

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA

Mauricio Hoffmann Moreira

Efeitos da salinização sobre macrófitas de água doce

Porto Alegre

2022

Mauricio Hoffmann Moreira

Efeitos da salinização sobre macrófitas de água doce

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Botânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Botânica.

Orientadora: Prof^a Dr^a Alice Pita Barbosa

Coorientador: Prof. Dr. Ng Haig They

Porto Alegre

2022

CIP - Catalogação na Publicação

Moreira, Mauricio Hoffmann
Efeitos da salinidade sobre macrófitas de água doce
/ Mauricio Hoffmann Moreira. -- 2022.
96 f.
Orientadora: Alice Pita-Barbosa.

Coorientador: Ng Haig They.

Dissertação (Mestrado) -- Universidade Federal do
Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Programa
de Pós-Graduação em Botânica, Porto Alegre, BR-RS,
2022.

1. salinização. 2. macrófitas. 3. fitoplâncton. I.
Pita-Barbosa, Alice, orient. II. They, Ng Haig,
coorient. III. Título.

Mauricio Hoffmann Moreira

Efeitos da salinização sobre macrófitas de água doce

Dissertação submetida ao Programa de Pós-graduação em Botânica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), como requisito parcial para a obtenção do título de mestre em Botânica.

Aprovado com louvor em 26 de maio de 2022.



Profª Drª Alice Pita Barbosa - Orientadora

Ng Haig They

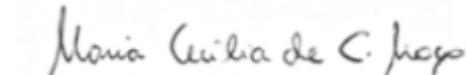
Prof. Dr. Ng Haig They - Coorientador



Prof. Dr. Junior Borella - FURG



Profª Drª Luciane Crossetti - UFRGS



Profª Drª Maria Cecília Chiara Moço - UFRGS

Local de execução e instituições financiadoras

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001, nas dependências do Instituto de Biociências – IB, no Laboratório Evolução, Ecologia Química e Quimiotaxonomia – LEEQTAX, pertencente ao Departamento de Botânica e ao Centro de Biotecnologia da UFRGS, e do Instituto de Pesquisas Hidráulicas – IPH, no Laboratório de Limnologia e Ecotecnologia – LADETEC.

Dedicatória

Dedico este trabalho a todos(as) trabalhadores(as)/estudantes da pós-graduação, que vivem e sobrevivem do/no meio acadêmico, a todos os que passam e passaram pelas angústias e obstáculos da profissão não reconhecida de pesquisador, a todos que superaram, aos que por motivos diversos, desistiram, aos que por infeliz contradição de nossa sociedade, não sobreviveram. Ousando lutar, não nos restará outra opção, senão vencer!

Agradecimentos

Este estudo é fruto de um trabalho coletivo, feito a muitas mãos, olhos e ouvidos, mas também, patas, focinhos, antenas, folhas e caules, com ênfase especial para as folhas e caules. A cada um(a), gostaria de agradecer, e dizer que este texto não exprime sequer uma pequena parte do reconhecimento que merecem. De forma particular e redobrada, agradeço:

à minha orientadora, Prof^a Dr^a Alice Pita Barbosa, e ao meu coorientador, Prof. Dr. Ng Haig They. Desde que entrei para o mestrado, vocês desempenharam um papel fundamental na minha vida, e não somente na elaboração do trabalho de dissertação. Obrigado pelo acolhimento, pelos ensinamentos, pelas trocas de conhecimento e afeto, pelo companheirismo, colaboração, e pela paciência com um jovem biólogo, cheio de ideias, mas com pouquíssima experiência em “O que fazer?”;

à Prof^a Lúcia Helena Ribeiro Rodrigues e ao Prof. David da Motta Marques, pelo acolhimento, disposição de ajuda e pelo privilégio concedido de utilizar da infraestrutura dos laboratórios do IPH e dos materiais sem os quais a presente pesquisa não seria possível;

ao Prof. Geraldo Soares e a Prof^a Caroline Turchetto pela colaboração, pelas trocas e pela infraestrutura do LEEQTAX;

aos colegas do Laboratório de Fisiologia Vegetal pelo auxílio em análises, em especial à Cibele;

a todos os colegas e trabalhadores(as) da UFRGS, em particular aos do Depto. de Botânica; à amizade e companheirismo de Gustavo, Dani, Denilson e Eduardo na jornada do mestrado;

a todos os trabalhadores e alunos do IPH, em particular à Fabiane, Guilherme, Jéssica e Louidi, pela colaboração e parceria no dia-a-dia do laboratório e nos experimentos;

aos valorosos companheiros da EECO;

