



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**

**Projeto Ecoando Sustentabilidade**

CAMPUS UNIVERSITÁRIO REITOR JOÃO DAVID FERREIRA LIMA - TRINDADE  
CEP: 88040-970 - FLORIANÓPOLIS - SC

## **Relatório**

### **Os primeiros 15 dias após o Rompimento da Barragem da LEI-CASAN**

O presente relatório tem por finalidade apresentar os resultados preliminares dos 15 dias a partir do rompimento da barragem da lagoa de Evapoinfiltração (LEI) da CASAN, na Lagoa da Conceição, em Florianópolis, um esforço dos pesquisadores vinculados ao Projeto Ecoando Sustentabilidade. As coletas de parâmetros físico-químicos, sedimentológicos e biológicos da Lagoa da Conceição e área relacionada à LEI-CASAN iniciaram no dia 25/01/2021, na tarde do dia em que ocorreu o evento. Ao longo das duas semanas que se sucederam foram realizadas 08 amostragens, sistematizando a caracterização do ponto do desastre (denominado de Ponto 0), da região das rendeiras que recebeu o maior aporte do material, efluente e sedimento, e de áreas controles.

Em uma visão geral, observou-se um acúmulo de sedimentos na área marginal da laguna, derivados do rompimento da LEI e associado à enxurrada que trouxe sedimento da região do desastre, o qual alterou a topografia do local (Fig. 1). Além de areia, observou-se sedimento lamoso com elevada concentração de biodetritos (raízes, folhas, galhos em diferente estágio de decomposição), material que ficou concentrado na coluna da água marginal durante os primeiros dias após o evento. Esse material foi dissipado pelo sistema da laguna, enquanto a porção mais pesada se manteve nas intermediações do Ponto 0. A coluna da água se manteve com elevada turbidez (Fig.1). A filtração das amostras de água revelaram os fragmentos de material detritico e a lama que entupiam o microfiltro, de fibra de vidro (0,45  $\mu\text{m}$  de porosidade), com apenas 30 mL de amostra, enquanto que nas áreas controles esse volume passava de 250 mL (Fig. 2).



Figura 1. Detalhe do Ponto 0 banco de areia formado na margem da Lagoa da Conceição, observa-se o material rico em lama e matéria orgânica depositado sobre o sedimento e em suspensão. A espuma (espuma verde-amarronzada) indica o excesso de microalgas misturado com matéria orgânica, resultante do enriquecimento das águas por nutrientes. Imagens tiradas no dia 02/02/2021.

