurança adequada que facilite o gerenciamento do sistema lacustre e das bacias afluentes.

Além disso, mesmo com todo o investimento, a Caesb não dispõe ainda das tecnologias e sistemas de apoio mais avançados, disponíveis na atualida-

de, para o acompanhamento do Lago Paranoá, tais como a incorporação, em sua rotina de trabalho, de sistemas de suporte à decisão que tenham como base a aplicação de modelos de bacias hidrográficas acoplados a modelos do sistema lacustre; aplicação de modelos de base física para a simulação do sistema lacustre com previsão de respostas no médio e longo prazos; aplicação de modelos inferenciais com base em inteligência artificial para simulação do sistema lacustre com previsão de respostas no curto prazo; aplicação de sistema de monitoramento remoto de qualidade da água do sistema lacustre por meio de imagens obtidas por plataformas orbitais e aerotransportadas (RPAs).

Nesse cenário, este artigo tem como objetivo apresentar um panorama do projeto intitulado “Monitoramento e modelagem avançados como suporte à gestão integrada de recursos hídricos e ao desenvolvimento de sistema de apoio à decisão para o gerenciamento do Lago Paranoá (sistema Bacia-Lago)” que tem sido desenvolvido durante o quadriênio 2024-2027 pela Universidade de Brasília (UnB), no contexto do Programa de PDI ADA-SA/CAESB.

DESCRIÇÃO DO PROJETO

A Universidade de Brasília tem desenvolvido uma série de pesquisas ao longo dos anos, inclusive com o estabelecimento de várias parcerias com a Caesb. No sentido de aprimorar tais pesquisas e atender questões ainda em aberto, o presente projeto foi estruturado frente à necessidade de avançar na integração de ferramentas e tecnologias que facilitem o monitoramento hidrológico e limnológico intensivo, e que possam viabilizar um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) direcionado ao gerenciamento do Lago Paranoá.

Dessa forma, o presente projeto, em desenvolvimento dentro do Programa de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação (PDI), tem enfoque no acoplamento Bacia-Lago, composto pelo monitoramento e a

modelagem das bacias hidrográficas afluentes, pelo monitoramento limnológico e por sensoriamento remoto e pela modelagem hidrodinâmica 1D, 2D ou 3D do lago com a avaliação dos balanços hídricos quantitativos e qualitativos e as previsões relacionadas ao comportamento do Sistema Lacustre. A proposta metodológica do projeto, sintetizada na Figura 2, inclui seis etapas metodológicas principais, a saber:

- i) levantamento e atualização das bases de dados da UnB sobre o sistema Lago Paranoá (Bacia+Lago): consiste na compilação dos dados sob responsabilidade da UnB e/ou dados secundários de acesso público, tais como registros meteorológicos, hidrológicos e limnológicos, referentes às bacias afluentes e ao Lago Paranoá;
- ii) desenvolvimento de métodos e técnicas para o aprimoramento do monitoramento hidrológico, de sedimentos e de qualidade de água em rios das bacias afluentes e no Lago Paranoá: esta etapa inclui

- as atividades de monitoramento em campo para a obtenção de dados que possibilitem identificar padrões e comportamentos sazonais e anuais e a relação entre forçantes, a estratificação térmica e a qualidade da água, conforme detalhado a seguir;
- iii) levantamento e análise dos dados monitorados na Estação de Monitoramento Automático da CAESB e análise das perspectivas para o aprimoramento do sistema: direcionado à análise da situação da ilha flutuante de monitoramento automático da Caesb, esta etapa inclui atividades de análise dos dados gerados pela estação, bem como das perspectivas de utilização desses dados no PDI;
- iv) aquisição e processamento de dados obtidos por Sensoriamento Remoto para análise da qualidade da água do Lago Paranoá: inclui atividades com foco em i) planejamento de campo, para garantir concordância entre as datas de monitoramento in situ e via sensoriamento remoto; ii) aqui-

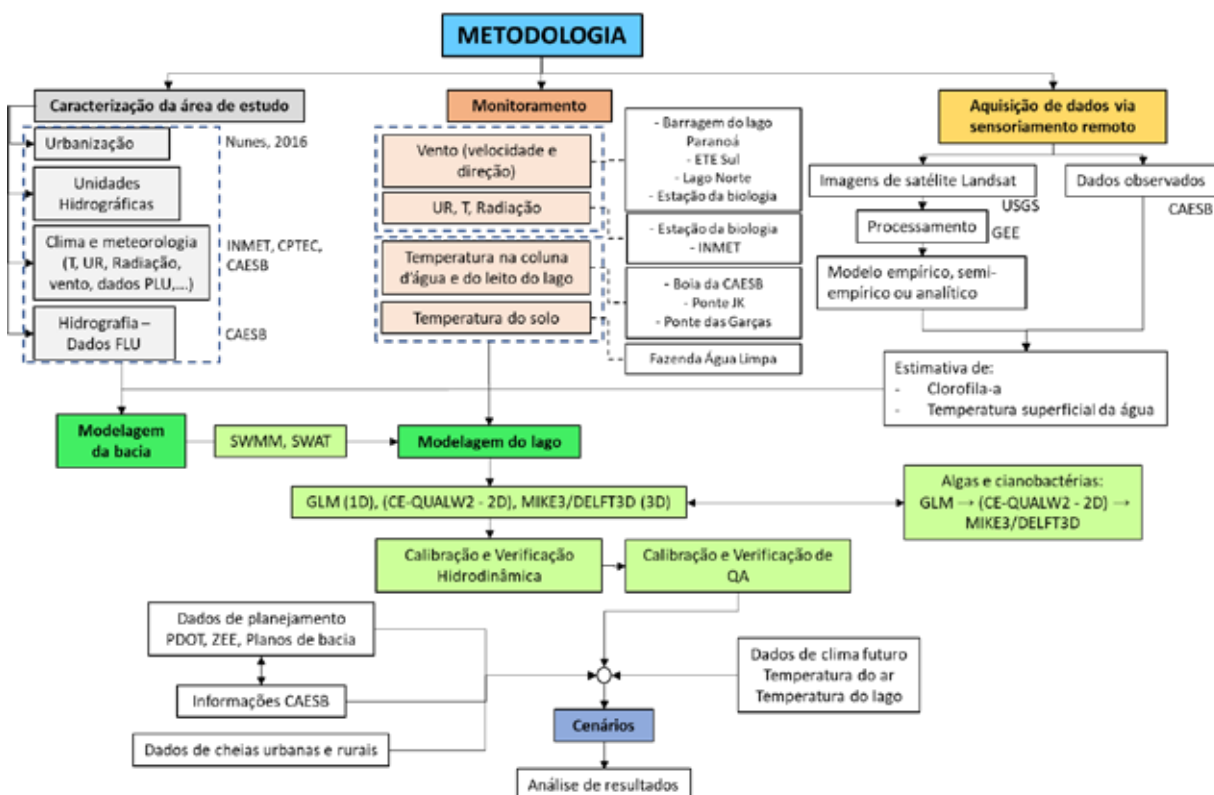


Figura 2 – Proposta metodológica para o desenvolvimento do projeto.

sição de imagens orbitais e aerotransportadas; iii) processamento e consolidação da base de dados; e iv) geração de modelos de estimativa de parâmetros de qualidade da água local e regional; v) modelagem hidrológica para a simulação das bacias afluentes ao Lago Paranoá e construção de cenários de mudanças de uso e ocupação da terra: direcionada à avaliação de vazões e cargas de poluentes afluentes ao Lago Paranoá em escala de bacia hidrográfica por meio do modelo hidrológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT); e vi) modelagem hidrodinâmica e ecológica para a predição do comportamento da temperatura e da qualidade da água: Para avaliação da dinâmica vertical e horizontal do Lago Paranoá, em toda a sua extensão, têm sido implementados e calibrados modelos unidimensionais (GLM) e tridimensionais (Delft3D) a partir de dados medidos pela CAESB em campo.

Os resultados derivados dessas seis etapas poderão auxiliar na proposição conceitual de um SAD que possibilite a integração entre as diferentes abordagens de acompanhamento e análise dos sistemas afluentes com o Lago Paranoá, conforme apresentado esquematicamente na Figura 3. O Sistema deverá concatenar o monitoramento e a modelagem hidrológica e de qualidade de água das bacias hidrográficas afluentes com o monitoramento e a modelagem do Lago Paranoá, com a função de facilitar o entendimento sobre a situação atual do Lago Paranoá bem como a análise prospectiva de possíveis condições futuras, fortalecendo as competências da Caesb para o enfrentamento a eventos ou períodos críticos e, a partir de informações sobre a expansão urbana e soluções de saneamento básico adotadas, prognósticos dos impactos a médio e longo prazo sobre o lago.

O processo de modelagem e desenvolvimen-

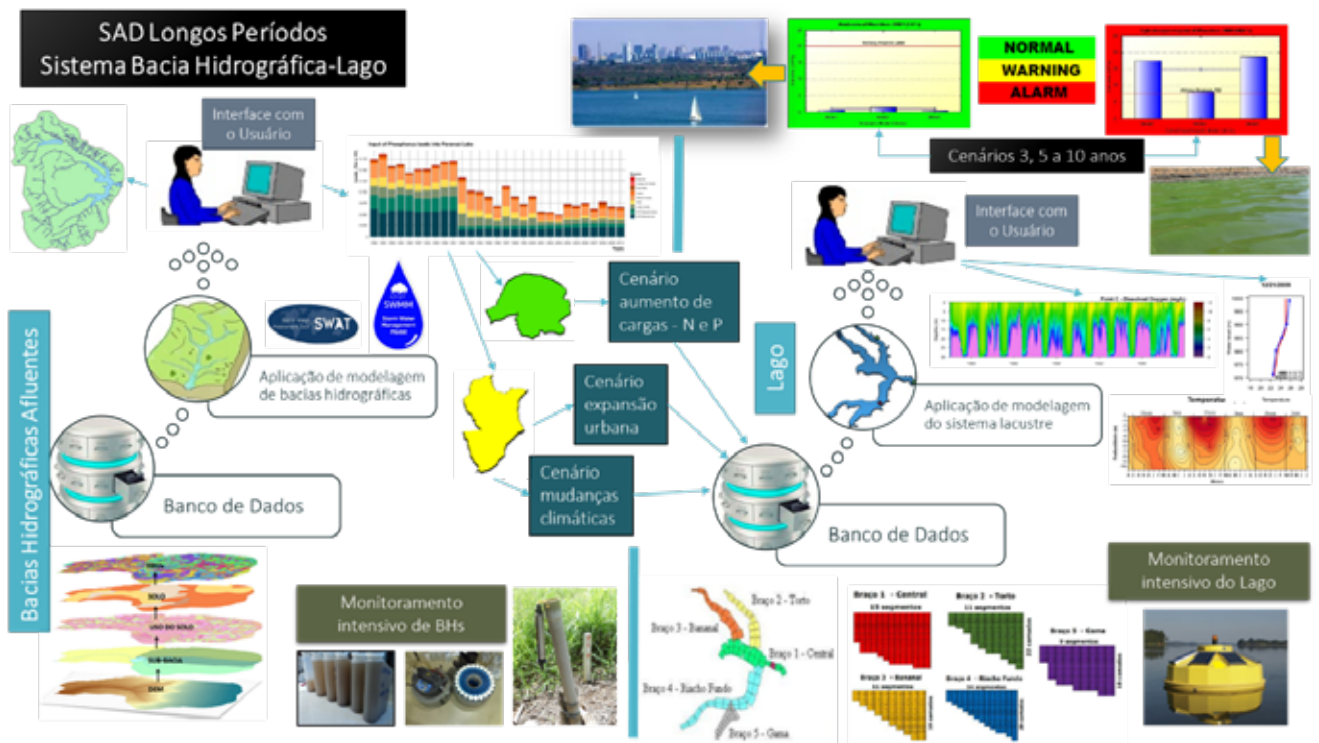


Figura 3 – Representação esquemática do funcionamento do Sistema de Apoio à Decisão para o sistema Lago Paranoá.

to de SAD depende fundamentalmente de dados confiáveis e organizados de maneira sistemática e coerente. Assim, o projeto tem se dedicado à coleta, análise de consistência, preenchimento de falhas e sistematização dos dados disponíveis em banco de dados dentro do sistema de informações da Caesb. Além disso, diante da necessidade da coleta de dados in situ com frequência adequada para o processo de modelagem, houve avanços relativos à aquisição de sensores de monitoramento automático no lago.

MONITORAMENTO IN SITU E POR MEIO DE SENSORIAMENTO REMOTO NO LAGO PARANOÁ

Concomitantemente ao levantamento e a organização da base de dados previamente disponibilizada pela Caesb, a obtenção de dados primários tem sido realizada no âmbito do projeto. O resultado preliminar derivado desta atividade diz respeito à consolidação da rotina de amostragem em campo, com a geração de dados relativos aos parâmetros físico-químicos na coluna d'água (temperatura, condutividade, turbidez e oxigênio dissolvido nos pontos A4, A5, C, D e E), a profundidade da zona eufótica a partir do disco de Secchi e a amostragem de água para a determinação da concentração de sólidos, clorofila-a e a avaliação quali-quantitativa da comunidade fitoplanctônica no lago (A4, A5, C, D e E) (Figuras 4 e 5). Adicionalmente, tem sido obtidos dados de direção e velocidade do vento a partir de anemômetros instalados no entorno do lago (Figura 6).

As metodologias de análise da comunidade fitoplanctônica e da clorofila-a no Lago Paranoá ainda estão em fase de estabelecimento e aprimoramento para compatibilização das rotinas realizadas pela equipe de limnologia e sensoriamento remoto do Projeto de Pesquisa. Em conjunto com as medições em laboratório, durante as atividades de amostragem em campo tem sido quantificada a fluorescência in vivo na coluna de água do lago,

com um Fluorímetro 'Bbe-Moldaenke' (equipamento cedido pelo IG/UnB), para análise da comunidade fitoplanctônica (as análises de identificação e contagem das amostras em laboratório ainda não foram iniciadas).

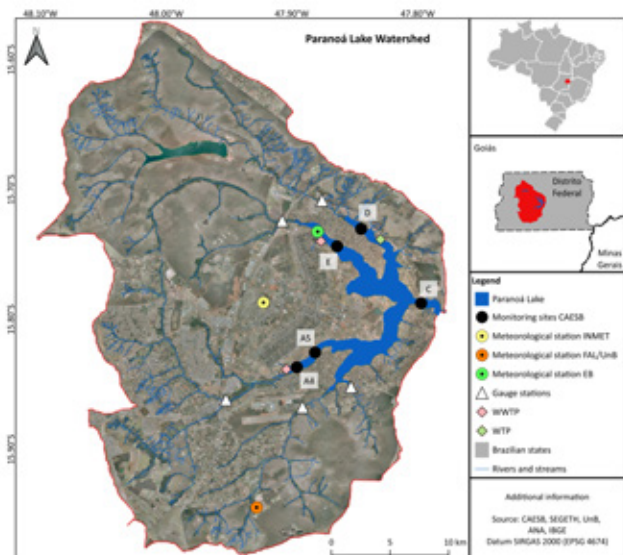


Figura 4. Pontos de monitoramento limnológico e de qualidade da água.

O fluorímetro fornece os resultados das medições em valores absolutos (ug/L) e em valores relativos (Intensidade Relativa de Fluorescência – digits) para 6 canais diferentes, que variam de acordo com comprimento de onda de identificação do sinal de fluorescência, que é de 470 nm para as algas verdes, 525 nm para as Diatomáceas, 570 nm para as criptófitas e 610 nm para as cianobactérias.

O equipamento foi programado para realizar medições a cada 2 segundos, tendo como procedimento de coleta a fixação por 60 segundos em cada uma das profundidades: superfície, 1/2 zona fótica e na zona fótica. Além disso, foram realizadas medições com o equipamento ao longo de toda a coluna d'água trazendo um retrato da comunidade fitoplanctônica ao longo da profundidade.

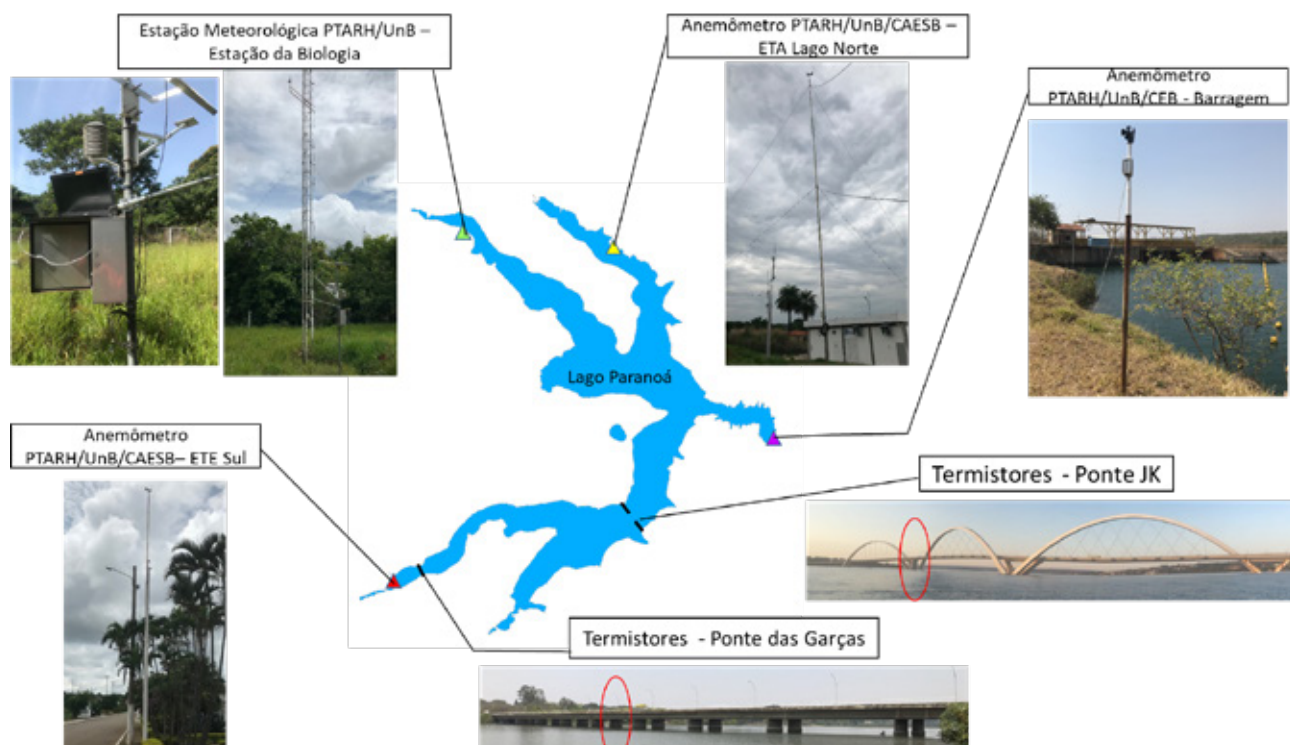


Figura 6. Obtenção de dados de vento e do perfil de temperatura da água do lago Paranoá realizados pelo projeto, essenciais para a modelagem matemática do lago e não realizada por outras instituições.