à CAPES pela concessão da bolsa de estudos; à COMPG pelos auxílios financeiros em saídas de campo;

aos colegas de trabalho na Multiprest,

a todos amigos e amigas, em especial a Ariel, Bárbara, Henry, Rhuan e Thamara, por ocuparem um espaço especial em minha vida e me permitirem partilhar dessa existência com vocês;

e incondicionalmente, à minha família, por serem a base de minha vida, por acreditarem e dedicarem parte de suas vidas para minha construção como criança, como estudante, como trabalhador, como pessoa: em especial à minha mãe, Andreia; minha avó materna, Zenaide; meu pai, Cesar; minha avó paterna, Esther; minha dinda, Raquel; e ao irmão, Victor.

Este trabalho tem a autoria simbólica de todos vocês.

"Nada ocorre na natureza em forma isolada. Cada fenômeno afeta a outro, e é por seu turno influenciado por este; e é em geral o esquecimento desse movimento e dessa interação universal o que impede a nossos naturalistas perceber com clareza as coisas mais simples."

(Friedrich Engels)

Resumo

O processo de salinização, quando potencializado pela ação humana, caracteriza um grave problema ambiental que ameaça a qualidade das águas doces em todo o mundo. Ecossistemas aquáticos de água doce, e até mesmo de águas salobras, podem experimentar perdas acentuadas de biodiversidade e modificações em sua estrutura e funcionamento, como resultado do aumento da salinidade. A redução da riqueza e abundância de macrófitas aquáticas não-halófitas nesses ambientes pode trazer consequências indesejáveis e duradouras para ambientes aquáticos, devido a seu importante papel na regulação de características físicas, químicas e ecológicas. Em lagoas rasas, sobretudo, macrófitas podem contribuir para a manutenção de níveis reduzidos de nutrientes na coluna d'água, e de um estado de águas claras, a partir de efeitos de retroalimentação positiva. Nosso objetivo neste trabalho é analisar os efeitos diretos e indiretos da salinização em macrófitas não-halófitas e suas consequências para os ecossistemas de água doce. Para isso, esta dissertação se estrutura em dois capítulos; um artigo de revisão de literatura, em que revisamos os efeitos fisiológicos e ecológicos da salinização em macrófitas aquáticas, seus mecanismos e limites de tolerância à salinidade; e um artigo experimental, em que analisamos os efeitos de diferentes níveis de salinidade sobre *Ceratophyllum demersum* L., uma espécie de macrófita submersa não-halófitas, o perifíton e o fitoplâncton. Nossos resultados indicam: a existência de mecanismos eficientes de tolerância à salinidade em macrófitas não-halófitas, que as permitem tolerar amplos níveis de salinidade, de aproximadamente 5 g L⁻¹; a ausência de diferença significativa da tolerância à salinidade entre diferentes formas de vida de macrófitas; a presença de sintomas similares aos experimentados por plantas terrestres em macrófitas de ampla distribuição, em resposta ao aumento na salinidade; potencial favorecimento do crescimento de microrganismos planctônicos, como algas e cianobactérias, em detrimento de macrorganismos bentônicos, como macrófitas aquáticas, em resposta ao aumento na salinidade; e potencial associação do processo de salinização com a eutrofização, que é considerada como uma das principais causas da mudança entre estados alternativos em lagoas rasas.

Palavras chave: salinidade. NaCl. plantas aquáticas. fitoplâncton. estados alternativos estáveis