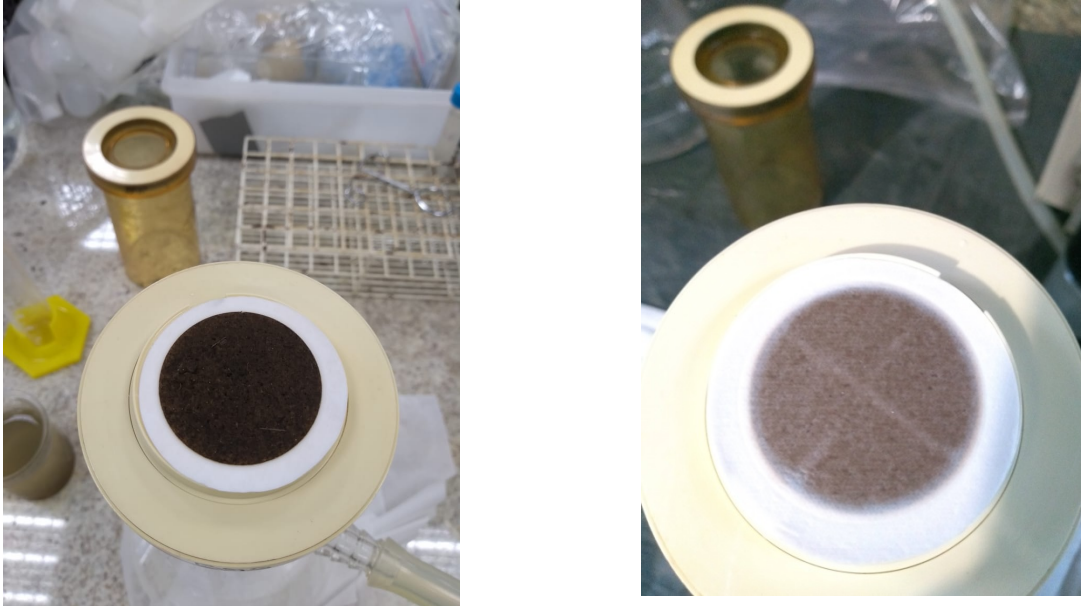


Figura 2. Material particulado em suspensão recém filtrado, da água no Ponto 0, com excesso de lama e matéria orgânica (foto à esquerda), e da área controle (foto à direita). Fotos tiradas no processamento das amostras pós-campo, em 25/01/2021.

Com base nos valores disponíveis em de Santos (2018), que tratam das concentrações médias de Nitrogênio Inorgânico Dissolvido (NID = Nitrato+Amônio) e Fósforo Total (PT) e do volume da LEI-CASAN foi possível estimar a carga de 1,78 tNID e de 0,65 tPT lançados na laguna por esse evento, considerando que 90% do volume da LEI chegou ao sistema. Esses valores representam 15 dias da carga emitida de N e 61 dias da carga emitida de P pela bacia hidrográfica via rios no sistema (Cabral et al., 2019). Ou seja, em poucas horas, a laguna recebeu uma carga elevada desses nutrientes, além do potencial de carga orgânica que representa 1,73 t de DBO e 7,99t de DQO e de Sólidos Suspensos Totais de 5,08t.

Um agravante da situação é que o ponto onde ocorreu o lançamento dos efluentes da LEI-CASAN é marcado por uma característica hidrodinâmica de baixas velocidades médias, o que dificulta a dispersão, principalmente nas partes mais profundas da laguna. A figura 3 apresenta a velocidade média da coluna d'água obtida por modelagem hidrodinâmica da laguna em três dimensões, simulado para dois meses a partir do evento, segundo Silva (2021). Além disso, o ponto se encontra muito próximo de uma região com baixas concentrações de oxigênio

dissolvido, mais precisamente na parte profunda da região central, onde existe uma importante estratificação da coluna d'água, como mostram Silva et al. (2017) e Barros et al. (2017).