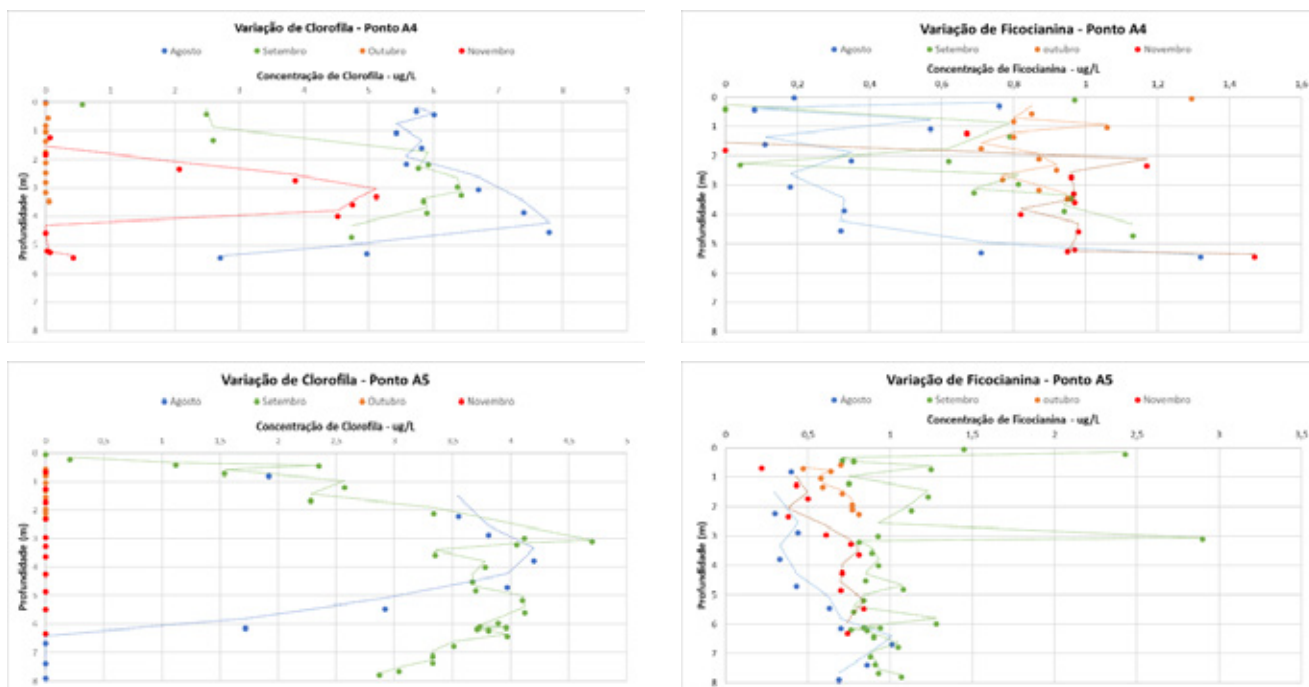


Figura 7. Perfilagem de fluorescência nos pontos de monitoramento A4 e A5 do Lago Paranoá.

Com relação à caracterização da comunidade fitoplanctônica por meio do levantamento com o fluorímetro, os resultados preliminares constam nas Figura 8, Figura 9 e Figura 10. Ao longo dos meses de monitoramento, foi encontrado um valor médio de 1,24 ug/L para a concentração de ficocianina, variando entre 3,54 ug/L e 0,11 ug/L, tendo o valor máximo observado no limite da zona fótica do ponto E no mês de outubro/2025 (Figura 7).

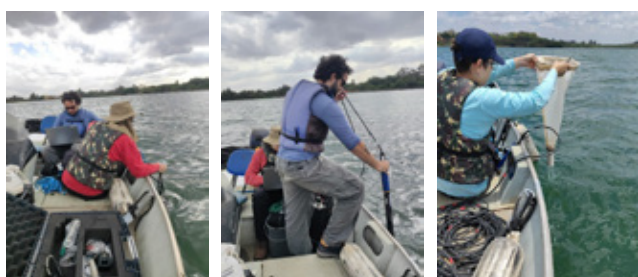


Figura 5. Desenvolvimento de atividades em campo no Lago Paranoá.

Esse resultado pode indicar uma elevação na concentração do pigmento da cianobactéria nesse período final da seca e início do período chuvoso, o que coincide com os relatos de ocorrência de cianobactéria por analistas da Caesb. Vale ressaltar, que os valores absolutos fornecidos pelo equipamento não são calibrados para o ambiente aquático de estudo, portanto, se trata apenas de dados preliminares e de uma análise inicial dos resultados obtidos.

É importante destacar que as medições de vento (Figura 6) e de temperatura em diferentes profundidades na coluna d'água (Figura 8), dados não monitorados pela Caesb e não disponíveis em outros sistemas, contribuí para a construção de uma série temporal mais robusta possibilitando o estudo da variabilidade espaço-temporal e do comportamento de variáveis de qualidade da água no Lago Paranoá, além de subsidiar a modelagem matemática para a previsão de cenários de curto, médio e longo prazo.

Com relação ao monitoramento de curto prazo, a Caesb possuía uma estação de monitoramento automático instalada no ponto C do lago. No entanto, a plataforma foi retirada devido a um acidente com uma embarcação e encontra-se inoperante. A série de dados registrada é curta (medições a 1 e 10 metros de profundidade, de novembro de 2019 a setembro de 2021, com falhas entre janeiro de 2020 e setembro de 2021).

Considerando a importância do Lago Paranoá para a cidade, para um controle de florações de cianobactérias deveriam ser instaladas pelo menos 3 plataformas, no braço do ribeirão Bananal (ponto E), no braço do Riacho Fundo (ETE Sul) e no ponto onde foi instalada a plataforma original (ponto central – C). Deve-se ressaltar a importância da aquisição desses equipamentos para aprimorar o monitoramento de variáveis essenciais (pH, eH, condutividade elétrica, turbidez, temperatura, oxigênio dissolvido, clorofila-a) e, por consequência, a previsão de curto prazo com relação à qualidade da água no lago.

Com relação à análise da qualidade da água do lago por meio de Sensoriamento remoto, as atividades centrais deste projeto incluem a coleta e processamento de dados em campo e via sensoriamento remoto direcionados às variáveis temperatura da água e clorofila. Nesse contexto, as coletas em campo têm ocorrido em datas correspondentes à passagem de satélites (Sentinel ou Landsat) na área do Lago Paranoá. Com relação ao monitoramento da temperatura da água, foi desenvolvido um modelo de estimativa de temperatura superficial da água do Lago Paranoá a partir de dados observados em campo e imagens obtidas por sensores remotos e utilizando a plataforma Google Earth Engine e o software R.

A reanálise dos dados quanto aos modelos ajustados com diferentes defasagens entre a obtenção das imagens de satélite e a coleta de dados em campo (0-2 dias), quantidade de imagens e mé-

tricas de avaliação dos modelos (erro absoluto ≤ 2 , aproximadamente 1 desvio padrão) resultou no aprimoramento do modelo de estimativa da temperatura da água do Lago Paranoá descrito no artigo “Four Decades of Thermal Monitoring in a Tropical Urban Reservoir Using Remote Sensing: Trends, Climatic and External Drivers of Surface Water Warming in Lake Paranoá, Brazil”, publicado em 31 de outubro de 2025 (<https://doi.org/10.3390/rs17213603>).

O artigo teve como objetivos avaliar o modelo de estimativa de temperatura superficial no lago por meio de sensoriamento remoto, a relação entre a temperatura superficial da água e as forçantes externas (meteorológicas e vazão), identificar e analisar as limitações e incertezas envolvidas no estudo da variabilidade da temperatura superficial da água. O processo de revisão do artigo colaborou com o aprimoramento do modelo que poderá ser aplicado para a estimativa da temperatura superficial a partir das análises de sensoriamento remoto no Lago Paranoá.

Na Figura 9 é apresentado um exemplo de resultado preliminar do modelo, contendo as temperaturas superficiais no Lago Paranoá para o dia 28/02/2022 e 15/08/2022. Após o término da campanha de monitoramento no Lago Paranoá, o modelo será aprimorado, tanto metodologicamente quanto pela incorporação de novos dados observados na calibração do modelo.

Posteriormente, a série de dados de concentração de clorofila-a no Lago Paranoá também será analisada quanto a sua variabilidade espaço-temporal no lago por meio do desenvolvimento e calibração de modelo bio-óptico para a estimativa de clorofila-a no lago a partir de imagens de satélite. Adicionalmente, dados de temperatura na coluna d'água e de fluorescência in vivo subsidiarão o aprimoramento continuado e a proposição de modelos bio-ópticos em conjunto com os dados derivados do sensoriamento remoto.

A obtenção dessas informações por sensoriamento remoto permite o monitoramento da qualidade da água com maior cobertura espaço-temporal, maior custo-efetividade e disponibilidade de dados permitindo a caracterização de áreas com mais difícil acesso e carência de monitoramento. Dessa forma, o sensoriamento remoto vem sendo utilizado como uma ferramenta de baixo custo para a aquisição de dados em escala, sendo essencial para o monitoramento e gestão de grandes lagos quanto a sua hidrodinâmica e qualidade da água (IOCCG, 2018; MISHRA et al., 2017; GHOLIZADEH et al., 2016; TAVARES et al., 2019; CARREA et al., 2023).

A MODELAGEM MATEMÁTICA DAS BACIAS HIDROGRÁFICAS AFLUENTES E DO LAGO PARANOÁ

Estudos anteriores realizados pela equipe fizeram a modelagem matemática da bacia contribuinte ao Lago Paranoá utilizando o programa SWAT (Soil Water Assessment Tool). O modelo foi calibrado e verificado com dados até 2017.

Com relação à modelagem de bacias, uma das prioridades do Projeto de Pesquisa no aprimoramento dos modelos das bacias afluentes ao lago Paranoá refere-se à bacia hidrográfica do Riacho Fundo, que se caracteriza como uma das unidades hidrográficas mais críticas ao longo de toda a história do Lago Paranoá em termos de contribuição de cargas de sedimentos e nutrientes para o braço do lago (braço do Riacho Fundo) além de receber os efluentes tratados da ETE Sul Caesb.

Em 2025 desenvolveram-se trabalhos com foco em ampliar o entendimento sobre a bacia hidrográfica do ribeirão Riacho Fundo, combinando caracterização ambiental e simulações hidrológicas e de qualidade da água utilizando o modelo SWAT aplicado à interface do QSWAT e do RStudio. Assim, a base de dados do modelo SWAT, gerada em trabalhos de pesquisas anteriores do grupo da UnB, foram atualizadas de 2017 até o ano de 2024.

A metodologia abarcou a estruturação da base

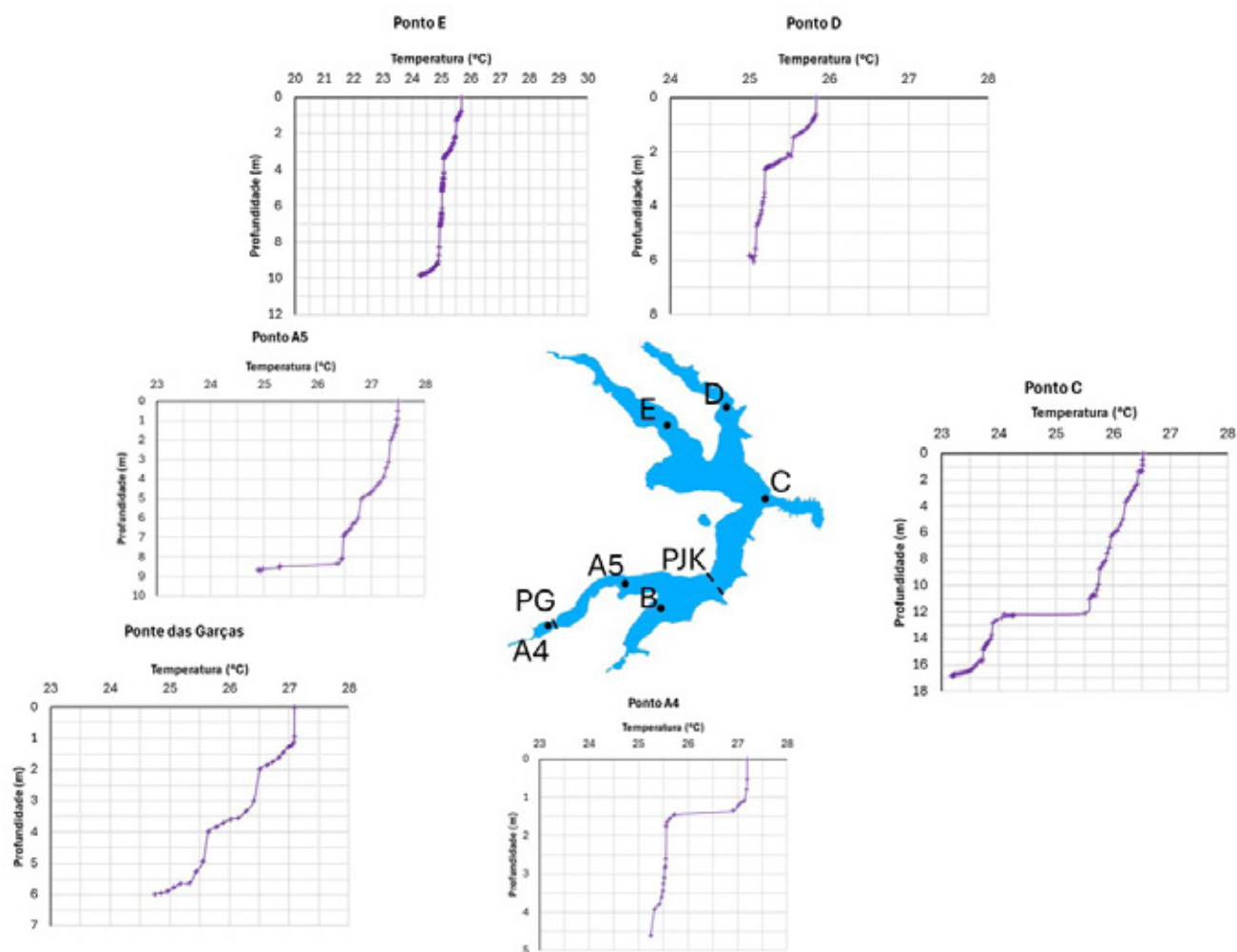


Figura 8. Perfis de temperatura da água no lago Paranod, 12 de dezembro de 2025.

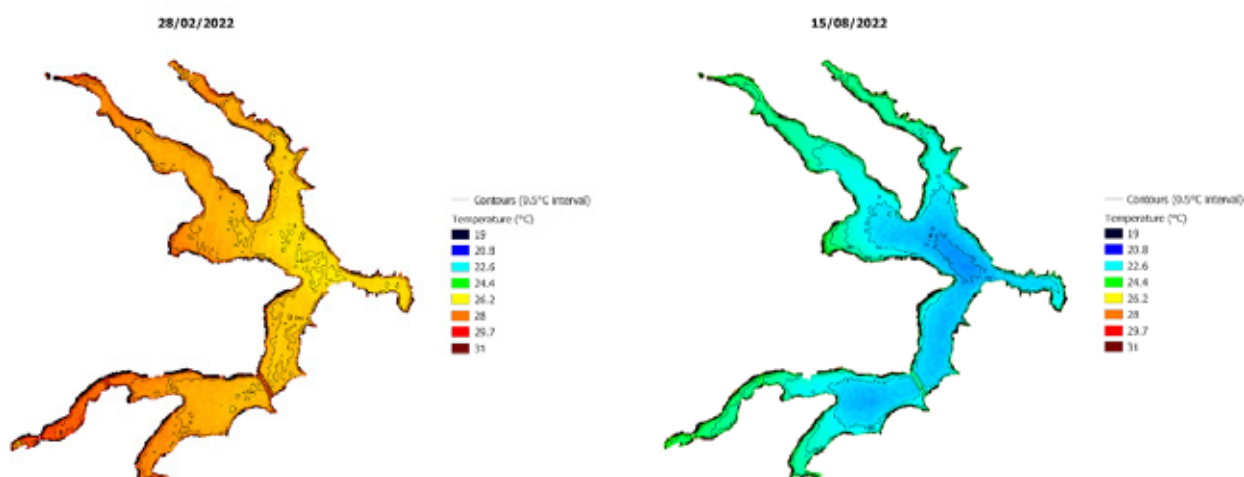


Figura 9. Temperatura superficial da água simulada para os dias a) 28/02/2022 e b) 15/08/2022

de dados, a caracterização da área de estudo, as visitas de campo, a calibração e verificação da vazão, de nitrogênio total (NT) e de fósforo total (PT) do ribeirão Riacho Fundo a partir de dados observados disponíveis, além da construção de cenários com diferentes distribuições de uso e ocupação do solo. Além da organização e análise de consistência dos dados hidrológicos e de qualidade da água, estruturou-se o modelo conceitual e foram desenvolvidas atividades para atualizar e aprimorar a rotina de calibração em linguagem R e a calibração dos parâmetros hidrológicos e de qualidade da água para a referida bacia hidrográfica.