Abstract

The salinization process, when enhanced by human action, is a serious environmental problem that threatens the quality of freshwaters around the world. Freshwater aquatic ecosystems, and even brackish waters, can experience remarkable losses of biodiversity and changes in their structure and functioning as a result of increased salinity. Reduced richness and abundance of non-halophyte macrophytes can bring undesirable and long-lasting consequences for aquatic environments, due to their important role in regulating physical, chemical, and ecological parameters. In shallow lakes, macrophytes can particularly contribute to the maintenance of reduced nutrient levels in the water column, water flow stabilization, and a clear water state, due to their provision of positive feedback effects. Our aim in this study is to analyze the direct and indirect effects of increased salinity on non-halophyte macrophytes and its consequences to aquatic ecosystems. Hence, this dissertation is structured into two chapters; a literature review article, in which we review the physiological and ecological effects of salinization on aquatic macrophytes, their mechanisms and salinity tolerance limits; and an experimental article, in which we analyze the effects of different salinity levels on *Ceratophyllum demersum* L., a submersed non-halophyte macrophyte species, on the periphyton and on the phytoplankton. Our results indicate: the existence of efficient salinity tolerance mechanisms in non-halophytic macrophytes, which allow them to tolerate broad salinity levels, approximately 5 g L⁻¹; the absence of significant difference in salinity tolerance among different macrophyte life forms; the presence of symptoms similar to those experienced by terrestrial plants in widespread macrophytes in response to increases in salinity; potential favoring of the growth of planktonic microorganisms, such as algae and cyanobacteria, over benthic macroorganisms, such as aquatic macrophytes in response to salinization; and potential association of the salinization process with eutrophication, which is considered as one of the main causes of regime shifts between alternative states in shallow lakes.

Keywords: salinity. NaCl. aquatic plants. phytoplankton. alternative stable states.

Sumário

Apresentação.....	14
Introdução geral	15
Objetivos	19
Objetivo geral:.....	19
Objetivos específicos:	19
Referências bibliográficas.....	20
Capítulo I.....	23
Salty freshwater macrophytes: the effects of salinization in freshwaters upon non-halophyte aquatic plants	23
Abstract	23
1. Introduction	25
2. Salinization in inland waters: definition, causes and effects	27
3. Freshwater macrophytes and their ecological strategies to cope with salinity increase.....	29
3.1. <i>Salinity tolerance classification of freshwater macrophytes</i>	<i>30</i>
3.2. <i>Salinity tolerance mechanisms in freshwater macrophytes</i>	<i>35</i>
4. Effects of salinization on freshwater macrophytes	39
4.1. <i>Physiological, morphological and anatomical effects of salinity on freshwater macrophytes.....</i>	<i>40</i>
4.2. <i>Ecological effects of salinization upon freshwater macrophytes</i>	<i>43</i>
5. Concluding remarks.....	52
6. Future prospects	53
Acknowledgements	54
Funding.....	54
References	55
Supplementary material	65
Capítulo II.....	69
Abstract	69
1. Introduction	70
2. Material and methods.....	72
2.1. <i>Sample source and growth conditions</i>	<i>72</i>
2.2. <i>Treatments and experimental design.....</i>	<i>73</i>
2.3. <i>Samples collection</i>	<i>73</i>
2.4. <i>Growth analysis.....</i>	<i>74</i>
2.5. <i>Visual symptoms.....</i>	<i>74</i>
2.6. <i>Water and soluble phenolic content</i>	<i>74</i>
2.7. <i>Phosphorus quantification</i>	<i>75</i>
2.8. <i>Ionic quantification.....</i>	<i>75</i>
2.9. <i>Reactive oxygen species</i>	<i>76</i>

2.10.	<i>Phytoplankton and periphyton composition and abundance</i>	76
2.11.	<i>Statistical analyses</i>	77
3.	Results	77
3.1.	<i>Visual symptoms</i>	77
3.2.	<i>Growth</i>	78
3.3.	<i>Water and soluble phenolic content</i>	78
3.4.	<i>Phosphorus quantification</i>	78
3.5.	<i>Ionic quantification</i>	79
3.6.	<i>Reactive oxygen species</i>	79
3.7.	<i>Phytoplankton and periphyton composition and abundance</i>	79
4.	Discussion	86
5.	Conclusion	90
6.	Concluding remarks	91
	Acknowledgements	91
	Funding	92
	References	93

Apresentação

Este trabalho foi concebido a partir de reflexões acerca das problemáticas que ameaçam a qualidade das águas costeiras e os ecossistemas de água doce do litoral norte do Rio Grande do Sul. A partir de incursões a campo e estudos sobre o sistema lagunar-estuarino Tramandaí, definimos a interação entre a salinidade e macrófitas aquáticas como nosso principal tema de estudo. Deu-se assim pelo fato do sistema lagunar estuarino Tramandaí apresentar larga influência da salinidade marinha, devido a mistura das águas continentais com a água do mar. A salinidade nas lagoas que compõem tal sistema pode variar bruscamente, desde valores próximos a $0,5 \text{ g L}^{-1}$, até valores superiores a 10 g L^{-1} , de acordo com as oscilações do nível mar, o que caracteriza um efeito de salinização primária. O gradiente de salinidade gerado pela influência marinha se estende desde a Laguna Tramandaí até as Lagoas das Custódias e do Gentil, e caracteriza não apenas a dinâmica e morfologia do sistema, mas também a distribuição espacial e temporal das comunidades de macrófitas e outros organismos aquáticos. Uma ameaça inerente a esse sistema são os efeitos da ação antrópica, que a partir da agricultura, urbanização e efeitos das mudanças climáticas, podem potencializar a salinização de todo o sistema lagunar.