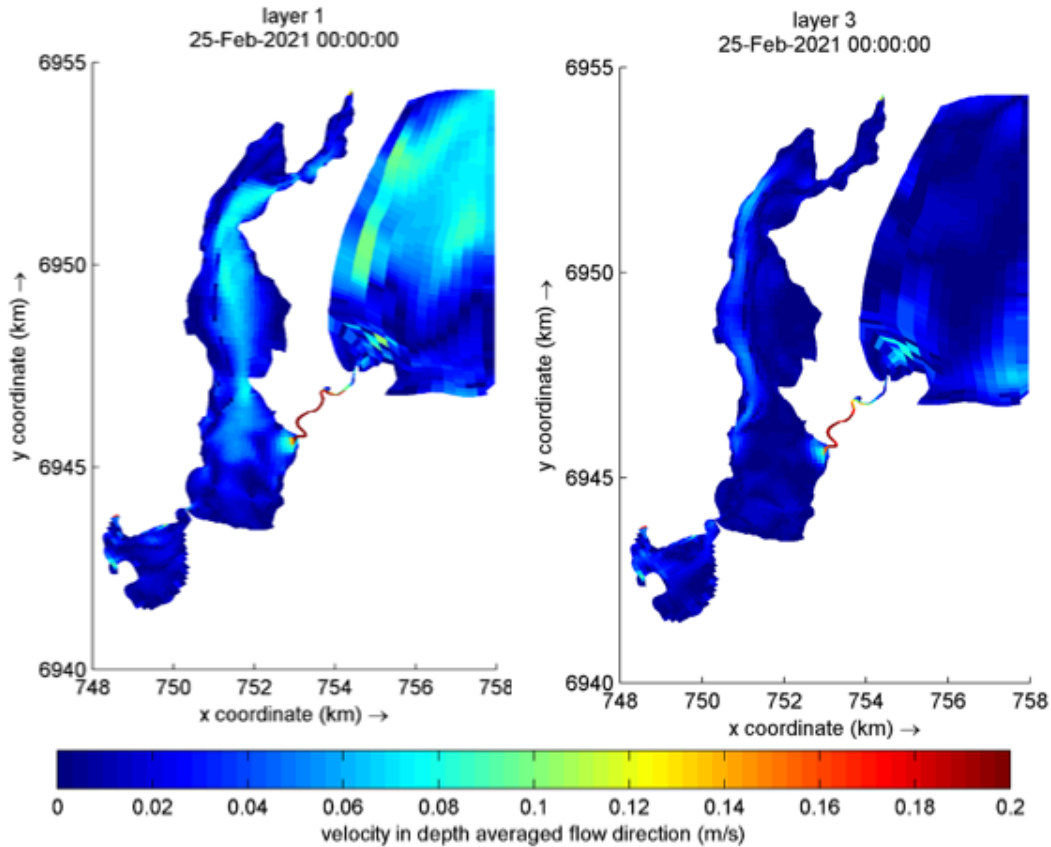


Figura 3. Padrões de velocidades médias ( $m.s^{-1}$ ) de superfície e de fundo no corpo de água lagunar. Fonte: Silva, 2021. Tese de doutorado em elaboração pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Sanitária.

Até o momento foram sistematizados e analisados os dados parciais de pH, temperatura, salinidade e concentração de oxigênio dissolvido (OD), o que permite avaliar a extensão do desenvolvimento da zona morta promovida pelo lançamento do efluente tratado da CASAN, rico em nutrientes e matéria orgânica (dos Santos, 2018). Ensaio com a comunidade planctônica e macroalgal da laguna foram realizados para avaliação do efeito agudo. Estes procedimentos seguiram métodos internacionalmente aceitos para a caracterização da toxicidade de efluentes. Experimento de metabolismo da coluna da água, produção líquida e respiração, foi realizado em 28/01/2021 para comparar amostras coletadas no local do acidente (Ponto 0) e em área controle (amostra coletada no trapiche da Cooperbarco, Centrinho da Lagoa).

Os parâmetros físico-químicos da água revelaram efeito significativo do efluente sobre a disponibilidade de OD e valores de pH. Ambientes relacionados ao ponto 0, quando sob influência direta da lama, apresentaram valores de DO entre  $0,1 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $0,9 \text{ mg.L}^{-1}$  (Fig. 4). Estes valores são equivalentes aos observados nos ambientes mais profundos da lagoa (profundidades superiores a 2,5 m e com salinidade superior a 30), onde se desenvolve uma zona morta ( $\text{DO} < 2,0 \text{ mg.L}^{-1}$ ) formada periodicamente, influenciada pela disponibilidade de luz e pela estratificação salina da coluna da água de áreas mais profundas do sistema.