O aprimoramento da rotina de calibração irá contribuir para as etapas de simulação hidrológica por meio do SWAT nas demais bacias hidrográficas afluentes ao lago. Uma vez finalizada essa atualização, será ofertado um minicurso direcionado ao aprofundamento da atividade de calibração hidrológica e qualidade da água do modelo SWAT à equipe da Caesb. Vale ressaltar que foi concluído o primeiro ciclo de treinamento da equipe técnica da Caesb no uso da ferramenta, essencial para estudos de cenarização sobre mudanças no uso e ocupação do solo por novas áreas urbanas na bacia hidrográfica.

A modelagem preliminar do lago com o modelo unidimensional GLM foi realizada, considerando em sua calibração apenas dados de temperatura registrados pela CAESB. Os resultados dessa simulação são mostrados na Figura 10. Paralelamente à simulação 1D, o modelo conceitual e a simulação inicial do Lago Paranoá está sendo realizada também com o modelo hidrodinâmico Delft3D. Os próximos passos contemplarão a atualização do banco de dados e incorporação da série de temperatura derivada por sensoriamento remoto para nova simulação e calibração dos modelos utilizados.

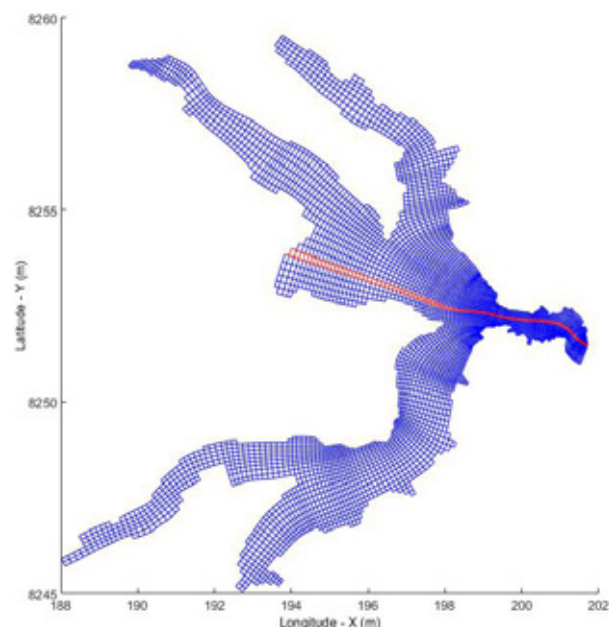


Figura 11. Malha flexível 3D gerada com o programa DELFT3D.

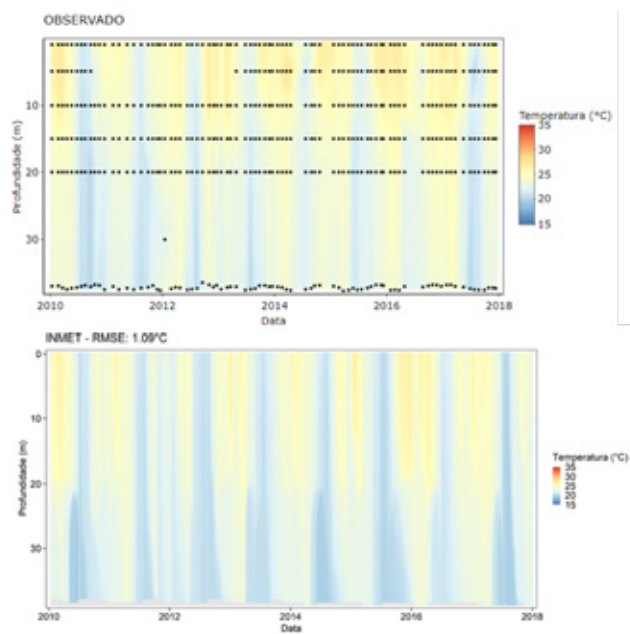


Figura 10. Resultado de modelagem preliminar com modelo hidrodinâmico 1D (GLM).

Testes com a modelagem 3D utilizando o programa DELFT3D foram iniciados com a criação de malhas e simulação preliminar da temperatura do lago, com a inclusão de dados de vento e dos pontos de verificação de temperatura vertical obtidas com o monitoramento nas pontes das Garças e JK (Figura 11).

As atividades de modelagem com o Delft3D concentraram-se no aprimoramento da estrutura necessária para a simulação hidrodinâmica e de qualidade da água do Lago Paranoá, com destaque para i) a configuração da entrada dos dados de vento de forma mais discretizada no domínio do modelo, com campo de vento variável (Figura 12), ou seja, considerando os dados das diferentes estações anemométricas (Figura 13); e ii) a implementação da retirada de água em profundidade para simulação da turbina e vertedouro presentes na barragem do Lago Paranoá (Figura 14).

Por meio de simulações-teste no Delft3D FM e troca de experiências com outros profissionais e especialistas da área no XXVI SBRH, verificou-se que a malha sigma, tipo de malha utilizada para a discretização vertical do modelo do Lago Paranoá, não estava representando satisfatoriamente os períodos e eventos de estratificação do lago, dessa forma, foi implementado outro modelo conceitual para o lago contendo 20 camadas do tipo Z na vertical. Estão sendo realizados testes para averiguar o desempenho do modelo para a representação dos períodos de estratificação.

Adicionalmente, foi implementada a grade de vento no modelo permitindo a inserção de dados de vento variáveis no espaço e no tempo na simulação. Foram adotadas as respectivas áreas de influência (Figura 13) considerando as estações anemométricas mais próximas do lago, provenientes tanto do monitoramento realizado nesse projeto quanto estações operadas por outras instituições. Dessa forma, vale ressaltar que a grade foi implementada levando em conta o número mínimo possível de células necessárias para representação de cada área de influência sem sobreposição de diferentes áreas na mesma célula.

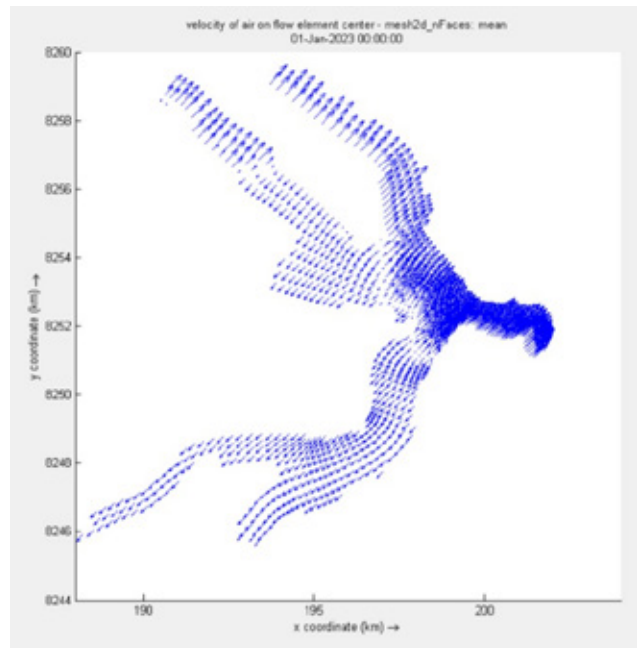


Figura 12. Exemplo de campo de vento variável implementado em simulação-teste com o modelo Delft3D

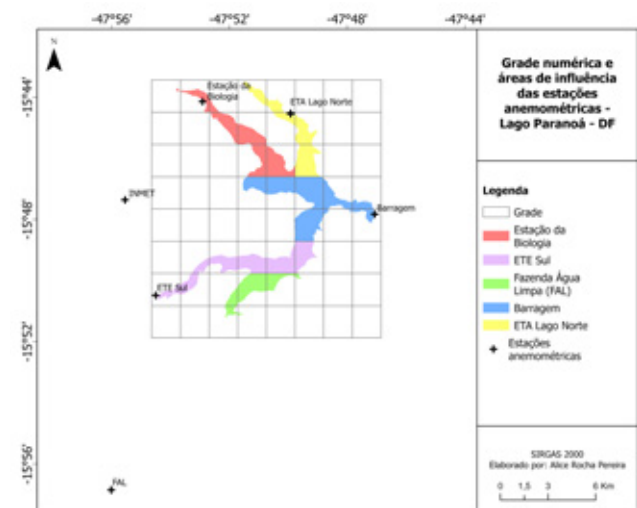


Figura 13. Grade numérica de vento e áreas de influência das estações anemométricas no Lago Paranoá adotadas para simulação com o modelo Delft3D.

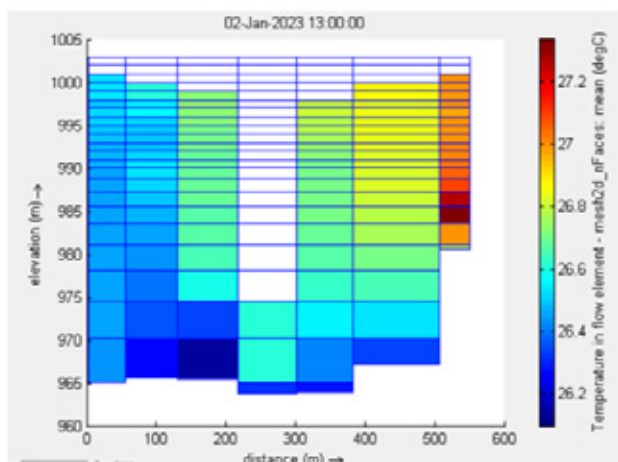


Figura 14. Resultado de simulação-teste com grade Z e retirada de água em profundidade (mínima = 970m e máxima = 975m) no modelo Delft3D

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Atualmente a equipe de pesquisa tem se dedicado à consolidação da base de dados que contribuirá para as etapas de avaliação do Lago Paranoá por meio de sensoriamento remoto e de simulações hidrológicas e de qualidade de água em escala de bacia e do lago. As próximas etapas do projeto incluem prosseguir com (i) o desenvolvimento de métodos e técnicas para o aprimoramento do monitoramento hidrológico e de qualidade da água em rios das bacias afluentes e no Lago Paranoá, (ii) o levantamento e análise dos dados monitorados na estação de monitoramento, (iii) a aquisição e processamento de dados obtidos por Sensoriamento Remoto para análise da qualidade da água do Lago Paranoá; e (iv) a modelagem hidrológica, hidrodinâmica e limnológica.

Com relação à simulação hidrológica e de qualidade da água nas bacias afluentes, as etapas seguintes consistirão na estruturação e calibração do modelo com foco na avaliação de cenários de alteração na cobertura do solo e de mudanças/ oscilações climáticas, considerando modelos previamente elaborados pela equipe da UnB para as bacias em questão. Novas rodadas de cursos de capacitação com foco na elaboração e calibração de modelos deverão ocorrer nos próximos semestres, envolvendo também a equipe da CAESB. A

aquisição e o processamento de dados obtidos por Sensoriamento Remoto subsidiarão o processo de calibração e verificação do modelo 3D hidrodinâmico e de qualidade de água para o Lago Paranoá. Além disso, a continuidade na aquisição de dados de campo irá contribuir para a proposição e calibração de modelos bio-ópticos.

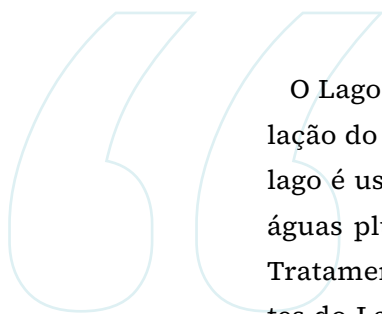
Com relação à previsão de curto prazo de florações de cianobactérias com base em dados físico-químicos monitorados de forma remota e contínua no lago, tanto o desenvolvimento do modelo quanto sua utilização futura, dependem da contratação e instalação das boias com sensores de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e de clorofila ao longo do perfil vertical do lago, em processo de contratação pela CAESB.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- TAVARES, M. H.; CUNHA, A. H. F.; MOTTA-MARQUES, D.; RUHOFF, A. L.; CAVALCANTI, J. R.; FRAGOSO, C. R. Jr.; BRAVO, J. M.; MUNAR, A. M.; FAN, F. M.; RODRIGUES, L. H. R. (2019). Comparison of methods to estimate lake-surface-water temperature using Landsat 7 ETM+ and MODIS imagery: Case study of a large shallow subtropical lake in southern Brazil. *Water*, 11, 168.
- MISHRA, D. R.; OGASHAWARA, I.; GITELSON, A. A. (Eds.) (2017). *Bio-optical Modeling and remote sensing of inland waters*. Elsevier. 316p.
- IOCCG – International Ocean-Colour Coordinating Group (2018). *Earth Observations in Support of Global Water Quality Monitoring*. Greb, S., Dekker, A. and Binding, C. (eds.), IOCCG Report Series, No. 17, International Ocean Colour Coordinating Group, Dartmouth, Canada.
- GHOLIZADEH, M. H.; MELESSE, A. M.; REDDI, L. (2016). A comprehensive review on water quality parameters estimation using remote sensing techniques. *Sensors*, 16, 1298.
- CARREA, L.; CRÉTAUX, JF.; LIU, X. et al. (2023). Satellite-derived multivariate world-wide lake physical variable timeseries for climate studies. *Sci Data*, 10, 30.

Projeto em andamento

Remoção de microcontaminantes e vírus em ETAs E ETEs, com ênfase no uso de carvão ativado e membranas



O Lago Paranoá desempenha um papel fundamental na vida da população do Distrito Federal. Além de ser um local de lazer e paisagismo, o lago é usado para a pesca, para geração de energia hidrelétrica, recebe águas pluviais, e dilui os efluentes sanitários tratados das Estações de Tratamento de Esgoto Brasília Sul e Norte. Um dos usos mais importantes do Lago Paranoá é o abastecimento humano, iniciado em 2017 com a operação da Estação de Tratamento de Água Lago Norte, a qual utiliza membranas de ultrafiltração como processo de separação de impurezas.

Por ser um corpo de água de múltiplos usos, o Lago Paranoá demanda contínua atenção com relação à qualidade da sua água. Embora poucos, os estudos existentes mostram a presença de microcontaminantes emergentes na água do Lago Paranoá, merecendo destaque a presença de PFAS, conhecidos como “poluentes eternos”, (PFOA e PFOS), Bisfenol A e hormônios, considerados perturbadores do sistema endócrino.

Nesse contexto, o projeto de PDI intitulado “Remoção de Microcontaminantes e Vírus em ETAs e ETEs, com Ênfase no uso de Carvão Ativado e Membranas” tem como objetivo avaliar a aplicabilidade da adoção da adsorção em carvão ativado ou da separação em membranas de ultrafiltração e nanofiltração como etapas de tratamento a serem integradas na ETA Lago Norte e ETEs Brasília Norte e Sul, visando aperfeiçoar a remoção de vírus e de microcontaminantes. Assim, o projeto poderá contribuir com a preservação da qualidade da água do Lago Paranoá e a saúde da população do DF.

Por se tratar de pesquisa inovadora, e por se tratar de trabalho experimental, os desafios são grandes. Continuamente a equipe é confrontada com a necessidade do estabelecimento e aprimoramento de rotinas analíticas e procedimentos experimentais, além da montagem da infraestrutura necessária.

A detecção e quantificação dos microcontaminantes alvo da pesquisa é realizada usando a técnica de cromatografia líquida seguida de espectrometria de massas tandem (LC-MS/MS). Há, portanto, grande depen-

dência de um equipamento, um espectrômetro de massas que, pela idade, é exigente quanto a sua manutenção, necessitando recursos vultosos e tempo para realização de reparos em função de importação de peças. Isso tem impactado o cronograma da pesquisa.

As questões burocráticas relativas à forma de repasse de recursos e dinâmica de aquisição de insumos, maioria deles não fabricados no Brasil, e de serviços, também tem se configurado como um desafio para a celeridade da execução do projeto.

Apesar dos desafios do dia a dia para o desenvolvimento do trabalho, a importância do projeto e oportunidade de estar desenvolvendo esse projeto pioneiro em parceria com a Caesb é a força motriz que motiva e empolga a equipe da UnB. Acreditamos que os resultados do projeto, se transformados em ação no futuro, beneficiarão a população do DF e servirá de exemplo para outras companhias de saneamento.”



Cristina Celia Silveira Brandão é professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB desde 1993 e professora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos desde sua criação, em 1995. Engenheira química formada pela UFBA, mestre em Engenharia Química pela COPPE-UFRJ e PhD pelo Imperial College London.

Participar deste projeto de pesquisa é uma honra e reforça o nosso compromisso com a inovação no saneamento. A legislação brasileira, seja no que se refere à qualidade da água para consumo humano, seja aos padrões de lançamento de efluentes ou à classificação de águas superficiais, ainda não estabelece limites máximos para microcontaminantes emergentes. Nesse contexto, este projeto evidencia nosso compromisso com os novos desafios do saneamento, atuando de forma proativa e antecipando-se às demandas regulatórias e técnicas que se desenham.

O projeto completou dois anos com excelentes resultados, que, sem dúvida, servirão de referência para a CAESB e para outras empresas de saneamento no aprimoramento e na modernização de suas Estações de Tratamento de Água. A partir desses avanços, já foram produzidos diversos artigos científicos e uma dissertação de mestrado.

Embora ainda existam desafios a serem superados para o encerramento do projeto, estou confiante de que serão superados graças à dedicação e competência da equipe responsável pela condução dos trabalhos.



Claudia Patrícia P. Simões é graduada em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia, com especialização em Saneamento Ambiental e mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília. Atualmente, é gerente de Planejamento e Gestão do Desempenho Operacional na Caesb, onde trabalha há mais de 19 anos. Tem experiência em pesquisa e desenvolvimento de produtos, análises laboratoriais, ensaios em alimentos, meio ambiente, e indústria de bebidas.

O projeto visa a preparação da Caesb para os desafios futuros do abastecimento de água e reforça a tradição da Companhia de ser uma empresa inovadora, com visão estratégica e preparada para atender com excelência a população do Distrito Federal.”



Diogo Gebrim, superintendente de Produção de Água da Caesb

Remoção de microcontaminantes e vírus em ETAs e ETEs, com ênfase no uso de carvão ativados e membranas

Convênio nº 3/2024

Desafio Desenvolvimento de métodos avançados para remoção de microcontaminantes e vírus em ETAs e ETEs com avaliação da eficiência e da viabilidade técnica e econômica, visando a segurança da água.