Segundo Würdig (1987), as Lagoas das Custódias e Gentil seriam as lagoas deste sistema com níveis mais altos de transparência, e com maior cobertura de macrófitas submersas, com alta predominância da macrófita aquática submersa *Ceratophyllum demersum* L. Ao início das incursões a campo, essas informações contrastaram com a dificuldade que tivemos de encontrar a macrófita *C. demersum*, e com o fato da espécie ser considerada, desde 2014, uma espécie ameaçada extinção pela Lista da Flora Ameaçada do Rio Grande do Sul (Governo do Estado Rio Grande do Sul, 2014).

Tendo em vista a ameaça que a salinização representa para os ecossistemas de água doce e para as macrófitas aquáticas, em especial para a macrófita *C. demersum*, desenvolvemos o presente estudo.

Introdução geral

A salinidade é um componente natural de ecossistemas aquáticos, e pode ser definida para águas continentais como a concentração de todos os componentes iônicos presentes em um meio (Hutchinson, 1957). A composição e concentração iônica de ambientes aquáticos pode variar conforme diversos fatores de influência (Cañedo-Argüelles et al., 2019a). Águas continentais com influência marinha apresentam uma tendência de composição iônica com prevalência de íons de cloreto (Cl^-), e sódio (Na^+), e em menor parte, magnésio (Mg^{2+}), sulfato (SO_4^{2-}), cálcio (Ca^{2+}) e potássio (K^+). A composição iônica de águas continentais sem influência marinha tende a ser mais variável e pode apresentar uma prevalência de íons Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , carbonatos (CO_3^{2-}) e bicarbonatos (HCO_3^-) (Alcocer & Escobar, 1993). Ambientes aquáticos salinos podem ser basicamente de dois tipos: os primariamente salinos, localizados em bacias endorreicas, e/ou zonas áridas ou semiáridas, onde a salinidade alta se origina a partir do influxo de sais em sistemas hidrologicamente fechados, e/ou altas taxas de evaporação em comparação às taxas de precipitação; e os secundariamente salinos (ou salobros), que apresentam elevada concentração de sais oriundos da influência marinha, pela intrusão de sal marinho e spray marinho em sistemas de água doce (Alcocer & Escobar, 1993; Williams & Sherwood, 1994; Waiser & Robarts, 2009).

A salinização pode ser compreendida como um processo de aumento sistemático da salinidade em águas continentais, originado por fatores naturais (salinização natural), ou de origem humana (salinização antrópica) (Williams, 2001). A salinização antrópica pode ser causada por fatores relacionados à agricultura – como o uso excessivo de água para irrigação, a irrigação de áreas com maior aridez sem drenagem adequada, a conversão da vegetação nativa de raízes profundas, o uso excessivo de fertilizantes; à elevação dos lençóis freáticos; à mineração; à queima de combustíveis fósseis; à descarga de efluentes da indústria; ao uso de sais para degelo de estradas, ao crescente aumento da urbanização, e em escala global, aos efeitos das mudanças climáticas, que resultam, sobretudo, no aumento do nível do mar (Zimmermann-Timm, 2007; Grassl & Hupfer, 2016; Kaushal et al., 2018; Cañedo-Argüelles et al., 2019b; Iglesias, 2020). A salinização foi, por muito tempo, considerada um problema restrito a zonas áridas ou semiáridas, devido à prevalência de fatores naturais (primários e secundários) que podem provocar aumento da

salinidade (Williams, 1999; Zimmermann-Timm, 2007). A expansão e o acúmulo dos efeitos da intervenção humana na natureza, no entanto, levam-nos hoje a considerar a salinização como um processo de proporções globais, e uma das principais ameaças aos ecossistemas aquáticos continentais (Williams, 2001; Cañedo-Argüelles et al., 2013; Iglesias, 2020).