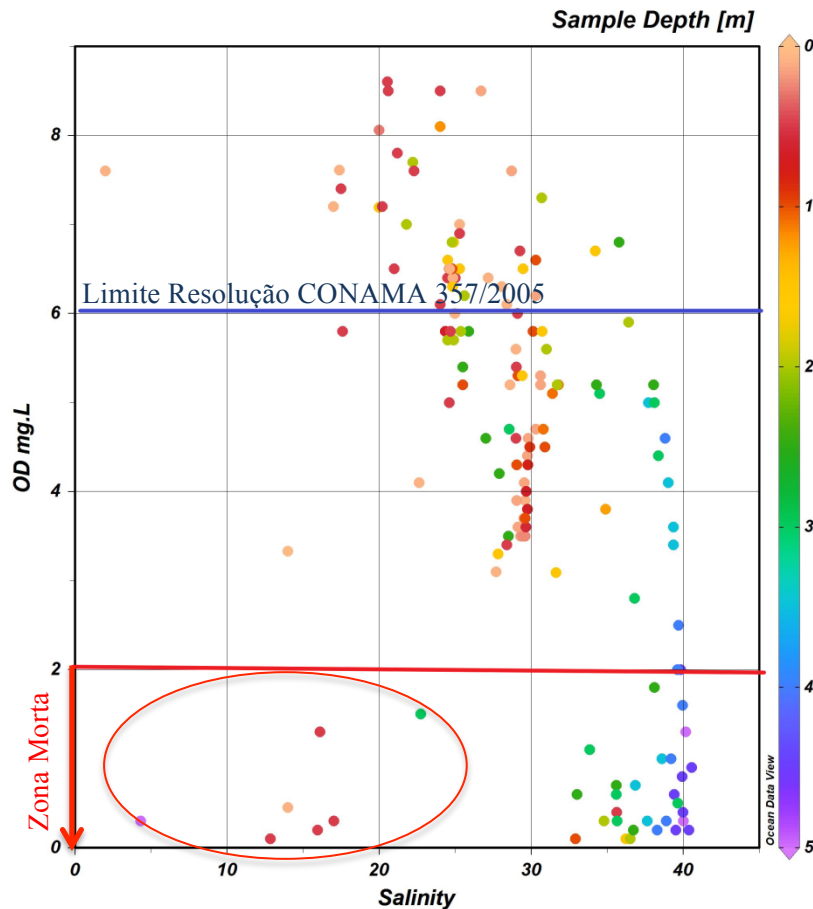


Figura 4: Concentração de oxigênio dissolvido ( $\text{mg.L}^{-1}$ , eixo y), salinidade (eixo x) e profundidade, em gradiente de cores (m, eixo z), de cada uma das amostras analisadas até o presente momento (N=173). As amostras do Ponto 0 e adjacências sob condição de hipóxia (zona morta) estão destacadas no canto inferior esquerdo.



Considerando os valores internacionalmente aceitáveis para a caracterização de um ambiente saudável (Barros et al. 2017, Bercovich et al. 2019), pode-se afirmar que a carga de sólidos suspensos totais (previsto de 5,08 toneladas) lançados pelo evento está comprometendo a vida da comunidade bêntica, organismos que vivem sobre e dentro do sedimento, como poliquetas e berbigão (a presença de invertebrados e peixes mortos reforçam essa hipótese, Figura 5). Isso ocorre, pois o denso material rico em matéria orgânica se depositou no sedimento, sufocando-o, impedindo a oxigenação do sedimento e a circulação da água na interface sedimento-água, por onde esses organismos retiram seu alimento e efetuam as trocas gasosas para o seu metabolismo. Além disso, a alta concentração de matéria orgânica, ao sofrer a decomposição, gera a diminuição de oxigênio e promove condições hipóxicas ( $OD < 2 \text{ mg.L}^{-1}$ ) ou mesmo a anoxia ( $OD = 0$ ), como registrado nesse monitoramento. Reforça-se a elevada quantidade de amostras apresentando concentração de OD em desconformidade à legislação ambiental (CONAMA 357/2005), o que é o resultado da elevada taxa de respiração associada a carga de matéria orgânica do sistema, incrementada pelo processo de degradação e consequente eutrofização da laguna, conforme Silva et al. (2017).



Figura 5: Animais mortos coletados no ponto 0 no dia 09 de fevereiro de 2021, as 9:00 (vento NNE fraco). Destaca-se que no referido dia observou-se abundante acúmulo de material lamoso distribuído em manchas nas áreas mais rasas do referido ponto.

Os ensaios realizados em campo para avaliar o balanço de oxigênio na coluna da água do Ponto 0 e do controle (água do entorno do trapiche da Cooperbarco), revelaram uma demanda respiratória 11 vezes superior associada ao elevado teor de matéria orgânica da água sob influência da LEI-CASAN. Destaca-se ainda que a fotossíntese (Produção Primária Líquida), onde se espera a entrada de oxigênio pela comunidade do fitoplâncton, apresentou resultados negativos na amostra do Ponto 0, ou seja, mesmo na presença de luz, o consumo de oxigênio foi muito superior a sua produção (Tab. 1). Essa condição corrobora os baixos valores de OD registrados nas águas rasas do Ponto 0 e entorno. Os valores de respiração e de fotossíntese medidos na amostra controle estão de acordo com os valores já medidos na Lagoa da Conceição (Tabela 1).