Objetivo Avaliar a aplicabilidade da adoção da adsorção em carvão ativado ou da separação em membranas de ultrafiltração e nanofiltração como etapas de tratamento a serem integradas na ETA Lago Norte e ETEs Brasília Norte e Sul com objetivo de aperfeiçoar a remoção de vírus e de microcontaminantes.



Investimento
R\$ 2.075.128,28



Proponente
UnB



Contrapartida Caesb
R\$ 730.126,68



Interveniente
Finatec



Duração
48 meses



Conclusão
Fevereiro/2028

Remoção de microcontaminantes e vírus em ETAs e ETEs, com ênfase no uso de carvão ativados e membranas

Cristina Celia Silveira Brandão, Yovanka Pérez Ginoris, Ariuska Karla Barbosa Amorim
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos,
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Tecnologia - Universidade de Brasília

RESUMO

Este projeto de pesquisa tem como o objetivo avaliar a aplicabilidade da adoção da adsorção em carvão ativado ou da separação em membranas de ultrafiltração e nanofiltração como etapas de tratamento a serem integradas na ETA Lago Norte e ETEs Brasília Norte e Sul, visando aperfeiçoar a remoção de vírus e de microcontaminantes emergentes, além de investigar preliminarmente a remoção de microplásticos na ETE Brasília Norte. O projeto tem duração prevista de 48 meses e envolve nove diferentes metas. No presente momento, mês 24, já foram obtidos resultados com relação a remoção de PFAS e BPA tanto por adsorção em carvão ativado, como por separação em membranas de nanofiltração em escala de bancada. Também já foi concluída a validação do método de quantificação de microplásticos e sua aplicação na ETE Brasília Norte.

Palavras-chave: microcontaminantes emergentes; vírus; microplásticos; separação em membranas; adsorção em carvão ativado

INTRODUÇÃO

Contaminantes de preocupação emergente, mais popularmente referenciados como (micro)contaminantes emergentes ou (micro)poluentes emergentes, abrange os agentes biológicos e diferentes grupo substâncias - incluindo produtos farmacêuticos, produtos de higiene pessoal, produtos químicos industriais e nanomateriais (Figura 1). Tais contaminantes se caracterizam por estarem presentes em todos os compartimentos ambientais, incluindo a água, geralmente em concentrações da ordem de $\mu\text{g/L}$ ou ng/L , e ainda não são amplamente regulamentados.

Muitas das substâncias químicas consideradas contaminantes emergentes persistem no ambiente e bioacumulam na cadeia alimentar, representando riscos potenciais tanto para os ecossistemas quanto para a saúde humana. Os riscos associados a essas diversas substâncias químicas ainda não são totalmente compreendidos, entretanto a preocupação crescente de cientistas, de agentes públicos, e da sociedade em geral, tem gerado avanços importantes tanto no desenvolvimento de técnicas analíticas, como de estudos toxicológicos e ecotoxicológicos. Entre os microrganismos, os vírus são os mais propensos a se tornarem patógenos emergentes, pois podem infectar seus hospedeiros e se adaptar a novos ambientes por meio de mutação, recombinação genética e rearranjo [1].

Perturbadores Endócrinos	Exemplos: Bisphenol A (BPA), dioxinas, PCBs, ftalatos, alquilfenóis, alguns pesticidas, hormônios, etc.	Nanopartículas	Exemplos: partículas variando de 1 a 100 nm, nanotubos de carbono, grafeno, nanopartículas metálicas e nanofibras cerâmicas, etc.
Substâncias per e polifluoralquiladas	Exemplos: Ácido perfluorooctanoico (PFOA), GenX, Ácido perfluorooctano sulfônico (PFOS), Ácido perfluorobutano sulfônico (PFBS), etc.	Produtos químicos industriais e subprodutos	Exemplos: metais pesados, fibras de asbestos retardantes de chama bromados, clorofluorcarbonos, COV, nitrosaminas, etc.
Microplásticos	Exemplos: partículas plásticas < 5 mm, se originam da quebra de detritos plásticos, microfibras, filmes, microesferas, etc.	Fármacos e produtos de higiene pessoal	Exemplos: antidepressivos (Fluoxetina, Sertralina, Citalopram), antibióticos (Ciprofloxacina, Eritromicina), Antiepilépticos (Carbamazepina), etc.

Figura 1. Tipos e exemplos de contaminantes emergentes (Li et al, 2024 [1]-modificado)

Já com relação aos microplásticos (MPs), a toxicidade potencial acontece por três vias: estresse de ingestão (bloqueio físico, gasto de energia para ingestão, etc); liberação de aditivos químicos presentes na composição dos plásticos (plastificantes, antioxidantes, estabilizadores de UV, lubrificantes, corantes e retardadores de chamas): e, exposição a contaminantes adsorvidos nos MPs, como poluentes orgânicos persistentes, metais pesados, microrganismos patogênicos, que posteriormente podem ser liberados no meio ambiente [2] [3] [4].

As fontes de contaminação ambiental pelos contaminantes emergentes são variadas, podem ser tanto pontuais como difusas, como por exemplo: escoamento agrícola e águas pluvias urbanas e emissões, direta ou indireta, de resíduos industriais e domésticos, líquidos, sólidos e gasosos. Quando se trata de águas superficiais, o lançamento de efluentes industriais e domésticos, tratados ou não, tem sido considerado como importante via da contaminação [5] [6] [7].

A literatura científica indica que os tratamentos biológicos de esgotos e tratamento convencionais de água para consumo humano apresentam eficiência limitada na remoção dos contaminantes emergentes químicos. Dessa forma para a remoção desses contaminantes se faz necessário o uso de processos específicos (também chamados de avançados), como separação em membranas de nanofiltração e osmose inversa, processos oxidativos avançados, e tratamentos baseados em adsorção [1] [8] [9] [10].

O Lago Paranoá desempenha um papel fundamental na vida da população do Distrito Federal. Além de ser um local de lazer e paisagismo, o lago é usado para a pesca, para geração de energia hidrelétrica, recebe águas pluviais, e dilui os efluentes sanitários tratados das Estações de Tratamento de Esgoto Brasília Sul e Norte. Um dos usos mais importantes do Lago Paranoá é o abastecimento humano, iniciado em 2017 com a operação da Estação de Tratamento de Água Lago Norte, a qual utiliza membranas de ultrafiltração como processo de separação de impurezas.

Por ser um corpo de água de múltiplos usos, o Lago Paranoá demanda contínua atenção com relação à qualidade da sua água. Embora poucos, os estudos existentes mostram a presença de microcontaminantes emergentes na água do Lago Paranoá, merecendo destaque a presença de PFAS (PFOA e PFOS), BFA e hormônios, esses últimos também encontrados na água ultrafiltrada da ETA Lago Norte [11] [12] [13].

De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS [14], com a Agência Europeia do Ambiente-EEA [15], com a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos-USEPA [16], a exposição a PFAS pode levar a uma série de problemas de saúde. Entre esses problemas encontram-se doenças hepáticas e renais, impactos na fertilidade e no desenvolvimento fetal, enfraquecimento do sistema imunológico, distúrbios da tireoide, obesidade, câncer, aumento do colesterol, e problemas de desenvolvimento. Com base em evidências de

câncer em humanos (renais e testiculares) e em animais experimentais, o Instituto Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC), classifica o PFOA como cancerígeno para seres humanos (Grupo 1) e o PFOS possivelmente cancerígeno para os seres humanos (Grupo 2B) [17].

Já com relação aos perturbadores endócrinos, entre eles Bisfenol A e 17β Estradiol, os danos provocados nos seres humanos, não estão ainda claramente definidos, mas alguns efeitos prováveis são: redução de fertilidade, aumento da incidência de câncer de testículos, próstata e mama, distúrbios de desenvolvimento e comportamentais [19] [20]. A IARC ainda não classificou o Bisfenol A, mas um relatório de um grupo de assessoramento

recomendou que seja feita uma revisão para classificação em função de vários estudos sobre a carcinogenicidade desse composto [20]. O Programa Nacional de Toxicologia dos Estados Unidos listou os estrogênios como substâncias conhecidas como carcinogênicas para humanos no seu 10º relatório sobre avaliação de substâncias carcinogênicas, em 2002 [21].

As iniciativas de regulamentação dos microcontaminantes emergentes destacados são recentes e algumas delas estão resumidas na Tabela 1. No Brasil, como em grande parte do mundo, a regulamentação de microcontaminantes emergentes ainda está em fase de discussão, mas vale destacar o Projeto de Lei 2726/2023, que propõe instituir a

Tabela 1 Exemplos de limites regulatórios para água de consumo humano

	PAÍS	ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO	REFERÊNCIA
PFAS	EUA (MCLa)	PFOA = 4ng/L PFOS = 4ng/L PFHxS = 10 ng/L PFNA = 10 ng/L HFPO-DA (GenX) = 10 ng/L Misturas com 2 ou mais entre PFHxS, PFNA, HFPO-DA, e PFBS deve atender o “Hazard Index (HI) ^b ” = 1	USEPA (2024) [22]
	União Europeia	PFAS (Σ todos) = 500 ng/L PFAS (Σ 20 específicos) = 100 ng/L	Parlamento Europeu (2020) [23]
	Austrália	PFOS + PFHxS = 70 ng/L PFOA = 560 ng/L	Departamento de Saúde (2022) ^c [24]
BPA e Estradiol	União Europeia	Bisfenol A (BPA) = 2,5 µg/L	Parlamento Europeu (2020) [23]
		17β Estradiol = 300 ng/L	SCHEER (2022) ^d [25]
	EUA	Bisfenol A (BPA) – CCL ^e 5	USEPA (2022) [26]
		17β Estradiol – CCL ^e 4	USEPA (2016) [26]

Notas:

- MCL (Maximum Contaminant Level)- Valor máximo permitido do contaminante
- $HI\ MCL = \left(\frac{[HFPO-DA_{water}]}{[10\ ppt]} \right) + \left(\frac{[PFBS_{water}]}{[2000\ ppt]} \right) + \left(\frac{[PFNA_{water}]}{[10\ ppt]} \right) + \left(\frac{[PFHxS_{water}]}{[10\ ppt]} \right) = 1$
- Sob revisão, propondo limites mais rígidos [27]
- Recomendação
- CCL (Contaminant Candidate List) – Lista de contaminantes candidados par regulação

política nacional de controle dos PFAS, que inclui como parte da política “monitorar e controlar as fontes de emissão de PFAS no meio ambiente” e “estabelecer limites de concentração de PFAS em águas, solos e alimentos”, e está em tramitação avançada no Congresso Nacional.

Apesar da ampla cobertura dos sistemas de tratamento de água e de tratamento de esgoto no Distrito Federal, uma comparação entre as tecnologias empregadas nas ETAs e ETEs operadas pela Caesb e os estudos descritos na literatura científica revela que essas tecnologias apresentam eficiência limitada quando se trata da remoção de microcontaminantes emergentes. Assim, considerando (i) a presença já constatada de BPA e PFAS - especificamente PFOS e PFOA - nas águas do Lago Paranoá, que é ao mesmo tempo corpo receptor de efluentes de ETEs e manancial de abastecimento, (ii) os indícios da presença de BPA e hormônios na água ultrafiltrada, e (iii) a influência da matriz (água ou esgoto) e dos parâmetros operacionais na aplicabilidade de técnicas avançadas, a presente pesquisa propõe a hipótese de “que o uso das técnicas de adsorção em carvão ativado e de nanofiltração podem ser integradas à ETA Lago Norte e às ETEs Brasília Sul e Norte com o objetivo de proteger o Lago Paranoá e a saúde humana com relação a microcontaminantes específicos”.

Embora o principal foco da pesquisa seja a remoção de PFAS (PFOA e PFOS), BPA e estradiol, também será avaliada a eficiência da ultrafiltração, como parte do sistema MBR (bioreatores com membranas), na remoção de vírus. Essa avaliação busca contribuir para a melhoria geral da qualidade dos efluentes das ETEs Brasília Sul e Norte, visando o atendimento de parâmetros mais restritivos de lançamento no Lago Paranoá.

Além disso, considerando que a pesquisa fortalecerá ainda mais a cooperação já existente entre os técnicos da Caesb e os pesquisadores da UnB,

pretende-se realizar uma avaliação preliminar da capacidade das ETEs Brasília Sul e Norte na remoção de microplásticos (MP).

OBJETIVOS E METAS

Avaliar a aplicabilidade da adoção da adsorção em carvão ativado ou da separação em membranas de ultrafiltração e nanofiltração como etapas de tratamento a serem integradas na ETA Lago Norte e ETEs Brasília Norte e Sul com objetivo de aperfeiçoar a remoção de vírus e de microcontaminantes, de acordo com os objetivos específicos descritos a seguir.

Objetivos específicos

- (1) Avaliar o desempenho operacional e a remoção de BPA, PFOA, PFOS e Estradiol com uso do carvão ativado e de membranas de nanofiltração integradas ao tratamento da ETA Lago Norte;
- (2) Avaliar desempenho operacional e a remoção de BPA, PFOA, PFOS por meio de membranas de nanofiltração como pós-tratamento das ETEs Brasília Norte e Sul;
- (3) Avaliar o impacto do uso da UF submersa, em sistema de MBR, sobre a eficiência de remoção de patógenos (incluindo vírus) e sobre qualidade do efluente secundário das ETEs Norte e Sul.
- (4) Avaliar de forma preliminar a remoção de microplásticos (MPs) nas ETEs Norte e Sul.

Para atender aos objetivos da pesquisa, na Tabela 2 são apresentadas as metas propostas. Cada meta proposta envolve diferentes atividades para viabilizar sua consecução.

Tabela 2. Metas propostas para atender os objetivos

	DESCRIÇÃO DA META
META 1	Detalhar procedimentos experimentais e instalações piloto para o desenvolvimento da pesquisa

META 2	Implementar e validar métodos analíticos para quantificação dos microcontaminantes alvo (BPA, PFOA, PFOS e hormônios), de vírus e de MPs.
META 3	Realizar experimentos de adsorção em carvões ativados voltados para remoção dos microcontaminantes alvo no tratamento de água para consumo humano.
META 4	Realizar experimentos com membranas de nanofiltração voltados para remoção dos microcontaminantes alvo para o pós tratamento de água para consumo humano.
META 5	Realizar experimentos com membranas de nanofiltração voltados para remoção dos microcontaminantes alvo para o pós tratamento de esgotos domésticos.
META 6	Avaliar metodologias de quantificação de microplásticos no esgoto e aplicar a metodologia para avaliação da remoção de microplásticos em ETEs.
META 7	Realizar experimentos para avaliar uso de membranas de UF submersa, no sistema MBR, no tratamento aeróbio de esgotos domésticos
META 8	Realizar avaliação preliminar da aplicabilidade das tecnologias no contexto das ETAs e ETEs objeto de estudo (ETA Lago Norte, ETEs Brasília Norte Sul) considerando aspectos operacionais e de custos
META 9	Produção de relatório final

METODOLOGIA

O projeto foi iniciado em fevereiro 2024 e tem como prazo de execução 48 meses. A metodologia adotada depende da meta e dos processos avaliados, como descrito nos itens que se seguem. Vale comentar que a metodologia proposta originalmente tem sido adaptada à luz dos resultados alcançados. Sem alterar os objetivos do projeto, as adaptações visam ampliar e aprimorar o estudo proposto para fornecer à Caesb e ao Distrito Federal resultados mais consistentes.

Meta 1 - Detalhar procedimentos experimentais e instalações piloto para o desenvolvimento da pesquisa

A Meta 1 teve como objetivo preparar as condições para o desenvolvimento do trabalho. Essa meta, embora majoritariamente realizada nos primeiros 6 meses de projeto, é constantemente revisitada durante a execução do projeto. Seis atividades foram previstas como parte da Meta 1, sendo 3 delas voltadas para aquisição e insumos e aquisição e manutenção de equipamentos. As 3 metas técnicas são mostradas na Tabela 3.

Tabela 3 – Atividades técnicas previstas para a Meta 1

ATIVIDADE	FORMA DE EXECUÇÃO
Seleção dos métodos analíticos para microcontaminantes alvo do estudo (PFAS, BPAe Estradiol)	Revisão de literatura tomando como base artigos científicos, teses, dissertações e normas internacionais (USEPA, ASTM, etc)
Seleção dos métodos de quantificação de MPs em esgoto	
Detalhamento da instalação piloto de MBR	

Meta 2 - Implementar e validar métodos analíticos para quantificação dos microcontaminantes alvo (BPA, PFOA, PFOS e hormônios), de vírus e de microplásticos.

Como o próprio nome indica, os diferentes métodos selecionados na Meta 1 foram avaliados, substituídos e/ou otimizados, de modo garantir a qualidade dos dados a serem produzidos durante a realização dos experimentos previstos. A Tabela 4 apresenta os princípios dos métodos que vem sendo utilizados.

Tabela 4 – Princípios dos métodos de quantificação

CONTAMINANTE ALVO	PRINCÍPIO DO MÉTODO
PFAS (PFOA, PFOS, PFHxA, PFHxS, PFBA e PFBS) e perturbadores endócrinos (Bisfenol A – BPA e Estradiol – E2)	Cromatografia líquida seguida de espectrometria de massas Tandem (LC-MS/MS)
Microplásticos em esgoto	Separação gravimétrica seguida de digestão e extração, com quantificação em microscópio.
Vírus	PCR (Reação em Cadeia da Polimerase) quantitativa em tempo real.

Para a validação de métodos analíticos dos contaminantes químicos está sendo utilizada a 3ª edição (2025) do guia Eurachem de validação de métodos analíticos, avaliando-se linearidade, limite

de detecção (LOD), limite de quantificação (LOQ), faixa de trabalho, seletividade, viés e robustez.

Meta 3 - Realizar experimentos de adsorção em carvões ativados voltados para remoção de microcontaminantes alvo no tratamento de água para consumo humano.

Os experimentos para remoção dos microcontaminantes em carvão ativado estão realizados em (i) matriz água ultrapura, com objetivo e entender o comportamento dos carvões e seus mecanismos de remoção, e (ii) matriz água ultrafiltrada, para compreender a influência de substância presentes na água ultrafiltrada da ETA Lago Norte e permitir a avaliação da sua aplicabilidade em escala real. A rotina experimental, independentemente da matriz, segue os passos da Figura 2.