Estima-se que atualmente a salinização afete mais de 500 milhões de pessoas em todo o mundo, com mais de 1.128 Gha de terras afetadas, sendo somente a salinização secundária, responsável por afetar entre 460 e 960 Mha de terras, enquanto a salinização induzida pela irrigação, responsável por afetar 0.25-0.5 Mha ano⁻¹ globalmente (Wicke et al., 2011). Estima-se que 37% dos rios do território contíguo dos EUA estejam afetados pela salinização, e segundo modelagens dos efeitos do aumento da salinidade em ambientes aquáticos, até o final do século XXI deve ocorrer um aumento de condutividade > 100% e 50% em 34% e 50% dos rios nos EUA, respectivamente (Olson, 2019).

Os impactos da salinização nos ambientes aquáticos de água doce ainda são pouco compreendidos, em grande parte devido à complexidade de suas interações com diferentes fatores bióticos e abióticos (James et al., 2009). O aumento da salinidade pode ser responsável por modificar processos físicos, químicos e biológicos, dentre eles o pH, a turbidez, a ciclagem de energia e nutrientes, a diversidade biológica, as relações tróficas e os serviços ecossistêmicos fornecidos pela biota (Herbert et al., 2015; Cañedo-Argüelles et al., 2019b; van Dijk et al., 2019). A biota de águas continentais com influência marinha pode ser diferentemente influenciada em águas continentais com e sem influência marinha, uma vez que a capacidade de tolerância de organismos de água doce tende a ser consideravelmente menor do que a de organismos de ambientes salobros (Williams, 2001). A salinização de ecossistemas sem influência marinha, com diversidade reduzida ou inexistente de organismos halotolerantes ou halofíticos, pode levar à inviabilização completa do desenvolvimento de vida nesses ambientes, ou ainda, favorecer o crescimento de microrganismos com rápido desenvolvimento e taxas evolutivas elevadas, como algas e cianobactérias, em detrimento de macrorganismos, de desenvolvimento lento e taxas evolutivas reduzidas, como macrozoobentos e macrófitas aquáticas (Telesh et al., 2011, 2013).

Macrófitas aquáticas podem ser definidas como plantas capazes de ser vistas a olho nu que enraizadas ou não, crescem permanentemente ou sazonalmente em

águas doces ou salobras, de modo submerso, emerso ou flutuando na coluna d'água (Irgang & Gastal, 1996). A diversidade mundial de macrófitas aquáticas em águas doces e salobras é estimada em 3457 espécies, 350 delas endêmicas para os neotrópicos (Murphy et al., 2019). A região do mundo com maior diversidade α de macrófitas está localizada no Brasil, no *hotspot* da região de Brasília/Goiás (10–20 °S; 40–50 °W) (Murphy et al., 2019).

Macrófitas desempenham papéis importantes em ambientes aquáticos, pois influenciam características físicas e químicas da água e sedimento, como a hidrodinâmica, pH, disponibilidade de nutrientes, e processos ecológicos, uma vez que servem como alimento para peixes e aves, de abrigo para o zooplâncton e espécies de peixes, e são importantes competidoras por luz e nutrientes com o fitoplâncton (Jeppesen et al., 1998; Ferreira et al., 2018; Dalla Vecchia et al., 2020).

Em lagoas rasas, macrófitas aquáticas podem ser responsáveis pela manutenção de um estado de águas claras e baixa concentração de nutrientes, a partir de efeitos de retroalimentação positiva, que estimulam seu próprio crescimento em detrimento de organismos fitoplânctônicos (Jeppesen et al., 1998; Ferreira, 2009). O declínio populacional de macrófitas pode levar a desestabilização desses efeitos de retroalimentação positiva e contribuir para a alternância de um estado de águas claras dominadas por macrófitas, para um estado de águas túrbidas dominadas por algas e/ou cianobactérias (Scheffer et al., 1993; Janssen et al., 2021).

O principal causador dessa alternância é compreendido como o enriquecimento nutricional, causado por concentrações exacerbadas de elementos como o fósforo (P) e o nitrogênio (N), o que leva ao aumento da produção primária de algas e cianobactérias, e caracteriza o processo de eutrofização (Scheffer et al., 1993; Scheffer & Jeppesen, 2007). Para além da eutrofização, reconhece-se que a salinização pode ter grande importância nesse processo de alternância, devido ao papel da salinidade enquanto moderador da distribuição e abundância de macrófitas e outros organismos dulcícolas (Sim et al., 2006; Telesh et al., 2013; Lind et al., 2018; Hébert et al., 2022).