Tabela 1: Avaliação do efeito do efluente LEI-CASAN (amostra do Ponto 0) sobre a fotossíntese e respiração da comunidade planctônica (metabolismo da coluna da água), desenvolvido no dia 28/01/2021, comparação feita com amostra controle.

mgO.L <sup>-1</sup> .h <sup>-1</sup>	Casan – Pto Zero	Trapiche Cooperbarco
Fotossíntese	- 1.45	0.29
Respiração	1.77	0.16

Os ensaios com macroalgas *Sargassum vulgare* (alga parda), *Jania crassa* (alga vermelha) e *Ulva lactuca* (alga verde), coletadas na região, demonstraram que a exposição de 12 a 76 horas aos efluentes diluídos (coletados no Ponto Zero no dia 26/01/2021) não produziu letalidade desses organismos. Observou-se a manutenção do rendimento quântico relativo, associado ao funcionamento dos fotossistemas dessas algas, em relação aos controles (Fig. 6). O aumento do referido descritor em amostras de *Sargassum*, exposto à concentração de 70% da água da laguna impactada pelo efluente LEI-CASAN, sugere a presença de nutrientes dissolvidos que podem favorecer, em um primeiro momento, a elevação deste aspecto da fluorescência da clorofila a. Experimento mais longos estão em curso para a avaliação da toxicidade na escala de semanas.