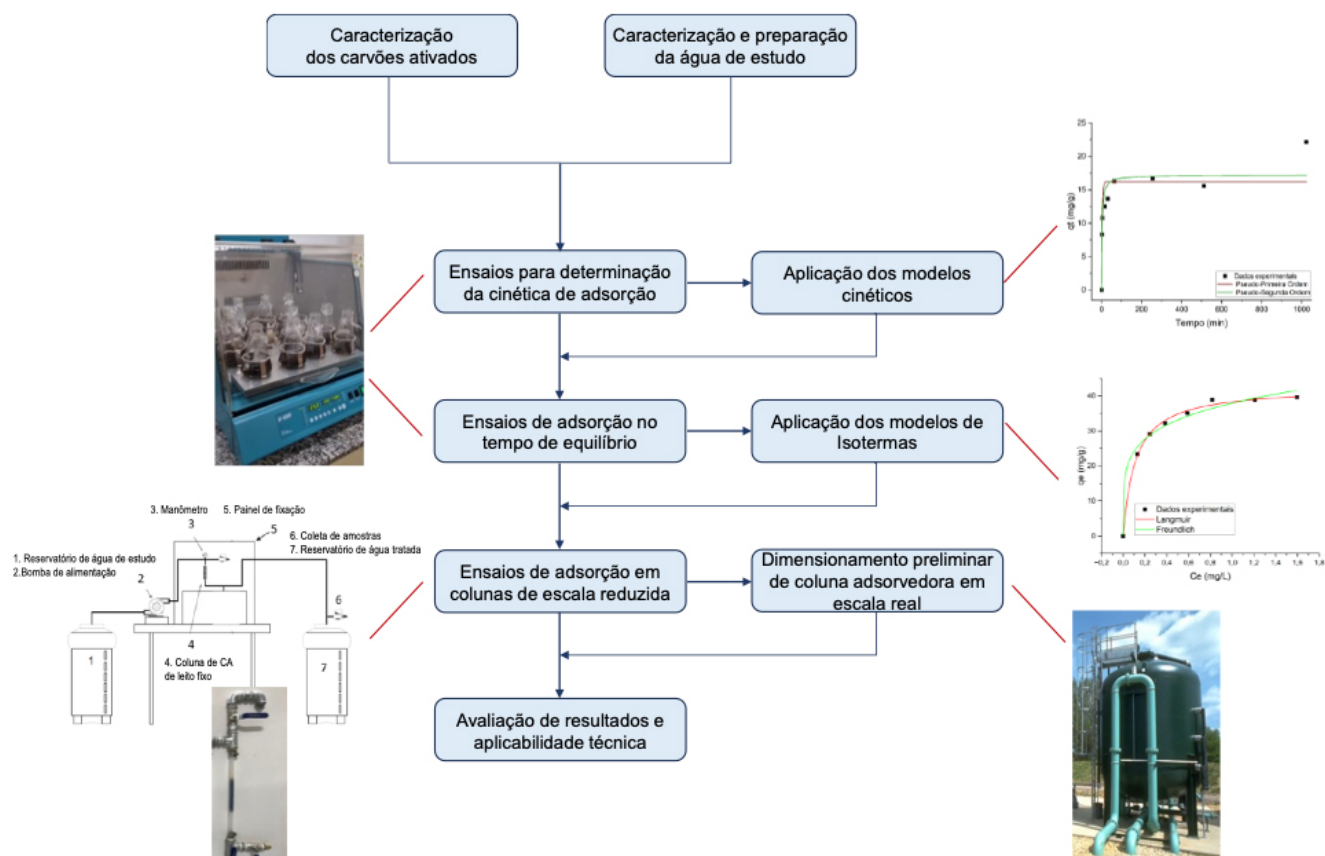


Figura 2. Fluxograma simplificado da rotina dos experimentos com carvão ativado

Os carvões estão sendo caracterizados por meio da determinação do número de iodo, pH do ponto de carga zero, análise de Boehm (grupos ácidos e básicos) e caracterização textural BET (área superficial e distribuição e volume de poros). A água ultrafiltrada será caracterizada em relação a alcalinidade, condutividade elétrica/sólidos totais dissolvidos, cálcio e magnésio, matéria orgânica natural, valor de pH e turbidez.

As águas de estudo que vem sendo utilizadas nos ensaios, independente da matriz, são enriquecidas com os microcontaminantes alvo, com PFAS com diferentes tamanhos de cadeia de carbono (PFOA, PFOS, PFHxA, PFHxS, PFBA e PFBS) ou perturbadores endócrinos (BPA e Estradiol) em concentrações definidas a partir dos limites de quantificação dos métodos analíticos.

A quantificação dos microcontaminantes alvo nas águas de estudo e nas águas tratadas é realizada por meio de cromatografia líquida seguida de espectrometria de massas Tandem (LC-MS/MS),

seguindo rotinas específicas implementadas para cada contaminante (Meta 2).

Meta 4 - Realizar experimentos com membranas de nanofiltração voltados para remoção dos microcontaminantes alvo para o pós-tratamento de água para consumo humano

A avaliação da nanofiltração como pós-tratamento na ETA Lago Norte envolve duas escalas experimentais, escala de bancada e escala piloto, seguindo os passos da Figura 3.

Os estudos em escala de bancada, que vem sendo realizados com diferentes membranas planas (fabricantes e massas molares de corte) com área de 140 cm², tem como objetivo avaliar a eficiência de remoção dos microcontaminantes alvo, a influência da matriz (água ultrapura e água ultrafiltrada) e do pH da água, além da pressão de operação. Pelo menos uma das membranas testadas na escala de bancada será selecionada para realização dos experimentos em escala piloto com água ultrafiltrada

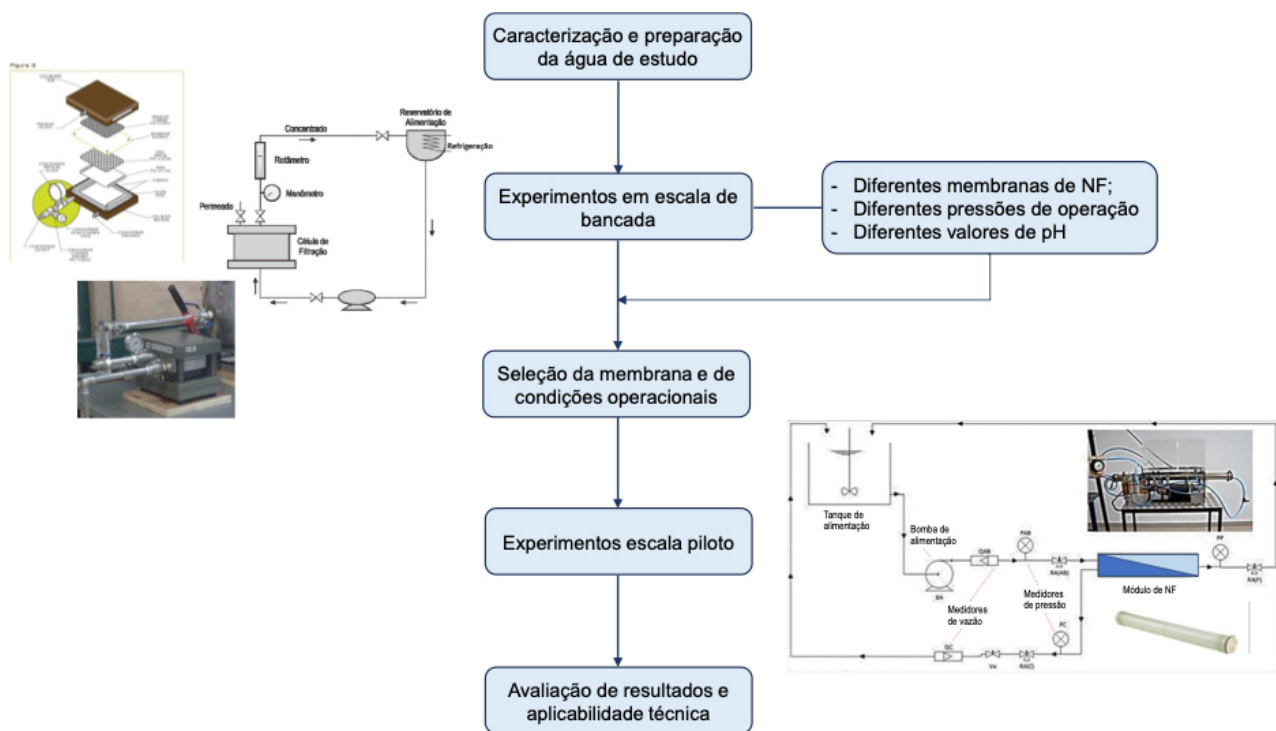


Figura 3. Fluxograma simplificado da rotina dos experimentos de nanofiltração

da da ETA Lago Norte. A instalação piloto utiliza módulos comerciais de membranas planas enroladas em espiral com área de 6,2 m². Nesses experimentos a ênfase é na obtenção dos parâmetros operacionais como fluxo, recuperação, obstrução, entre outros, que permitirão uma análise técnica da aplicabilidade da membrana em escala real.

Os métodos de quantificação dos microcontaminantes, assim como a preparação as águas de estudos, são similares ao descrito na Meta 3.

Meta 5 - Realizar experimentos com membranas de nanofiltração voltados para remoção dos microcontaminantes alvo para o pós-tratamento de esgotos domésticos.

A condução dos experimentos de nanofiltração com a matriz esgoto tratado da ETE Brasília Norte seguirá basicamente as mesmas rotinas e utilizará as mesmas instalações descritas na Meta 4 (ver Figura 3). A complexidade do efluente final da ETE, em comparação com a água ultrafiltrada da ETA Lago Norte, deve influenciar de forma significativa os resultados do processo de nanofiltração, particularmente com relação aos aspectos operacionais e vida útil das membranas.

Meta 6 - Avaliar metodologias de quantificação de microplásticos (MPs) no esgoto e aplicar a metodologia para avaliação da remoção de microplásticos em ETEs.

Por tratar-se de um tema relativamente novo, e considerando a ampla faixa de tamanho e tipos dos microplásticos, não existe padronização para a quantificação desses materiais. Dessa forma, a execução dessa meta se iniciou pela identificação dos métodos mais promissores para a avaliação de microplásticos no esgoto, tendo como foco a viabilidade de execução, a facilidade de reprodução, o tempo hábil de execução e a eficiência. Para a validação do método faz-se necessários o uso de materiais de referência a partir de diferentes matérias plásticas (PET, PEAD, PEBD, PVC, PP e PS), sua caracterização e procedimentos de extração. O método selecionado foi usado para avaliação preliminar da remoção de microplásticos em diferentes etapas do processo de tratamento de ETE Brasília Norte. A Figura 4 resume as principais etapas metodológicas.



Figura 4. Fluxograma simplificado do desenvolvimento da Meta 6 (Aquino, 2024-modificado [28])

Meta 7 - Realizar experimentos para avaliar uso de membranas de UF submersa, no sistema MBR, no tratamento aeróbio de esgotos domésticos

Para realização dos experimentos, deverá ser montada uma unidade piloto de ultrafiltração submersa (UFS-MBR) (Figura 5), usando um módulo Mencor® B40N, 300mm, com área de 5.5 m² e tamanho de poro de 0,04 µm.

Inicialmente a unidade UFS será operada apenas com água limpa enriquecida com vírus MS2 para ser avaliada a capacidade de remoção de vírus pela membrana limpa (situação mais crítica), e o efeito do fluxo sobre essa remoção. Posteriormente, a piloto de UFS-MBR será alimentada com o efluente do reator de lodos ativados da ETE Brasília Norte. Nesses experimentos será avaliada a remoção de um vírus presente no esgoto, usando a técnica de PCR quantitativo em tempo real, além do efeito do fouling sobre fluxo e limpeza da membrana. Além do vírus, outros parâmetros de qualidade do esgoto serão avaliados (DQO, nutrientes, coliformes, etc), além de

se proceder uma comparação entre o efluente produzido na instalação piloto de UFS-MBR e no decantador secundário da ETEB Norte.

Meta 8 - Realizar avaliação preliminar da aplicabilidade das tecnologias no contexto das ETAs e ETes objeto de estudo (ETA Lago Norte, ETes Brasília Norte Sul) considerando aspectos operacionais e de custos

Para execução dessa Meta, inicialmente será realizado um levantamento na literatura dos métodos mais promissores de avaliação de custos para tecnologias avançadas. Para identificar qual dos métodos deve ser usado para avaliação da aplicabilidade e custos, serão realizadas reuniões com diferentes equipes da Caesb, considerando as especificidades das estações de tratamento da Caesb.

RESULTADOS INICIAIS E PERSPECTIVAS

Nos primeiros 24 meses de execução, o projeto foi marcado por atividades preparatórias essenciais, como a revisão bibliográfica continuada, detalhamento de rotinas e aparatos experimen-

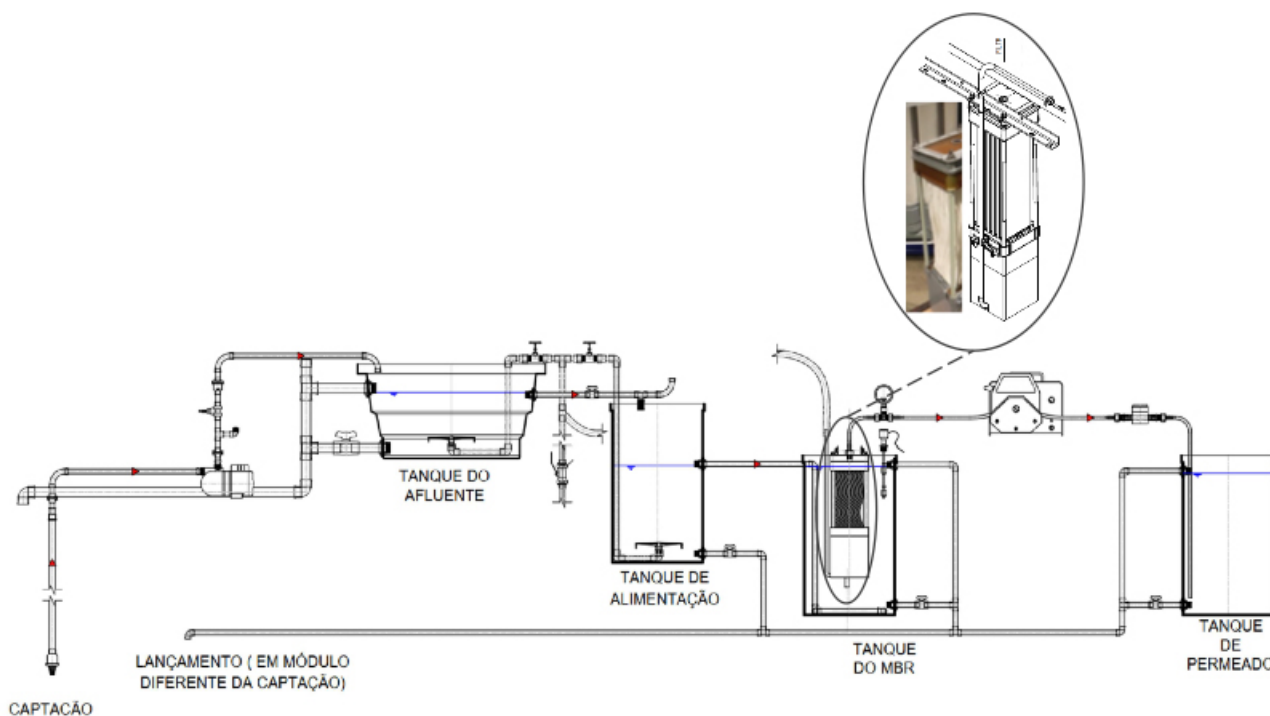


Figura 5. Esquema de montagem da instalação piloto de UFS-MBR.

tais, montagem dos aparatos experimentais e ensaios em escala de bancada. Os ensaios em escala de bancada são fundamentais para entender o comportamento dos processos de tratamento com relação à remoção dos contaminantes alvo e fornecer subsídios e parâmetros para os ensaios em escala de piloto. Assim, foram realizados ensaios de adsorção em carvão ativado, tanto pulverizado como granular, experimentos de separação por membranas de nanofiltração, além do contínuo aprimoramento das rotinas analíticas para a identificação e quantificação PFAS, estradiol e bisfenol A. Nesse período foi também desenvolvida e testada rotina para quantificação de microplásticos no esgoto. Os principais resultados obtidos até o momento encontram-se resumidos na Tabela 5.

Tabela 5 – Principais resultados iniciais obtido nos primeiros 15 meses do projeto.

Métodos de identificação e quantificação de microcontaminantes	
Para quantificação de bisfenol A (BPA) e estradiol (E2), foram avaliadas duas rotinas: (1) “HPLC-fluorescence detection and adsorption of bisphenol A, 17β-estradiol, and 17α-ethynyl estradiol on powdered activated carbon”, proposta por Yoon et al. (2003); e (2) um método que compatibiliza a rotina descrita pela ASTM para bisfenol A (Standard Test Method for Determination of Bisphenol A in Environmental Waters by Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry, D7574/2023) com a rotina descrita pela USEPA para hormônios (Determination of Hormones in Drinking Water by Solid Phase Extraction (SPE) and Liquid Chromatography Electrospray Ionization Tandem Mass Spectrometry (LC-ESI-MS/MS), 539/2010).	- A implementação do método proposto por Yoon et al. (2003) usando HPLC para a quantificação conjunta de BPA e E2 não foi bem-sucedida devido às limitações no equipamento disponível. Por outro lado, o método desenvolvido com base nas rotinas da ASTM e da USEPA, utilizando LC-MS/MS, apresentou consistência e está em fase de validação. - Para quantificação de PFAS também foram avaliadas duas rotinas: (1) “Standard Test Method for Determination of Per- and Polyfluoroalkyl Substances in Water, Sludge, Influent, Effluent, and Wastewater by Liquid Chromatography Tandem Mass Spectrometry (LC/MS/MS)”, proposta pela ASTM (D7979/2020); e (2) “Determination of Selected Per- and Polyfluorinated Alkyl Substances in Drinking Water by Solid Phase Extraction and Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry (LC/MS/MS)”, proposta pela USEPA (537.1/2018). - O método analítico implementado para PFAS baseado na rotina da ASTM apresentou problemas de perda de sinal e de reprodutibilidade. Em contrapartida, o método fundamentado na rotina da USEPA se mostrou estável e com reprodutibilidade, encontrando-se na fase de validação. O método foi implementado para quantificar seis PFAS com diferentes tamanhos de cadeia de carbono - PFOA, PFOS, PFBA, PFBS, PFHxA e PFHxS.

