



Foto: Lilian T. Winckler

Capítulo 11

Efeitos de usos do solo sobre macroinvertebrados bentônicos e serviços ambientais hídricos no bioma Pampa

Lilian Terezinha Winckler e Karen Tavares Juruá Bersch

Introdução

Este capítulo traz informações sobre o bioma Pampa e os efeitos do uso dos solos sobre a qualidade dos recursos hídricos, usando os macroinvertebrados bentônicos como indicadores. Um dos usos expressivos do solo nesse bioma é a orizicultura irrigada, um sistema lântico, responsável por 25% das áreas irrigadas em todo o Brasil (Agência Nacional de Águas, 2021). Nesses locais, apesar da grande quantidade de insetos, outros organismos bentônicos estão presentes, são predominantes e apresentam variações na comunidade conforme o uso do solo. Por esse motivo, além dos insetos, outros tipos de organismos serão relatados neste capítulo. Assim, são apresentados dois estudos de caso, em que busca representar as pesquisas realizadas sobre o tema pela Embrapa no bioma Pampa. O primeiro estudo fez parte de um projeto de pesquisa coordenado pela Embrapa Clima Temperado em áreas da planície costeira do extremo sul do Brasil. O segundo estudo trata-se de parte de uma pesquisa que teve como foco a implantação de pagamento por serviços ambientais hídricos em uma pequena bacia hidrográfica, responsável pelo abastecimento de água de grande parte da cidade de Pelotas (RS).

Macroinvertebrados bentônicos como indicadores

A Política Nacional de Recursos Hídricos (Lei Federal 9433/97) e a Resolução Conama 357/2005 (Conama, 2005) estimulam o uso de indicadores biológicos para avaliar o equilíbrio ecológico aquático e auxiliar na verificação da qualidade de água. No bioma Pampa essa avaliação ainda não está incorporada às avaliações oficiais e o entendimento dos indicadores é feito segundo metodologias gerais, sem a adaptação ao local.

Diversos estudos têm sido realizados em diferentes regiões do Pampa, como dos autores Piedras et al. (2006), Colpo et al. (2009), Maltchik et al. (2010), Stenert et al. (2010), Cunha et al. (2013), Juruá et al. (2014), Winckler et al. (2017), Novack et al. (2021).

Em 2012, a Embrapa Clima Temperado desenvolveu o projeto intitulado Estudo e caracterização dos serviços ambientais em ecossistemas de terras baixas, em que avaliou os processos para manutenção da qualidade da água em áreas de plantio de arroz irrigado na planície costeira do Rio Grande do Sul, formados por agroecossistemas de pastagens e produção de arroz. Nesse trabalho, os macroinvertebrados foram alguns dos organismos utilizados como indicadores do grau de impacto das atividades nos ambientes lânticos.

Entre 2017 e 2018, a Embrapa Clima Temperado participou de um projeto que envolveu várias instituições de pesquisa, extensão e órgãos da Prefeitura Municipal de Pelotas, RS, visando a proposição de um programa de pagamento por serviços ambientais (PSA) no município (Bierhals et al., 2020). Assim, um estudo piloto foi realizado em nove propriedades rurais, estabelecidas dentro da bacia hidrográfica do arroio Epaminondas, principal contribuinte da Barragem Santa Bárbara, localizada no município de Pelotas e responsável por cerca de 60% do abastecimento urbano do município, que é o quarto maior do estado do Rio Grande do Sul (Juruá-Bersch, 2020).

Os dois projetos tiveram, em comum, a busca pela boa qualidade dos ecossistemas (Moulton, 1998; Callisto et al., 2001), e utilizaram diferentes métricas que possibilitassem identificar o seu mal funcionamento. Para isso, buscou-se entender quais as consequências dessas modificações nos ecossistemas analisados.