Rendimento Quântico Relativo

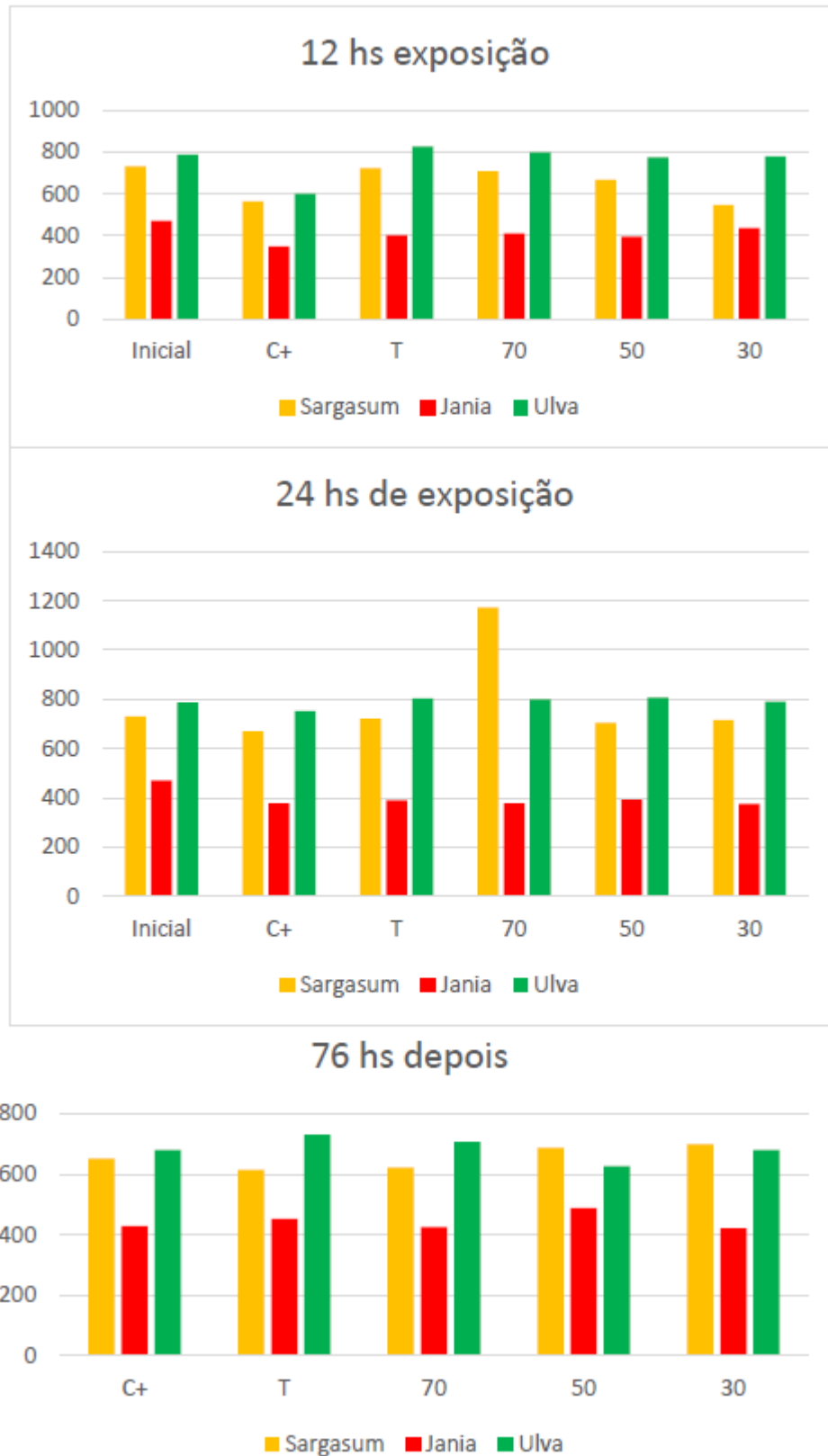


Figura 6: Efeito agudo (12-76 hs) de diferentes concentrações de efluentes da LEI diluídos na



Lagoa da Conceição, amostrados no Ponto 0 em 26/01/2021, sobre o rendimento quântico relativo de macroalgas *Sargassum*, *Jania* e *Ulva*. Onde: C+, controle pela água do mar filtrada; T, água do Ponto 0, área de maior acúmulo de efluente e lama; 70, 70% da água do ponto zero diluída em 30% de água do mar filtrada; 50, 50% da água do ponto zero diluída em 50% de água do mar filtrada; 30, 30% da água do ponto zero diluída em 70% de água do mar filtrada.

### **Considerações preliminares**

Considerando os impactos potenciais do efluente da LEI-CASAN à curto, médio (ex. metabolismo do ecossistema e desenvolvimento de zonas mortas) e longo prazo (ex. alteração do estado trófico e da estrutura da cadeia alimentar) e sua possível disseminação para outras regiões na laguna, recomendamos a continuidade do monitoramento (em toda laguna) por no mínimo 6 meses e início imediato das ações de mitigação e restauração ecossistêmica.

Este evento incrementou o estado trófico da Lagoa da Conceição, um sistema lagunar suscetível a eutrofização e que já vinha sofrendo com esse tipo de poluição (Cabral et al. 2019). Temos como hipótese, seguindo o que tem sido descrito em outros ecossistemas costeiros que sofrem com o efeito crônico da eutrofização, de que o evento LEI-CASAN incrementou o sistema com uma carga significativa de nutrientes e matéria orgânica a ponto de alterar o status trófico do sistema descrito por Silva et al. (2017). A alta suscetibilidade da Lagoa da Conceição frente à entrada de matéria, associada a dinâmica biogeoquímica dos elementos N e P, pode promover uma retroalimentação de P, o qual interage ativamente com os sedimentos da laguna e é o nutriente limitante para a produção primária do sistema. O desbalanço entre a razão molar de N, P e silicato, associado ao evento LEI-CASAN, pode comprometer o equilíbrio da cadeia alimentar, favorecendo o desenvolvimento de populações de macroalgas e microalgas, com potencial de produzir toxicidade, incrementando o processo de eutrofização e de perda de saúde do sócio-ecossistema da Lagoa da Conceição. Ressalta-se que a falta de medidas imediatas de mitigação, para reduzir a carga de matéria orgânica e nutrientes, pode elevar o sistema lagunar a ultrapassar seu limite ecológico (Fig. 7), amplificando o volume e a frequência de eventos com formação de zona morta. Apesar das informações disponíveis não permitirem a determinação de quando esse colapso deve acontecer, deve-se alertar que tal evento pode ser antecipado por eventos extremos relacionados ao aquecimento do planeta, que diminui a capacidade das águas

em solubilizar o oxigênio, ou ao lançamento de poluentes diversos ou em maior quantidade, como o que ocorreu no evento LEI-CASAN. Portanto, reforçamos a necessidade de adoção de medidas que venham a intervir no sistema, utilizando métodos ecologicamente planejados, para a remoção de nutrientes e restauração do estado resiliente, observado antes da consolidação do processo de eutrofização.