- Foi implementado o método de extração e concentração de seis PFAS (PFOA, PFOS, PFBA, PFBS, PFHxA e PFHxS) utilizando cartuchos de extração em fase sólida (SPE). Foram avaliados cartuchos de extração adquiridos de diferentes fabricantes e com diferentes resinas (Strata-X/Phonomex, HLB/Waters, WAX/Waters e ENVI-WAX/Supelco). O cartucho ENVI-WAX foi o que apresentou resultados mais consistentes com relação à reprodutibilidade e recuperação. A adoção etapa de extração e concentração de PFAS em amostras de água, precedendo a etapa de quantificação, viabiliza a realização de experimentos de nanofiltração usando concentrações mais baixas de PFAS e, portanto, mais próximas das relatadas em ocorrências em mananciais ao redor do mundo.

Avaliação de Microplásticos na ETE Brasília Lago Norte

- O método validado envolve as etapas de: separação granulométrica por meio de peneiras de malha de aço inoxidável com tamanhos de poros de 5 mm a 45 µm; oxidação da matéria orgânica com uso do reagente Fenton; extração/separação por diferença de densidade com solução ZnCl₂ de densidade 1,8 g cm³; identificação e quantificação com uso de estereomicroscópio.
- Os resultados revelaram a presença significativa de MPs em diferentes etapas do sistema de tratamento da ETEB Norte, com destaques para a abundância de fibras e de plásticos novos. Além disso, ficou evidente a eficiência parcial do tratamento na remoção desses MPs, especialmente no caso das fibras.

- A abundância de fibras têxteis dificultou a identificação e a quantificação de MPs nas diversas etapas do tratamento.
- A análise do efluente final da estação de tratamento revelou uma concentração de 150 MPs/L, com tamanho médio de 0,089 mm, o que sugere que a estação está sendo eficiente na retenção de partículas de maiores dimensões.
- Embora os resultados obtidos tenham ampliado a compreensão sobre a presença e do comportamento dos MPs na ETE, ainda persistem desafios para a quantificação precisa desses materiais, particularmente no que se refere à distinção entre fibras naturais e poliméricas.

Remoção de microcontaminantes por adsorção em carvão ativado

- Foram realizados ensaios em reatores em batelada agitados com 4 carvões ativados comercializados no Brasil. Dois dos carvões são comercializados na sua forma pulverizada (CAP) e dois na forma granular (CAG).
- Os ensaios cinéticos revelaram que, para todos os tipos de carvão avaliados, a adsorção de PFOA e PFOS segue o modelo cinético de pseudo-segunda ordem, sugerindo que a quimissorção foi o mecanismo predominante no processo adsorptivo. O mesmo foi observado para o BPA.
- Nos ensaios com carvão ativado pulverizado, os tempos necessários para atingir o equilíbrio na adsorção foram maiores para o PFOA e PFOS, ultrapassando 8 horas, dependendo do carvão utilizado, enquanto para o BPA o tempo de equilíbrio foi menor, da ordem de 120 minutos.

- Os ensaios de adsorção mostraram que todos os carvões avaliados possuem eficiência na adsorção dos contaminantes, sendo que a capacidade adsorptiva (qe, em mg/g) dos carvões é superior para o BPA em comparação aos PFAS.
- Ensaios de cinética de adsorção de 4 PFAS, sendo 2 de cadeia longa (8 Carbonos; PFOA – Carboxílico; PFOS – Sulfônico) e 2 de cadeia curta (4 Carbonos; PFBA – Carboxílico; PFBS – Sulfônico), foram realizados usando 2 carvões ativados granulares provenientes de matéria primas distintas (vegetal - casca de coco e mineral - hulha). O carvão mineral betuminoso se mostrou superior ao carvão vegetal. Os compostos de maior cadeia (PFOA e PFOS) foram mais facilmente removidos do que os de menor cadeia (PFBA e PFBS). Para o mesmo tamanho de cadeia, os PFAS sulfônicos (PFOS e PFBS) foram mais facilmente removidos do que os carboxílicos (PFOA e PFBA).
- Ensaios de cinética de adsorção usando composto considerados perturbadores do sistema endócrino, o hormônio estradiol (E2) e o bisfenol A (BPA), foram realizados usando 2 carvões ativados granulares provenientes de matéria primas distintas (vegetal - casca de coco e mineral - hulha). De modo geral o E2 se mostrou mais fácil de ser removido. Entretanto, para tempos de contato menores (até 120 min) o comportamento dos dois compostos foi muito próximo, se distinguindo de forma mais acentuadas para tempos de contato maiores.

Remoção de microcontaminantes por membranas de nanofiltração

- Foram realizados experimentos em escala de bancada para remoção de até 6 PFAS concomitantemente e também para a remoção BPA e E2. Foram avaliadas membranas de diferentes fabricantes e diferentes massas molares de corte (MMC), adotando-se pressão de 8 bar.

- Devido a menor massa molar do BPA (228,3 g/mol) em relação ao E2 (272,4 g/mol), a remoção de E2 foi sempre superior à remoção de BPA nas três membranas de nanofiltração testadas (M1 – MMC 200 g/mol, Fabricante A; M2 – MMC 200 - 300 g/mol, Fabricante A; M3 – MMC 200 - 300 g/mol, Fabricante B).
- A membrana M1, mais fechada, se mostrou capaz de remover tanto BPA como E2 com eficiência de remoção superior a 90%. A membrana M3 se mostrou mais efetiva do que a membrana M2 para ambos os compostos. Apesar da faixa de MMC das membranas M2 e M3 ser a mesma, a literatura reporta que o tamanho do poro da membrana M3 é menor que o da M2, que justifica a maior eficiência de remoção da M3. Por outro lado, a membrana M2 apresentou fluxo de permeado (produção de água tratada) superior a mais que duas vezes o fluxo das membranas M1 e M3.
- Com relação aos experimentos com PFAS, em que foram usadas também 3 membranas (M2 – MMC 200 - 300 g/mol, Fabricante A; M4 – MMC 300 a 500 g/mol, Fabricante C; M5 – MMC 600 a 800 g/mol, Fabricante C), a remoção foi elevada, independentemente da membrana usada. De modo geral as eficiências de remoções para os PFAS de cadeia curta (4 carbonos) foram próximas ou superiores a 90%, enquanto para os PFAS de maior cadeia de carbono as eficiências de remoção frequentemente foram superiores a 95%. Os valores de fluxo de permeado das membranas M2 e M5 foram cerca de 3 vezes superiores ao valor de fluxo da membrana M4, apresentando inconsistência com relação aos valores das faixas de MMC dessas 3 membranas. Esses resultados sugerem que, além da exclusão por tamanho, outros mecanismos de rejeição estão envolvidos no processo.

Cabe ainda mencionar que nos últimos seis meses outras atividades foram realizadas/iniciadas, a saber:

- Montagem da instalação piloto de membranas (IPM) e realização de testes hidráulicos para verificação do funcionamento da IPM, além da realização de experimentos preliminares de remoção de PFAS utilizando módulos antigos da membrana M2;
- Aquisição de módulos novos das membranas M1 e M2 com dimensões comerciais (2,6 m² de área) para serem usados na IPM;
- Realização de ensaios de oxidação avançada usando o processo de oxidação avançada (POA) Fenton e Fenton-Like, visando avaliar a aplicação desses processos no tratamento do concentrado (rejeito) produzido na nanofiltração;
- Início da implementação da rotina para detecção e quantificação de vírus no esgoto (Poliomavírus e Adenovírus) usando a técnica de PCR em tempo real, com objetivo de usar tais vírus para monitoramento de eficiência de remoção de vírus em ETEs e na Meta 7.

Com base nos resultados obtidos ao longo dos primeiros 24 meses de desenvolvimento do projeto, alguns direcionamentos para a continuidade do trabalho no 3º ano são apresentados na sequência:

- Continuidade do estudo sobre aplicação da técnica de PCR em tempo real para detecção de Polioma vírus e/ou Adeno vírus com foco no aprimoramento da amplificação dos vírus, de modo a permitir quantificação confiável;
- Realização de ensaios de oxidação avançada usando o POA Fenton e Fenton-Like, com ênfase na otimização das relações entre reagentes e busca de outras variantes do processo;

- Os trabalhos em coluna com carvão ativado granular a serem desenvolvidos priorizarão o uso do carvão mineral betuminoso, uma vez que esse carvão se mostrou eficiente tanto na remoção de PFAS como de E2 e BPA. Será adotada a metodologia de ensaios rápidos em coluna de escala reduzida (ERCER), desenvolvida por Crittenden et al. [29] para estimar o comportamento de colunas adsorvedoras em escala real. Tal metodologia é reconhecida pela norma ASTM D6586/2021;
- Realização de estudos comparativos entre adsorção de PFAS em carvão ativado granular e adsorção em resina de troca iônica, uma vez que a literatura científica mostra resultados promissores com esse material adsorvente;
- Os experimentos de nanofiltração em escala piloto, serão realizados utilizando membranas M1 e M2 (módulos novos com 2,6 m² de área) e deverão ter como foco avaliar aspectos operacionais como pressão de operação, fluxo de permeado, recuperação e pressão transmembrana, além da eficiência de remoção dos microcontaminantes alvo. Será utilizada água ultrafiltrada produzida na ETA Lago Norte enriquecida com diferentes PFAS ou enriquecida com BPA e E2.

Com o aprimoramento das rotinas analíticas e dos procedimentos experimentais, além das correções de rumo baseada nos resultados já obtidos, o trabalho está evoluindo de forma promissora com perspectiva de oferecer respostas mais robustas do que as originalmente propostas.

REFERÊNCIAS

1. LI, X.; SHEN, X.; JIANG, W.; XI, Y.; LI, S. (2024). Comprehensive review of emerging contaminants: Detection technologies, environmental impact, and management strategies. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 278, 116420.
2. ANDRADY, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. *Marine pollution bulletin*, 62(8).
3. ROSS, P. S.; MORALES-CASELLES, C. (2015). Out of sight, but no longer out of mind: microplastics as a global pollutant. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 11(4).
4. RODRIGUES, J.P.; DUARTE, A.C.; ECHEANDÍA, J.S.; SANTOS, T.R. (2019) Significance of interactions between micro-plastics and POPs in the marine environment: critical view. *Trends in Analytical Chemistry*, 111, 252-260.
5. TAN, B.L.L.; HAWKER, D.W.; MÜLLER, J.F.; LEUSCH, F.D.L.; TREMBLAY, L.A.; CHAPMAN, H.F. (2007) Modelling of the fate of selected endocrine disruptors in a municipal 78 wastewater treatment plant in South East Queensland, Australia. *Chemosphere*, 69, 644-654.
6. MURRAY, K.E.; THOMAS, S.M.; BODOUR, A.A. (2010) Prioritizing research for trace pollutants and emerging contaminants in the freshwater environment. *Environmental Pollution* 158, 3462-3471.
7. NAIDU, R.; ARIAS ESPANA, V.A.; LIU, Y.; JIT, J. (2016) Emerging contaminants in the environment: Risk-based analysis for better management. *Chemosphere*, 154, 350-357.
8. OHORE, O.E.; ZHANG, S. (2019) Endocrine disrupting effects of bisphenol A exposure and recent advances on its removal by water treatment systems. A review. *Scientific African*, 5, 135-147.
9. LENKA, S.P.; KAH, M.; PADHYE, L.P. (2021) A review of the occurrence, transformation, and removal of poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS) in wastewater treatment plants. *Water Research*, 199.
10. YADAV, S.; IBRAR, I.; AL-JUBOORI, R.A.; SINGH, L.; GANBAT, N.; KAZWINI, T.; KARBASSIYAZDI, E.; SAMAL, A.K.; SUBBIAH, S.; ALTAEE, A. (2022) Updated review on emerging technologies for PFAS contaminated water treatment. *Chemical Engineering Research and Design*, 182.
11. ABBT-BRAUN, G.; BORNIC, H.; BRANDÃO, C.C.S.; CAVALCANTI, C.B.G.; CAVALCANTI, C.P.; FRIMMEL, F.H.; MAJEWSKY, M.; STEINIGER, B.; TROSTER, M.; WORCH, E. (2014) Water quality of tropical reservoirs in a changing world - the case of Lake Paranoá, Brasília, Brazil. In *Integrated Water Resource Management in Brazil*, Ed: Lorz, C., Makeschin, F., Weiss, H. 73-95. IWA.
12. CAESB (2013) Sistema de Abastecimento de água com Captação no Lago Paranoá. *Estudo de Impacto Ambiental*, v1, 548p.
13. SODRÉ, F.S.; SAMPAIO, T.R. (202) Development and application of a SPE-LC-QTOF method for the quantification of micropollutants of emerging concern in drinking waters from the Brazilian capital. *Emerging Contaminants*, 6, 72-81.
14. OMS (2023) Per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS). Disponível em: <https://www.who.int/teams/environment-climate-change-and-health/water-sanitation-and-health/chemical-hazards-in-drinking-water/per-and-polyfluoroalkyl-substances>
15. EEA (2020). O que são PFAS e de que forma são perigosas para a minha saúde? Disponível em: <https://www.eea.europa.eu/pt/help/perguntas-frequentes/o-que-sao-pfas-e>

16. USEPA (2023) Our Current Understanding of the Human Health and Environmental Risks of PFAS. Disponível em: <https://www.epa.gov/pfas/our-current-understanding-human-health-and-environmental-risks-pfas>
17. IARC (2025) Perfluorooctanoic acid (PFOA) and perfluorooctanesulfonic acid (PFOS) Description. Series: IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans. Disponível em: <https://publications.iarc.who.int/636>
18. WARING, R.H.; HARRIS, R.M. (2005) Endocrine disrupters: A human risk? *Molecular and Cellular Endocrinology*, 244, 2-9.
19. VANDENBERG, L.N.; COLBORN, T.; HAYES, T.B.; HEINDEL, J.J.; JACOBS JR., D.R.; LEE, D-H.; SHIODA, T.; SOTO, A.M.; VOM SAAL, F.S.; WELSHONS. W.V.; ZOELLER R.T.; MYERS, J.P. (2012) Hormones and Endocrine-Disrupting Chemicals: Low-Dose Effects and Nonmonotonic Dose Responses. *Endocrine Reviews*, 33(3).
20. IARC (2014) IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Internal report 14/002. Report of the advisory group to recommend priorities for IARC monographs during 2015-2019. Disponível em: <https://monographs.iarc.who.int/wp-content/uploads/2018/08/14-002.pdf>.
21. NTP - National Toxicology Program. (2021) RoC Profile: Estrogens, Steroidal; 15th Report on Carcinogens (RoC) Evaluation. Disponível em: <https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/ntp/roc/content/profiles/estrogenssteroidal.pdf>
22. USEPA (2024) Per- and Polyfluoroalkyl Substances (PFAS) Final PFAS National Primary Drinking Water Regulation. Disponível em: <https://www.epa.gov/sdwa/and-polyfluoroalkyl-substances-pfas>
23. OJEU (2020). Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council on the quality of water intended for human consumption. Official Jour of the European Union, L 435/1-L435/62.
24. Departamento de Saúde do Governo da Austrália (2022) Disponível em: https://www.health.gov.au/sites/default/files/documents/2022/07/health-based-guidance-values-for-pfas-for-use-in-site-investigations-in-australia_0.pdf
25. SCHEER - Scientific Committee on Health, Environmental and Emerging Risks (2022), Preliminary Opinion on “Draft Environmental Quality Standards for Priority Substances under the Water Framework Directive”, 17-alpha-ethinylestradiol (EE2), Beta-Estradiol (E2) and Estrone (E1).
26. USEPA Drinking Water Contaminant Candidate List (CCL) and Regulatory Determination. Links disponíveis em: <https://www.epa.gov/ccl>
27. NHMRC - National Health and Medical Research Council do GoverAustraliano. Draft fact sheet on Per- and poly-fluoroalkyl substances (PFAS) – Documento para Consulta Pública. Disponível em: <https://www.nhmrc.gov.au/health-advice/environmental-health/water/PFAS-review/draft-fact-sheet>
28. AQUINO, I.S. (2024) Avaliação da presença de microplásticos na estação de tratamento de esgoto Brasília Norte e o potencial de remoção por nanopó magnético de oxido de ferro funcionalizado com ácido cítrico (NP-Fe3O4@AC). Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Universidade de Brasília. 139p.
29. CRITTENDEN, J.C.; REDDY, P.S.; ARORA, H.; TRYNOSKI, J.; HAND, D.W.; PERRAM, D.; SUMMERS, R.S. (1991) Predicting CAG Performance with Rapid Small-Scale Column Tests. *Journal of The American Water Works Association*, 83(1), 77-87.

Projeto concluído

Pesquisa e desenvolvimento de sistema de comunicação em malha (mesh) baseado nos padrões globais Wi-SUN 1x para micromedição de consumo de água e identificação de perdas técnicas ou comerciais

O principal desafio da “Pesquisa e desenvolvimento de sistema de comunicação em malha (mesh) baseado nos padrões globais Wi-SUN 1x para micromedição de consumo de água e identificação de perdas técnicas ou comerciais” foi verificar a aplicabilidade da especificação Wi-SUN FAN 1.1 como solução de comunicação para a micromedição de consumo de água, pois no momento da elaboração do projeto. Esta especificação ainda estava em elaboração e não havia certeza da disponibilidade de módulos de comunicação no mercado para utilização nos protótipos a serem desenvolvidos. Além disso, outro desafio da pesquisa foi a durabilidade da bateria dos módulos de medição, haja vista que não existe rede elétrica disponível junto aos medidores de água e tampouco é viável a utilização de painéis fotovoltaicos, pois muitos locais de medição estão abrigados em caixas subterrâneas.”