Conhecemos relativamente pouco a respeito dos limites de tolerância à salinidade da biota dulcícola (Kaijser et al., 2019). Em linhas gerais, táxons microplanctônicos, como protistas e cianobactérias, tendem a apresentar maior tolerância à salinidade que táxons macrobentônicos, como macrófitas aquáticas e macrozoobentos, devido a presença de mecanismos eficientes de osmorregulação e

exclusão iônica (Kirst, 1990). Dentre as macrófitas aquáticas, sugere-se que macrófitas de ampla distribuição apresentem maior potencial de tolerância a diferentes agentes estressores, dada a ocorrência múltipla de ameaças à vida aquática em nível global, oriundas dos efeitos das mudanças climáticas, da eutrofização, da contaminação, da poluição e da fragmentação de habitats (Chambers et al., 2008). Alguns estudos sugerem que macrófitas de água doce (não-halófitas) de ampla distribuição seriam capazes de tolerar salinidades de até 4 g L⁻¹, enquanto espécies hábito submerso apresentariam uma menor capacidade de tolerância, de até 2 g L⁻¹ (Hart et al., 1991; James et al., 2003). Grande parte das evidências utilizadas para tais generalizações são baseadas nos dados de campo fornecidos por Brock, (1981), Brock & Lane (1983), Brock & Shiel (1983), sobre a distribuição de macrófitas em relação à salinidade em áreas úmidas salinizadas na Austrália (Hart et al., 1991; James et al., 2003).

Dada a intensificação dos processos ambientais de origem antrópica que ameaçam a qualidade de água, a biodiversidade e os processos ecológicos nos ambientes aquáticos de água doce, e considerando importância das macrófitas aquáticas para esses ambientes, é fundamental que construamos uma compreensão mais ampla dos limites de tolerância à salinidade das macrófitas não-halófitas de ampla distribuição; dos efeitos diretos e indiretos da salinidade em macrófitas aquáticas; dos mecanismos de tolerância empregados por macrófitas na tolerância/evitação do estresse salino; de como os efeitos da salinidade em macrófitas aquáticas podem modificar os ecossistemas de água doce.

Para isso, estruturamos o presente trabalho em dois capítulos – em um movimento do nível geral ao específico – uma revisão de literatura e um estudo experimental. No Capítulo I apresentamos uma revisão de literatura em que exploramos os limites de tolerância à salinidade de macrófitas não-halófitas de ampla distribuição, os efeitos da salinidade sobre as macrófitas nível individual e ecológico, seus mecanismos de tolerância e evitação ao estresse salino. No Capítulo II apresentamos um artigo experimental com *Ceratophyllum demersum* L., uma macrófita submersa cosmopolita e não-halófita, cultivada em solução nutritiva contendo cinco níveis de salinidade (0-10 g L⁻¹), em que avaliamos os efeitos da salinidade sobre o crescimento, status hídrico, acúmulo de nutrientes e outros aspectos fisiológicos, assim como os efeitos da salinidade sobre a abundância do fitoplâncton e perifíton, e seu acúmulo de fósforo.

Objetivos

Objetivo geral:

Analisar os efeitos diretos e indiretos da salinização em macrófitas não-halófitas e suas consequências para os ecossistemas de água doce.

Objetivos específicos:

- I. Revisar os limites de tolerância à salinidade de macrófitas não-halófitas de ampla distribuição;
- II. Avaliar os efeitos da salinização sobre ecossistemas dulcícolas;
- III. Explorar os efeitos diretos e indiretos da salinização em macrófitas não-halófitas;
- IV. Examinar os mecanismos de tolerância/evitação do estresse salino em macrófitas não-halófitas.