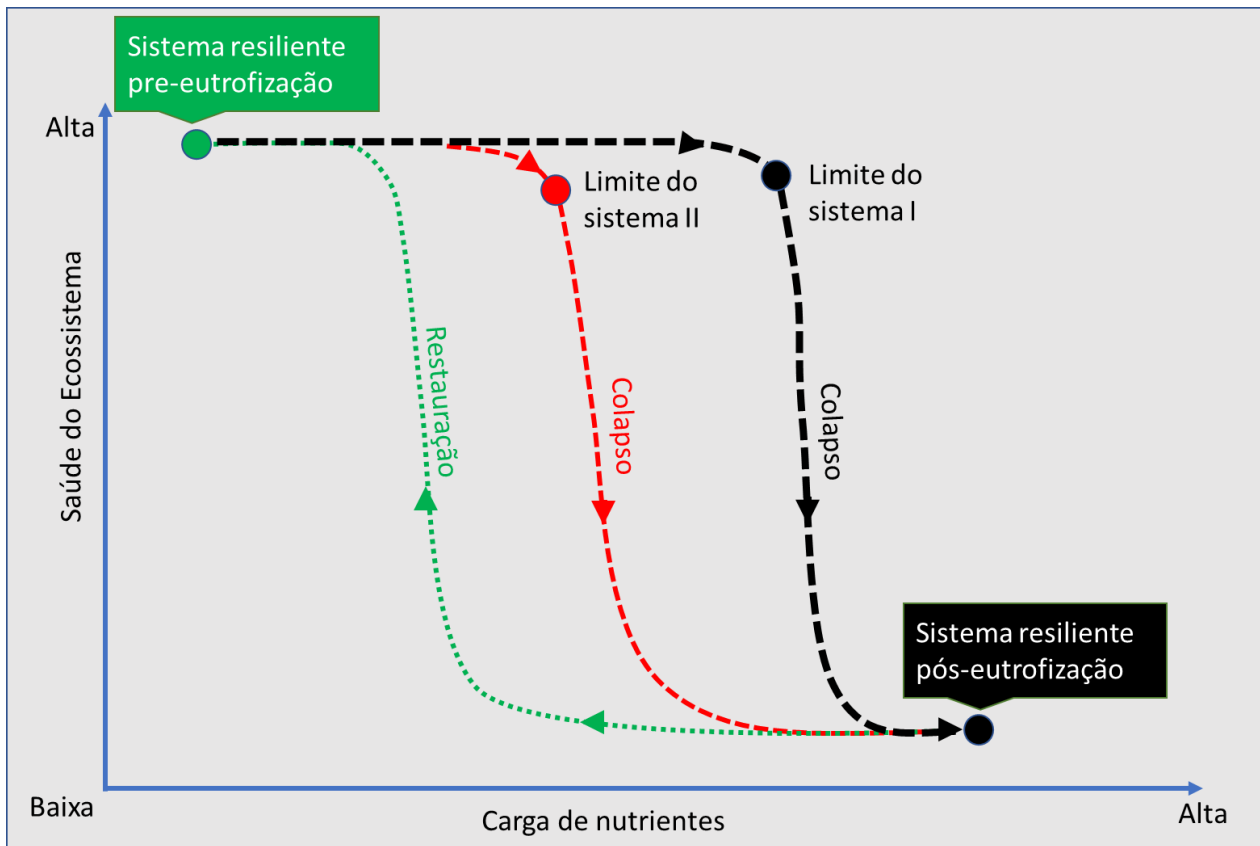


Figura 7: Representação teórica do efeito do incremento de nutriente no processo de eutrofização e consequente perda de saúde da Lagoa da Conceição (Adaptado a partir de Mee 2005). Na curva tracejada em preto observa-se o efeito do incremento de nutrientes na perda gradual da saúde do ecossistema até seu limite funcional (limite do sistema I), quando se deve observar perda brusca da complexidade ecológica (i.e. diversidade e regulação) e da saúde do ecossistema, com a expansão e consolidação da zona morta. Na linha tracejada vermelha observa-se a antecipação do limite do sistema (limite do sistema II) que pode estar relacionado a eventos relacionados às mudanças climáticas e/ou poluição por contaminantes diversos. No caso da adoção de medidas de mitigação que venham a promover a remoção dos nutrientes poderemos restaurar a

capacidade resiliente do sistema, promovendo uma condição que existia antes da consolidação do processo de eutrofização que observamos na Lagoa da Conceição.