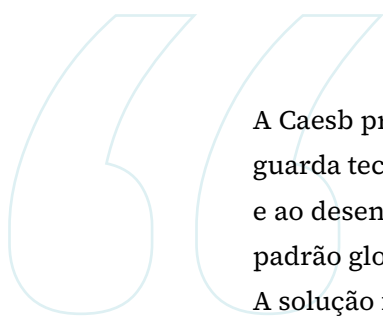
Giancarlo Covolo Heck atua como gerente da unidade de Sistemas Embarcados e Conectividade no Instituto de Tecnologia de Desenvolvimento (LACTEC), tendo atuado previamente como pesquisador por mais de 18 anos. É doutor em Ciência da Computação pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), mestre em Informática e bacharel em Ciência da Computação também pela UFPR. Possui experiência na liderança de equipes multidisciplinares, na coordenação e na execução de projetos de pesquisa, desenvolvimento e inovação. Seus interesses de pesquisa incluem redes de comunicação sem fio, protocolos de comunicação, sistemas eletrônicos embarcados, sistemas de computação de alto desempenho, sistemas de monitoramento em tempo real, mineração de dados, fontes de energia renováveis, redes inteligentes, cidades inteligentes e internet das coisas.

Um dos principais desafios enfrentados ao longo do projeto foi a definição clara e objetiva dos produtos a serem entregues, considerando a natureza inovadora da solução e a necessidade de integração entre hardware, software e infraestrutura de comunicação. Outro ponto crítico foi a estruturação das diretrizes relacionadas à propriedade intelectual, garantindo segurança jurídica para as partes envolvidas e viabilizando futuras aplicações da tecnologia.

Adicionalmente, o estudo de escalabilidade da solução representou um aspecto central, tendo em vista a necessidade de implantação em larga escala, com confiabilidade e custos compatíveis com a realidade operacional do setor de saneamento. Como principais resultados, destaco a adoção da tecnologia Wi-SUN 1.x, que possibilita a comunicação eficiente em redes de grande abrangência, com potencial de redução de custos operacionais e aumento da eficiência na coleta de dados. Ressalta-se, ainda, o desenvolvimento do software de monitoramento, que permite o acompanhamento estruturado das informações de consumo, contribuindo para o aprimoramento da gestão e o combate às perdas de água.”



Diogo Fidelis é engenheiro civil e mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, atuando na Caesb com foco em gestão operacional, redução de perdas e micromedição.



A Caesb presta serviços na área de saneamento ambiental em condição de vanguarda tecnológica. Nesse contexto, desenvolveu um projeto voltado à pesquisa e ao desenvolvimento de sistemas de comunicação em rede mesh, baseados no padrão global Wi-SUN, para o envio remoto de dados.

A solução foi aplicada à coleta de informações de hidrômetros e à incorporação de inteligência aos processos de controle de perdas técnicas e comerciais nos sistemas da companhia. O projeto obteve êxito: os dispositivos e padrões de comunicação foram estudados, implementados e validados.

Atualmente, a tecnologia encontra-se disponível para aplicação pela companhia, não apenas no contexto de redução de perdas de água, mas também em outros processos que demandem transmissão remota de dados, contribuindo para ganhos de eficiência, segurança, agilidade na tomada de decisão, e no relacionamento com o cliente.

Além disso, trata-se de uma solução que pode ser empregada em áreas como segurança, monitoramento, automação, logística, e pode apoiar diversos processos com interface em tecnologia da informação, infraestrutura de comunicação e sistemas de controle.”



Cristiano Gouveia, superintendente de Gestão Operacional da Caesb.

Pesquisa e desenvolvimento de sistema de comunicação em malha (mesh) baseado nos padrões globais Wi-SUN 1.x para micromedição de consumo de água e identificação de perdas técnicas ou comerciais

Convênio nº 1/2024

Desafio

Solução para monitorar e disponibilizar remotamente, de forma confiável e de baixo custo, dados de micromedição.

Objetivo

Desenvolver solução de baixo custo para o processo de medição do consumo de água nos pontos de entrega aos consumidores, de forma automatizada.



Investimento total

R\$ 1.900.683,25



Proponente

Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - Lactec



Contrapartida Caesb

R\$ 1.900.683,25



Interveniente

Não se aplica



Duração

24 meses



Conclusão

Fevereiro/2026

Pesquisa e desenvolvimento de sistema de comunicação em malha (mesh) baseado nos padrões globais Wi-SUN 1.x para micromedição de consumo de água e identificação de perdas técnicas ou comerciais

Giancarlo C. Heck¹; Adriel Guimarães de Lima¹; Alexandre Luquetta¹;
João Vitor Gomes Ferreira¹; Rafael Takeshi Inoue¹ & Lourival Lippmann Junior¹

¹ Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – Lactec

RESUMO

Este projeto de pesquisa, desenvolvimento e inovação tem o objetivo de projetar e validar um sistema de comunicação inovador como solução para o desafio da tele medição do consumo de água, auxiliando a gestão operacional e o controle de perdas da Caesb. A base para o desenvolvimento do sistema de comunicação é a especificação de rede Wi-SUN FAN, definida para atender as empresas dos setores elétrico, de água e de gás, bem como as cidades inteligentes e a internet das coisas. O grande desafio da medição de água é que não existe fonte de energia disponível junto aos medidores e, portanto, os módulos devem ser alimentados por baterias e possuir grande autonomia. Este trabalho apresenta o resultado do desenvolvimento deste projeto, o qual comprovou a viabilidade técnica do uso da tecnologia Wi-SUN FAN na tele medição do consumo de água.

Palavras-chave: micromedição; cidades inteligentes; rede em malha; Wi-SUN FAN

INTRODUÇÃO

O avanço das tecnologias de Internet das Coisas (Internet of Things – IoT) permite que a cada dia novas aplicações sejam desenvolvidas, facilitando o dia a dia das empresas e dos seus clientes, bem como a otimização de processos e consequentemente a redução de custos. O processo de medição de consumo de água, na maioria dos casos, ainda é efetuado por um leiturista, o qual deve se deslocar até o ponto de entrega e registrar o valor consumido. Este projeto possui como objetivo desenvolver uma solução automatizada para o processo de medição de consumo de água nos pontos de entrega aos consumidores. A medição remota, além de auxiliar no processo de fechamento das faturas, contribui com a redução dos índices de perdas técnicas e comerciais, pois auxilia na identificação de vazamentos e desvios nos padrões de consumo, o que melhora a eficiência operacional da empresa.

O desafio do projeto é verificar a aplicabilidade da especificação Wi-SUN FAN 1.1 [1] como solução de comunicação para a micromedição de consumo de água, o que inclui maximizar a duração da bateria dos dispositivos, visto que não existe rede elétrica disponível junto aos medidores de água e tampouco é viável a utilização de painéis fotovol-

taicos. A tecnologia de rede sem fio Wi-SUN (Wireless Smart Ubiquitous Networks) foi projetada para atender as empresas dos setores elétrico, de água e de gás (utilities), bem como as Smart Cities e a IoT. O protocolo é fundamentado em vários padrões internacionais projetados por instituições com o IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers), o IETF (Internet Engineering Task Force) e o ANSI/TIA (American National Standards Institute / Telecommunications Industries Association) e é promovido pela Wi-SUN Alliance, um consórcio de corporações e empresas dos mercados envolvidos, as quais definem o protocolo Wi-SUN com base em padrões abertos visando a interoperabilidade de produtos [2]. Algumas características do protocolo Wi-SUN são: alcance dos enlaces de comunicação na ordem de quilômetros, suporte ao protocolo IPv6 (Internet Protocol version 6), topologia de rede em malha (mesh), adoção de protocolo de segurança multicamadas baseado nos padrões IEEE 802.1X e EAP-TLS [3], bem como várias opções de modulação de sinais de rádio frequência e de largura de banda. Ainda, utiliza o protocolo de roteamento RPL, um protocolo resiliente e escalável, que suporta a conexão de dispositivos distantes até 24 saltos do dispositivo raiz (roteador de borda ou gateway) [4].

Os produtos do desenvolvimento deste projeto são a especificação detalhada do desenvolvimento e a implementação dos protótipos que formam uma rede de medição padrão Wi-SUN FAN, formada por dispositivos gateways, roteadores e end-devices de comunicação com medidores de água, bem como de um sistema WEB para recepção dos dados e gerenciamento das medições.

METODOLOGIA

O projeto foi executado em 24 meses, com início em fevereiro de 2024 e término em janeiro de 2026. A listagem abaixo descreve as etapas do projeto, as quais correspondem aos passos da metodologia

empregada.

- 1) Análise e formalização da questão de pesquisa, definição dos requisitos e da arquitetura do sistema;
- 2) Pesquisa e elaboração dos circuitos eletrônicos, prototipação do software de gerenciamento de medições e de gestão da rede;
- 3) Montagem de protótipos dos dispositivos de comunicação e execução de experimentos para validação da rede. Codificação do software de gerenciamento de medições;
- 4) Desenvolvimento e montagem do sistema piloto em laboratório. Integração do software no ambiente da Caesb;
- 5) Instalação dos protótipos em campo, avaliação de desempenho do funcionamento e das medições;
- 6) Elaboração de relatório final e transferência de conhecimentos.

DESENVOLVIMENTOS EFETUADOS

Na etapa inicial do projeto foram definidos os requisitos a serem atendidos e foi definida a arquitetura do sistema de micro medição de água, conforme ilustrado na Figura 1. O sistema é formado por uma ou mais redes de comunicação Wi-SUN FAN, chamadas de rede de área pessoal (PAN - Personal Area Network), por um servidor de integração, o qual recebe os dados das diversas redes PAN, mantém informações sobre o funcionamento das redes e encaminha as mensagens de medições para o servidor back-end, e pela aplicação de gerenciamento de medições, composta pelos módulos back-end e front-end.

O lado esquerdo da Figura 1 ilustra exemplos de redes PAN, as quais são formadas pelos equipamentos end-devices, roteadores e gateways. Os gateways são responsáveis por formar as redes PAN e conectar os módulos roteadores e end-devices ao servidor de integração por meio de uma rede local ou Internet. Na rede interna da Caesb

Arquitetura do sistema de micro medição de água - Projeto CAESB

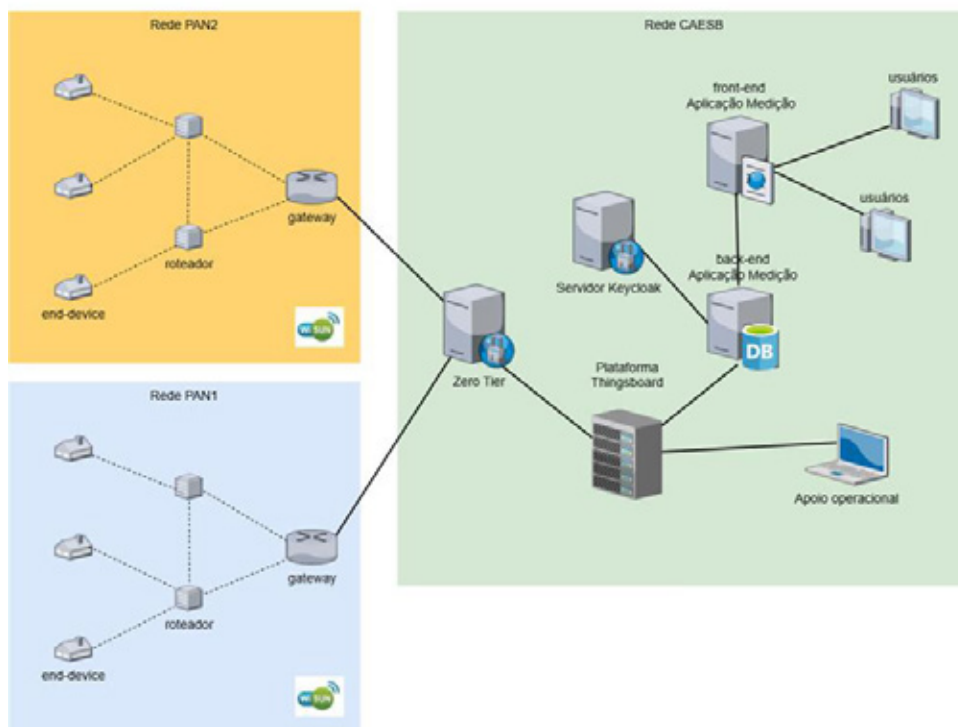


Figura 1 – Arquitetura do sistema de micromedição de água.

são alocadas a plataforma Thingsboard, a qual é responsável pela integração dos gateways com o servidor back-end, os servidores back-end e front-end da aplicação de gerenciamento das medições e o servidor Keycloak, responsável pela autenticação dos usuários. Como solução de segurança e conectividade entre os gateways da rede Wi-SUN FAN e a plataforma Thingsboard é usada uma rede virtual privada (VPN - Virtual Private Network), representada na arquitetura por um servidor de segurança (Zero Tier).

Na etapa seguinte foram pesquisados e desenvolvidos os circuitos de leitura do sinal de pulsos dos medidores de água, bem como os componentes necessários para a montagem dos dispositivos que formam a rede de comunicação Wi-SUN FAN, quais sejam: roteador de borda ou gateway, responsável pela criação e manutenção da rede PAN, sendo o elo de ligação entre os dispositivos da rede e o servidor de integração; roteador, responsável

por ampliar a área de cobertura da rede e transmitir as mensagens de dados dos end-devices até o gateway; end-devices (medidores de água), dispositivo que efetua a leitura dos pulsos dos medidores de água e cria as mensagens de dados para serem trafegadas na rede. Os end-devices, por serem alimentados por baterias, permanecem grande parte do tempo com os seus rádios de comunicação desligados, para que suas baterias possam durabilidade prevista de 5 a 10 anos. A Figura 2 ilustra os respectivos protótipos.

Na montagem dos dispositivos optou-se por utilizar módulos de rádio do fabricante Silicon Labs, visto que este foi o primeiro a fornecer um conjunto estável de ferramentas de desenvolvimento, inclusive com avaliação de desempenho [5]. No entanto, em fases futuras do projeto, como no desenvolvimento do cabeça de série ou do lote pioneiro, outros fornecedores poderão ser avaliados.

Uma avaliação preliminar do funcionamento

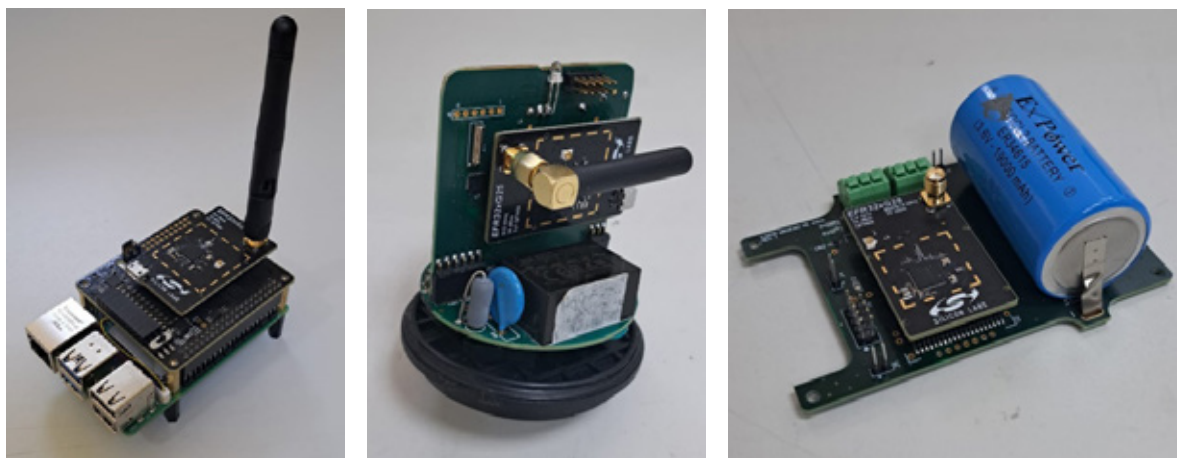


Figura 2 – Protótipos do gateway, roteador e end-device.

dos dispositivos foi efetuada por meio de testes de campo realizados em Brasília no décimo quinto mês do projeto. O principal objetivo dos testes foi medir os níveis de sinal (RSSI) entre os rádios dos dispositivos end-devices e os roteadores, quando instalados nos locais para onde foram projetados, ou seja, dentro das caixas subterrâneas dos medidores de água. Estes testes permitiram avaliar o raio de alcance médio dos dispositivos. Adicionalmente, foi validado o desempenho e a confiabilidade do circuito de contagem de pulsos dos medidores de água. Os testes foram realizados em dois locais distintos para se avaliar diferentes características das caixas de instalação dos medidores. O primeiro local consistiu em uma caixa de medição de um condomínio residencial na região Noroeste e o segundo local em uma caixa de concreto localizada em calçada próxima ao Palácio do Itamaraty. A Figura 3 ilustra a instalação do end-device junto ao medidor de água do condomínio na região Noroeste.

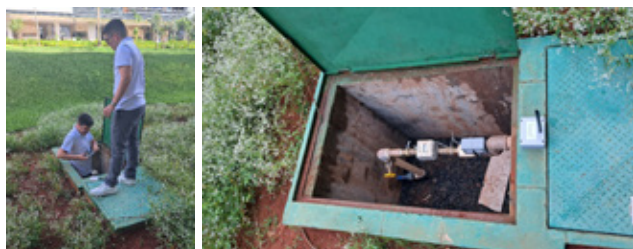


Figura 3 – Dispositivo end-device testado na região Noroeste de Brasília.

Os resultados dos testes indicaram um perfeito funcionamento do circuito de leitura de pulso dos medidores de água e alcances de até 188 metros entre os dispositivos end-devices, instalados nas caixas subterrâneas, e os dispositivos roteadores. As Tabelas 1 e 2 apresentam os resultados das medições nos dois locais de teste.

Tabela 1 – Resultados medidos na região Noroeste de Brasília.

Resultados na região Noroeste				
Distância (m)	44	84	160	188
RSSI médio (dBm)	-51,8	-88,5	-93,8	-101

Tabela 2 – Resultados medidos na região do Palácio do Itamaraty.