Referências bibliográficas

- Alcocer, J., & E. Escobar, 1993. Athalassohalinity (on the concept of salinity in inland waters). *Hydrobiologia* 3: 81–88.
- Brock, M. A., 1981. 3. The ecology of halophytes in the south-east of South Australia. *Hydrobiologia* 81–82: 23–32.
- Brock, M. A., & J. A. K. Lane, 1983. The aquatic macrophyte flora of saline wetlands in Western Australia in relation to salinity and permanence. *Hydrobiologia* 105: 63–76.
- Brock, M. A., & R. J. Shiel, 1983. The composition of aquatic communities in saline wetlands in Western Australia. *Hydrobiologia* 105: 77–84.
- Cañedo-Argüelles, M., B. J. Kefford, C. Piscart, N. Prat, R. B. Schäfer, & C. J. Schulz, 2013. Salinisation of rivers: An urgent ecological issue. *Environmental Pollution Elsevier Ltd* 173: 157–167.
- Cañedo-Argüelles, M., B. Kefford, & R. Schäfer, 2019a. Salt in freshwaters: Causes, effects and prospects - Introduction to the theme issue. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 374:.
- Cañedo-Argüelles, M., B. Kefford, & R. Schäfer, 2019b. Salt in freshwaters: Causes, effects and prospects - introduction to the theme issue. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 374: 6.
- Chambers, P. A., P. Lacoul, K. J. Murphy, & S. M. Thomaz, 2008. Global diversity of aquatic macrophytes in freshwater. *Hydrobiologia* 595: 9–26.
- Dalla Vecchia, A., P. Villa, & R. Bolpagni, 2020. Functional traits in macrophyte studies: Current trends and future research agenda. *Aquatic Botany Elsevier B.V.* 167: 13.
- Ferreira, T. F., 2009. O papel das macrófitas submersas sobre a qualidade da água, restauração e conservação de lagos rasos subtropicais: estudo de caso, a Lagoa Mangueira. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Ferreira, T. F., L. O. Crossetti, D. M. L. Motta Marques, L. Cardoso, C. R. Fragoso, & E. H. van Nes, 2018. The structuring role of submerged macrophytes in a large subtropical shallow lake: Clear effects on water chemistry and phytoplankton structure community along a vegetated-pelagic gradient. *Limnologica Elsevier* 69: 142–154.
- Governo do Estado Rio Grande do Sul, 2014. DECRETO Nº 54.171, DE 30 DE JULHO DE 2018. Porto Alegre, 2.
- Grassl, H., & P. Hupfer, 2016. Salinisation of inland waters. 133–136.
- Hart, B. T., P. Bailey, R. Edwards, K. Hortle, K. James, A. McMahon, C. Meredith, & K. Swadling, 1991. A review of the salt sensitivity of the Australian freshwater biota. *Hydrobiologia* 210: 105–144.
- Hébert, M., C. C. Symons, M. Cañedo-argüelles, S. E. Arnott, A. M. Derry, V. Fugère, W. D. Hintz, S. J. Melles, L. Astorg, H. K. Baker, J. A. Brentrup, A. L. Downing, Z. Ersoy, C. Espinosa, J. M. Franceschini, A. T. Giorgio, N. Göbeler, D. K. Gray, D. Greco, E. Hassal, M. Huynh, S. Hylander, K. L. Jonasen, A. Kirkwood, & S. Langenheder, 2022. Lake salinization drives consistent losses of zooplankton abundance and diversity across coordinated mesocosm experiments. *Limnology And Oceanography Letters* .
- Herbert, E. R., P. Boon, A. J. Burgin, S. C. Neubauer, R. B. Franklin, M. Ardon, K. N. Hopfensperger, L. P. M. Lamers, P. Gell, & J. A. Langlely, 2015. A global perspective on wetland salinization: Ecological consequences of a growing threat to freshwater wetlands. *Ecosphere* 6: 1–43.
- Hutchinson, G. E., 1957. A treatise on limnology. Vol 1: Geography, physics and chemistry. John Wiley & Sons.
- Iglesias, M. C. A., 2020. A review of recent advances and future challenges in freshwater salinization. *Limnetica* 39: 185–211.
- James, K. R., B. Cant, & T. Ryan, 2003. Responses of freshwater biota to rising salinity levels and implications for saline water management: A review. *Australian Journal of Botany* 51: 703–713.
- James, K. R., B. T. Hart, P. C. E. Bailey, & D. W. Blinn, 2009. Impact of secondary salinisation