A restauração da saúde do ecossistema Lagoa da Conceição é urgente, além de ser um direito previsto nas nossas leis orgânicas; seja por ser a laguna um ente da natureza pelo qual devemos resguardar a manutenção da sua dinâmica ecológica (ver PEL 00089/2018, Florianópolis); seja pelo direito dos bens comuns, da sociedade que compartilha desse ecossistema para as suas práticas culturais, econômicas, de subsistência e de lazer. Reforçamos que o planejamento das ações deverá assegurar o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade das diferentes formas de uso da região. É fundamental que o processo de restauração dos ambientes afetados pela LEI-CASAN contemple a revisão dos métodos de tratamento (para o sistema terciário) e de disposição dos efluentes da ETE em questão, até que alternativas mais robustas e seguras sejam discutidas e implantadas para garantir a saúde dos ambientes e a integridade das pessoas.

Reforçamos a importância de reestruturação do Comitê de Bacia da Lagoa da Conceição, para que este possa promover a articulação das ações que hoje estão em curso, contribuindo para o diagnóstico do incidente, suas causas e consequências, e para a busca de soluções com base na natureza. O Comitê deve buscar formas de divulgar amplamente os resultados dos monitoramentos, em desenvolvimento por várias instituições, promovendo debates com a comunidade sobre o estado atual da qualidade da água e ambiental da laguna. Com o envolvimento de todos, compreendendo a dimensão do problema sob a perspectiva ecossistêmica, poderemos encontrar as melhores soluções para mitigar os impactos e restaurar os ambientes degradados direta ou indiretamente pelo desastre do dia 25 de janeiro. Nesse processo reforçamos a necessidade de se consolidar os arranjos entre as instituições responsáveis e a sociedade, para que tanto o diagnóstico quanto as soluções sejam implementados com a maior brevidade possível.

Florianópolis, 12 de fevereiro de 2020

Assinam essa nota pesquisadoras e pesquisadores dos seguintes laboratórios e projetos:

- Projeto Ecoando sustentabilidade
- Laboratório de Biodiversidade e Conservação Marinha – LBCM (paulo.pagliosa@ufsc.br)
- Laboratório de Ficologia – LAFIC (paulo.horta@ufsc.br; rorig@gmail.com)
- Laboratório de Oceanografia Química e Biogeoquímica Marinha – LOQUI (alessandra.larissa@ufsc.br)
- Núcleo de Estudos do Mar (NEMAR)
- Veleiro Eco

## Referências

Barros, G. D., Fonseca, A. L. D. O., Santos, A. C. D., Fontes, M. L. S., Varela, A. R. D., & Franco, D. (2017). Nutrient distribution in a shallow subtropical lagoon, south Brazil, subjected to seasonal hypoxic and anoxic events. *Brazilian Journal of Oceanography*, 65(2), 116-127.

Bercovich, M. V., Schubert, N., Saá, A. C. A., Silva, J., & Horta, P. A. (2019). Multi-level phenotypic plasticity and the persistence of seagrasses along environmental gradients in a subtropical lagoon. *Aquatic Botany*, 157, 24-32.

Cabral, A., Bercovich, M. V., Fonseca, A. (2019). Implications of poor-regulated wastewater treatment systems in the water quality and nutrient fluxes of a subtropical coastal lagoon. *Regional Studies in Marine Science*, 29, 100672].

Mee, L. (2006). Reviving dead zones. *Scientific American*, 295(5), 78-85.

Santos, V. (2018). Disposição de efluentes tratados em uma lagoa de evapoinfiltração. Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. 148 p.

Silva, V.E.C., Franco, D., Fonseca, A.L., Fontes, M.L., Donnangelo, A.R. (2017). Space time evolution of the trophic state of a subtropical lagoon: Lagoa da Conceição, Florianópolis Island of Santa Catarina, Brazil. *RBRH* 22 (0).