Resultados na região Noroeste		
Distância (m)	65	85
RSSI médio (dBm)	-80,2	-94,1

Os resultados obtidos nos testes foram satisfatórios, contudo, os alcances obtidos demandariam de uma rede mais densa de roteadores para prover a cobertura necessária para os medidores de água em casos em que estes estejam mais esparsos. Isto motivou à execução de um desenvolvimento adicional no projeto, o de um roteador com cir-

cuito amplificador de potência na saída do rádio Wi-SUN FAN. Este novo roteador resultou em um raio de alcance, com obstáculos, de até 500 metros de distância entre o roteador e o gateway. A Figura 4 ilustra o circuito do roteador e a sua caixa de montagem, a qual compatível com padrão NEMA de 3 pinos (ANSI C136.10) e permite o acoplamento de um relé fotocélula comercial na parte superior. O circuito do roteador é alimentado pela rede elétrica de 127/220 volts, funcionando com o sinal amplificado para maior alcance de dispositivos na rede Wi-SUN FAN, enquanto o relé comercial é responsável por acionar a luminária.



Figura 4 – Dispositivo roteador com circuito amplificador de potência.

Um ponto desafiador no desenvolvimento dos dispositivos eletrônicos, especificamente do end-device, foi avaliar o consumo de energia para se obter a durabilidade necessária deste dispositivo. Após os testes realizados, foi projetado um circuito de alimentação composto por reguladores de tensão e uma bateria de lítio não recarregável com capacidade energética de 3,6 volts e 19000 mAh. Com esta bateria, estimou-se que o dispositivo end-device funcione por um período de mais de cinco anos, efetuando a leitura dos pulsos do medidor de água e a transmissão dos dados em intervalos de uma hora. A Figura 5 ilustra uma medição de consumo de energia durante a fase de análise dos consumos dos módulos de comunicação.

Cabe destacar que o desenvolvimento deste dispositivo de comunicação para a medição de água, com baixo consumo de energia, alimentado por bateria e utilizando a tecnologia Wi-SUN FAN, é pioneiro no Brasil e destaca o caráter inovador deste projeto.

Para auxiliar os testes de laboratório do sistema, a Caesb forneceu dois exemplares de medidores de água e eles foram montados na sede do Lactec



Figura 5 – Medição de consumo de energia da comunicação do end-device.

formando uma bancada de teste conforme ilustrado na Figura 6. A bancada de teste permite a realização de testes de leitura de pulsos dos medidores nos sentidos normal e reverso do fluxo de água.

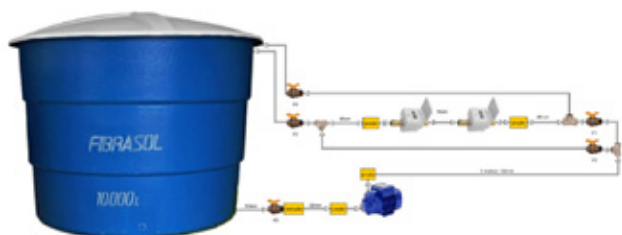


Figura 6 – Esquema de montagem da bancada de testes.

Paralelamente aos desenvolvimentos dos dispositivos efetuou-se a prototipação de telas e a implementação do software de gerenciamento de medições, seguindo os padrões de desenvolvimento de software fornecidos pela equipe de tecnologia da informação da Caesb. A Figura 7 ilustra a tela de autenticação de usuários e a tela inicial do software. A autenticação ocorre de maneira integrada com os sistemas da Caesb, desta forma, usuários previamente cadastrados no software podem utilizar as suas contas e senhas de rede para efetuar o acesso.

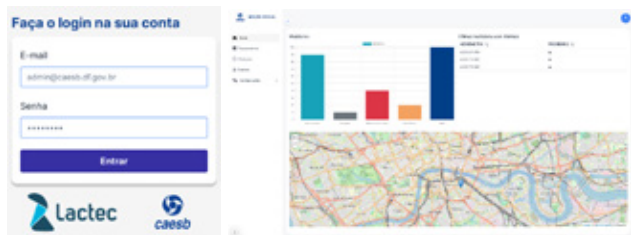


Figura 7 – Telas de login e inicial do software de gerenciamento de medições.

Concluídos os desenvolvimentos, o sistema completo foi montado nos laboratórios do Lactec para a realização de testes de funcionamento das integrações, bem como para a identificação e correção de eventuais falhas no software de gestão de medições. Também foram efetuados testes de al-

cance entre todos os dispositivos.

Na etapa final do projeto, os equipamentos do sistema foram instalados dentro da sede da Caesb em Águas Claras e em áreas adjacentes. A Figura 8 ilustra alguns dispositivos end-devices e roteador prontos para envio à Caesb. A instalação incluiu a fixação dos dispositivos e a realização de testes iniciais de comunicação, garantindo o funcionamento integrado do sistema para medição e transmissão de dados de consumo de água. Os módulos de software foram instalados em uma máquina virtual (VM – Virtual Machine) cedida pela equipe de suporte de tecnologia da informação (TI) da Caesb.



Figura 8 – Dispositivos end-devices e roteador prontos para envio à Caesb.

O gateway foi instalado na torre de telecomunicações localizada na sede da Caesb, ao lado do bloco PGOG, em posição estratégica visando maior cobertura de área para comunicação com os roteadores e end-devices. A caixa do equipamento foi fixada na base da torre, e a alimentação foi condu-

zida a partir do quadro de energia da mesma base, utilizando um disjuntor exclusivo para o gateway. A antena do gateway foi fixada à uma altura de aproximadamente 15 metros. Para estas instalações contamos com o apoio da equipe de telecomunicações da Caesb.

Os roteadores foram instalados em três pontos distribuídos pela sede da Caesb, definidos em conjunto com a equipe de manutenção, priorizando locais com facilidade de acesso à rede elétrica para energização dos equipamentos. Para a instalação, foi utilizada a adaptação de um suporte metálico com aproximadamente 30 cm de comprimento, com a finalidade de afastar o rádio da estrutura de fixação da haste, reduzindo possíveis perdas de sinal. Na extremidade do suporte foi instalado um soquete fêmea para fotocélulas no padrão NEMA, provido de cabo elétrico para alimentação do equipamento. Essa configuração possibilitou a energização dos roteadores e a fixação dos dispositivos nos pontos definidos para instalação. A Figura 9 ilustra os locais de instalação do gateway, do roteador instalado sobre a câmera de vigilância da portaria principal e do end-device do medidor de água do condomínio Smart Residence Service.



Figura 9 – Equipamentos instalados para realização dos testes de campo.

Os end-devices foram instalados nos medidores de água localizados tanto dentro da sede da CAESB quanto em áreas externas adjacentes. A escolha dos pontos levou em consideração a presença de

medidores com saída pulsada, garantindo a compatibilidade com o sistema e a coleta dos dados de consumo.

Para validar o correto funcionamento da saída pulsada dos medidores, antes da instalação dos end-devices em cada ponto, foi utilizado um osciloscópio portátil em conjunto com um circuito de pull-up para a detecção dos pulsos gerados pelos medidores. O circuito de pull-up foi alimentado por uma bateria de lítio, permitindo a verificação adequada dos sinais elétricos antes da integração dos dispositivos ao sistema. A Figura 10 ilustra os locais de instalação de alguns end-devices.



Figura 10 – End-devices instalados para realização dos testes de campo.

No total foram instalados um gateway, três roteadores e cinco end-devices formando a rede de comunicação Wi-SUN FAN 1.1 na sede da Caesb e em áreas adjacentes, permitindo o início da operação do sistema e a coleta de dados de consumo de água. A Figura 11 apresenta o mapa com os locais de instalação. Nos últimos meses de execução do projeto a equipe acompanhou o funcionamento dos dispositivos e verificou que o sistema registrava corretamente os dados de medição dos coletados.



Figura 11 – Mapa de localização dos dispositivos instalados.

RESULTADOS

Por meio da execução deste projeto de pesquisa, desenvolvimento e inovação foi possível desenvolver um software de gestão de medições integrado à infraestrutura de TI da Caesb. Foram desenvolvidos protótipos de dispositivos de comunicação utilizando a especificação de rede Wi-SUN FAN 1.1, os quais permitiram validar a viabilidade técnica da utilização desta tecnologia para a tele medição sem fio do consumo de água, de forma segura e confiável.

CONCLUSÕES

O protocolo de comunicação Wi-SUN FAN 1.1 é uma alternativa viável para a implantação de sistemas de tele medição sem fio do consumo de água, de forma segura e confiável. Mas demanda de integração com aplicações de iluminação pública e/ou medição de energia elétrica para complementar a área de cobertura da rede de comunicação e permitir o compartilhamento da infraestrutura e possibilitar a redução de custos de implantação, manutenção e operação.

Estima-se que uma implantação de larga escala de tele medição de água propiciará os seguintes resultados: redução de gastos com a leitura dos medidores; redução de custos operacionais; levantamento dos padrões de consumo; possibilida-

de de detecção automática de vazamentos (redução de perdas técnicas); possibilidade de detecção de fraudes (redução de perdas comerciais); culminando com a melhoria no fornecimento do serviço de abastecimento de água e consequentemente aumentando a satisfação dos clientes.

REFERÊNCIAS

- [1] IEEE Std 2857 (2021). IEEE Standard for Wireless Smart Utility Network Field Area Network (FAN). IEEE Std 2857-2021, páginas 1-182.
- [2] Wi-SUN (2024). Wi-SUN Alliance. <https://www.wi-sun.org>. Acesso em 15/02/2024.
- [3] Simon, D., Hurst, R. e Aboba, D. B. D. (2008). The EAP-TLS Authentication Protocol. RFC 5216.
- [4] Winter, T., Thubert, P., Brandt, A., Hui, J., Kelsey, R., Levis, P., Pister, K., Struik, R., Vasseur, J. e Alexander, R. (2012). RPL: IPv6 Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks. RFC 6550.
- [5] Silicon Labs (2023). AN1330: Silicon Labs Wi-SUN Mesh Network Performance. <https://www.silabs.com/documents/public/applicationnotes/an1330-wi-sun-network-performance.pdf>. Acesso em 15/04/2024.

PDI - 2º Ciclo

Visão GeoEspacial Limnológica dos Reservatórios de Água do Distrito Federal (Vigie Águas)

Responsável técnico da UnB: Henrique Llacer Roig

Responsável técnico da Caesb: Henrique Cruvinel Borges - RMAM

“Este projeto irá lidar com algo essencial para a vida das pessoas: a água que chega às nossas casas. Assim, um dos principais obstáculos será entender como monitorar a qualidade da água de forma mais rápida e eficiente, já que os métodos tradicionais dependem de coletas em campo que nem sempre conseguem mostrar o que está acontecendo em todo o reservatório ao mesmo tempo.

Por isso, utilizamos imagens de satélite para “enxergar” a água de cima, permitindo vigiar continuamente os reservatórios, acompanhando mudanças ao longo do tempo e em diferentes regiões. Mas esse processo não é simples: será necessário ajustar os dados das imagens com medições reais feitas no local, além de lidar com fatores como clima, variações sazonais e diferentes elementos presentes na água.

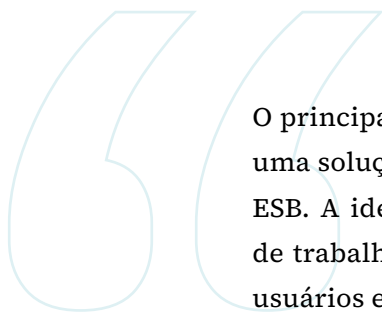
O mais importante é que essa tecnologia possibilitará vigiar com antecedência possíveis problemas, como o aumento de algas ou sedimentos, ajudando a evitar impactos maiores no abastecimento e no meio ambiente. No final, o projeto usará tecnologia de ponta para cuidar melhor dos nossos recursos hídricos, tornando o monitoramento mais rápido, mais completo e mais útil para quem toma decisões, e principalmente, para toda a população que depende dessa água todos os dias.”



Henrique Llacer Roig é professor titular da Universidade de Brasília (UnB) e pesquisador na área de recursos hídricos e meio ambiente. Formado em Geologia, com mestrado, doutorado e pós-doutorado, ele atua há mais de 20 anos em estudos sobre água, especialmente no uso de tecnologias como imagens de satélite para monitorar rios e reservatórios.

Ao longo da carreira, participou e coordenou diversos projetos voltados à melhoria da qualidade da água e à gestão sustentável dos recursos hídricos. Também tem forte atuação na formação de novos profissionais, orientando alunos de graduação, mestrado e doutorado.

Seu trabalho busca aproximar a ciência da sociedade, desenvolvendo soluções que ajudem a melhorar o monitoramento ambiental e apoiar decisões importantes para garantir água de qualidade para a população.



O principal desafio do projeto Vigie Águas vai ser transformar a pesquisa em uma solução prática ao dia a dia da gestão dos mananciais operados pela CAESB. A ideia vai ser entregar um aplicativo com interface interativa, capaz de trabalhar com os sistemas já existentes da CAESB, da ADASA e de outros usuários externos.

Para isso, vamos ter que percorrer diversas etapas, como a calibração dos modelos com dados de campo, superar os desafios da sazonalidade da região, o tratamento das correções atmosféricas inerentes às imagens de satélite, a integração com infraestruturas de dados e a garantia de atualizações após pesquisa.

É importante dizer que recentemente a CAESB adquiriu drones com sensores multiespectrais que serão importantes para ampliar a capacidade de validação e refinamento da pesquisa. Para mim, o aspecto mais relevante deste projeto será o compromisso em gerar inovação com valor estratégico e comercial, culminando na patente do produto com registro junto ao INPI - Instituto Nacional da Propriedade Industrial.”



Henrique Cruvinel Borges Filho é Engenheiro Florestal e Mestre em Conservação da Natureza pela Universidade de Brasília (UnB), com pós-graduação em Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento pelo Instituto de Geologia da UnB. Trabalha na CAESB há 14 anos e atualmente é gerente da Gerência de Bacias de Mananciais, vinculada à Superintendência de Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Companhia.

PDI - 2º Ciclo

Desenvolvimento e validação de metodologias de vigilância epidemiológica baseada em esgotos para monitoramento de arboviroses no Distrito Federal.

Responsável técnica da UnB: Cristina Brandão

Responsável técnico da Caesb: Fuad Moura Guimarães Braga - CCI

O combate às arboviroses enfrenta desafios técnicos, científicos e tecnológicos que dificultam a detecção precoce de surtos e a mobilização adequada de recursos e estratégias para o controle das doenças associadas. Esse cenário é agravado pelo aumento da frequência, magnitude e extensão geográfica das epidemias de arboviroses nos últimos anos, que podem se intensificar devido às mudanças climáticas, globalização e à expansão da urbanização desordenada. Para fornecer uma ferramenta para apoiar o enfrentamento a doenças como dengue, Zika e Chikungunya, o projeto tem objetivo é desenvolver e otimizar métodos de concentração e recuperação de material genético viral, com emprego de técnicas moleculares, para detecção e quantificação de biomarcadores dessas arboviroses em esgotos brutos, utilizando a Epidemiologia Baseada em Esgotos (EBE).

Este projeto é de relevância para a saúde pública, pois propõe uma ferramenta adicional de vigilância epidemiológica, complementar às estratégias tradicionais, capaz de fornecer um sistema de alerta precoce, contribuindo para o aprimoramento das políticas de monitoramento das arboviroses”



Cristina Celia Silveira Brandão é professora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UnB desde 1993 e professora do Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos desde sua criação, em 1995. Engenheira química formada pela UFBA, mestre em Engenharia Química pela COPPE-UFRJ e PhD pelo Imperial College London.

A Epidemiologia Baseada em Esgotos (EBE) consolida-se, cada vez mais, como uma ferramenta estratégica para a gestão da saúde pública, ao permitir a geração de indicadores populacionais capazes de subsidiar decisões rápidas, integradas e efetivas. A experiência recente da Universidade de Brasília e da Caesb no monitoramento do SARS-CoV-2 durante a pandemia de COVID-19 demonstrou, de forma contundente, o valor dessa abordagem para a vigilância comunitária e a antecipação de cenários epidemiológicos. Este projeto representa um avanço natural dessa trajetória, ao expandir a aplicação da EBE para o campo das arboviroses, em um contexto marcado por epidemias no Brasil e no Distrito Federal. Pesquisas como esta tornam ainda mais clara e evidente a relação indissociável entre saneamento e saúde pública, ao demonstrar que a infraestrutura de esgotamento sanitário é não apenas essencial para a proteção ambiental, mas também um instrumento ativo de promoção da saúde coletiva. Destaca-se, nesse sentido, que a ampla cobertura de esgoto é condição fundamental para viabilizar indicadores robustos, representativos e territorializados, e quanto a esse indicador, a Caesb é uma referência nacional. Ao integrar infraestrutura, ciência e gestão pública, esta pesquisa reforça o potencial da EBE como instrumento complementar às estratégias tradicionais de vigilância, contribuindo para respostas mais eficazes, preventivas e sustentáveis aos desafios contemporâneos da saúde coletiva.”



Fuad Moura Guimarães Braga é graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará (2002) e Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (2005). É Analista de Sistemas de Saneamento da Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal (CAESB), admitido por concurso público em 2006 e exerce o cargo de Superintendente de Captação de recursos, cooperação e inovação. Possui mais de 20 anos de experiência no setor de saneamento. Na Caesb, atua na Captação de recursos para investimentos na infraestrutura de Água e Esgoto da Empresa, Gerenciamento de Programas e Projetos junto a Organismos Multilaterais e Crédito, Gestão de Projetos de Pesquisa, Desenvolvimento e Inovação. É autor e coautor de diversos artigos técnicos na área de saneamento, publicados em Congressos e Revistas Técnicas do Setor. Atua também como coordenador da Câmara Técnica de Inovação da AESBE, a Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. É membro da Diretoria da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – Seção Distrito Federal (ABES/DF), desde 2015 e exerceu a função de Presidente da Seção (2023-2025) atuando na organização e realização do 33º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária da ABES em Brasília, em maio de 2025.





Revista do
Programa de PDI
Adasa/Caesb