- on freshwater ecosystems: Effect of experimentally increased salinity on an intermittent floodplain wetland. *Marine and Freshwater Research* 60: 246–258.
- Janssen, A. B. G., S. Hilt, S. Kosten, J. J. M. de Klein, H. W. Paerl, & D. B. Van de Waal, 2021. Shifting states, shifting services: Linking regime shifts to changes in ecosystem services of shallow lakes. *Freshwater Biology* 66: 1–12.
- Jeppesen, E., M. Søndergaard, M. Søndergaard, & K. Christoffersen, 1998. *The Structuring Role of Submerged Macrophytes in Lakes*. Ecological Studies. Springer.
- Kaijser, W., S. Kosten, & D. Hering, 2019. Salinity tolerance of aquatic plants indicated by monitoring data from the Netherlands. *Aquatic Botany Elsevier* 158: 6.
- Kaushal, S. S., G. E. Likens, M. L. Pace, R. M. Utz, S. Haq, J. Gorman, & M. Grese, 2018. Freshwater salinization syndrome on a continental scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 115: 574–583.
- Kirst, G. O., 1990. Salinity tolerance of eukaryotic marine algae. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology* 41: 21–53.
- Lind, L., M. S. Schuler, W. D. Hintz, A. B. Stoler, D. K. Jones, B. M. Mattes, & R. A. Relyea, 2018. Salty fertile lakes: how salinization and eutrophication alter the structure of freshwater communities. *Ecosphere* 9: 19.
- Murphy, K., A. Efremov, T. A. Davidson, E. Molina-Navarro, K. Fidanza, T. C. Crivelari Betiol, P. Chambers, J. Tapia Grimaldo, S. Varandas Martins, I. Springuel, M. Kennedy, R. P. Mormul, E. Dibble, D. Hofstra, B. A. Lukács, D. Gebler, L. Baastrup-Spohr, & J. Urrutia-Estrada, 2019. World distribution, diversity and endemism of aquatic macrophytes. *Aquatic Botany Elsevier* 158: 35.
- Olson, J. R., 2019. Predicting combined effects of land use and climate change on river and stream salinity. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences* 374:.
- Scheffer, M., S. H. Hosper, M. L. Meijer, B. Moss, & E. Jeppesen, 1993. Alternative equilibria in shallow lakes. *Trends in Ecology and Evolution* 8: 275–279.
- Scheffer, M., & E. Jeppesen, 2007. Regime shifts in shallow lakes. *Ecosystems* 10: 1–3.
- Sim, L. L., J. M. Chambers, & J. A. Davis, 2006. Ecological regime shifts in salinised wetland systems. I. Salinity thresholds for the loss of submerged macrophytes. *Hydrobiologia* 573: 89–107.
- Telesh, I., H. Schubert, & S. Skarlato, 2013. Life in the salinity gradient: Discovering mechanisms behind a new biodiversity pattern. *Estuarine, Coastal and Shelf Science Elsevier Ltd* 135: 317–327.
- Telesh, I. V., H. Schubert, & S. O. Skarlato, 2011. Revisiting Remane's concept: Evidence for high plankton diversity and a protistan species maximum in the horohalinicum of the Baltic Sea. *Marine Ecology Progress Series* 421: 1–11.
- van Dijk, G., L. P. M. Lamers, R. Loeb, P. J. Westendorp, R. Kuiperij, H. H. van Kleef, M. Klinge, & A. J. P. Smolders, 2019. Salinization lowers nutrient availability in formerly brackish freshwater wetlands; unexpected results from a long-term field experiment. *Biogeochemistry Springer International Publishing* 143: 67–83.
- Waiser, M. J., & R. D. Robarts, 2009. Saline Inland Waters In Likens, G. E. (ed), *Encyclopedia of Inland Waters*. Elsevier: 634–644.
- Wicke, B., E. Smeets, V. Dornburg, B. Vashev, T. Gaiser, W. Turkenburg, & A. Faaij, 2011. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils. *Energy and Environmental Science* 4: 2669–2681.
- Williams, W. D., 1999. Salinisation: A major threat to water resources in the arid and semi-arid regions of the world. *Lakes and Reservoirs: Research and Management* 4: 85–91.
- Williams, W. D., 2001. Anthropogenic salinisation of inland waters. *Hydrobiologia* 466: 329–337.
- Williams, W. D., & J. E. Sherwood, 1994. Definition and measurement of salinity in salt lakes. *International Journal of Salt Lake Research* 3: 53–63.
- Würdig, N. L., 1984. Ostracodes do sistema lagunar de Tramandaí, RS, Brasil: sistemática, ecologia e subsídios à paleoecologia. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
- Würdig, N. L., 1987. Alguns dados físicos e químicos do sistema lagunar de Tramandaí, RS.

Pesquisa em Geociências 20: 49–74.
Zimmermann-Timm, H., 2007. Salinisation of inland waters Water Uses and Human Impacts on the Water Budget. Verlag Wissenschaftliche Auswertungen/GEO, Hamburg: 133–136.