Esses estudos buscaram construir uma proposta de monitoramento voltada a programas de serviços ambientais hídricos. Tal ação é fundamental para o acompanhamento das alterações no ambiente, promovidas pelas modificações propostas no uso do solo, quando adotam um programa de serviços ambientais. Porém, para Lima et al. (2013), existe carência de parâmetros adequados para esse fim. Além do baixo custo, estes parâmetros devem ser eficazes e de fácil aplicação, o que é frequentemente citado como vantagem do biomonitoramento (Moulton, 1998; Callisto et al., 2001; Buss et al., 2003).

Os dois projetos mencionados buscaram indicadores capazes de identificar os efeitos das atividades antrópicas nesses ambientes aquáticos localizados no bioma Pampa, em bacias de uso predominantemente agrícola. Conforme os objetivos dos trabalhos mencionados, os organismos foram identificados, na sua maioria, em nível de família.

Para que sejam observadas as diferenças da bioindicação nos diferentes biomas, é feita uma caracterização do bioma Pampa, com o objetivo de entender a inserção desses organismos no ambiente e suas diferenças em relação ao restante dos biomas apresentados nesse livro.

Caracterização do bioma, usos do solo e hidrografia

Dado que os recursos alóctones influenciam no estabelecimento de comunidades aquáticas, a caracterização da vegetação e das áreas por onde os cursos d'água passam auxilia no entendimento dos organismos encontrados.

O Pampa é o segundo menor bioma do Brasil. Apesar de compartilhado com o Uruguai e a Argentina, no Brasil ele se

estende somente no estado do Rio Grande do Sul, onde ocupa 63% do território (Robaina et al., 2021). Ao levar em conta as suas características naturais, com vegetação predominantemente campestre ou arbustiva e relevo plano a ondulado, um observador desatento pode confundir com uma paisagem monótona.

Esse bioma, porém, apresenta fitofisionomias bastante variadas (Hasenack et al., 2010; Meneses, 2016; Guarino et al., 2018; Boldrini, 2020), descritas a seguir (Figura 11.1).

1) Ocupando 20% do total do bioma pampa, os campos litorâneos se localizam nas terras baixas próximas ao litoral e apresentam relevo plano, com altitudes inferiores a 30 m. Os solos são muito arenosos. Nas áreas com solos bem drenados, as espécies predominantes são as gramíneas *Ischaemum minus*, *Axonopus obtusifolius*, *Panicum aquaticum* e *Axonopus affinis*. Nas áreas de solos mal drenados e com acúmulo de matéria orgânica, o domínio é das ciperáceas, como *Eleocharis bonariensis* e *Eleocharis viridans*. Na borda dos banhados a espécie dominante é *Paspalum pumilum*. As leguminosas, como *Vigna longifolia*, *Desmodium adscendens*, *Lathyrus crassipes* e *Adesmia latifolia*, também ocorrem nesses campos, normalmente em manchas, e os endemismos, menos comuns por ser esse um ambiente mais recente, também ocorrem, como nos casos de *Gomphrena sellowiana* e *Onira unguiculata*. Além disso, são encontrados alguns elementos florestais, como a figueira da folha miúda (*Ficus cestrifolia*), branquilho (*Gymnanthes serrata*), nas áreas bem drenadas, e araçazeiro (*Psidium cattleianum*), tarumã (*Citharexylum myrianthum*) e tanheiro (*Alchornea triplinerva*) na restinga paludosa.

2) Os campos mistos de andropogôneas e compostas estão situados entre os planaltos sul brasileiro e sul

riograndense, na região central do estado com extensão leste-oeste, associados às bacias dos rios Jacuí e Santa Maria. As altitudes variam de 30 a 400 m com relevo suave. Apresentam equilíbrio entre compostas, como alecrim (*Vernonanthura nudiflora*) e maria-mole (*Senecio brasiliensis*), e gramíneas, como *Axonopus affinis*, *Paspalum notatum*, *Aristida jubata* e *Aristida filifolia*. Nas áreas de terras baixas se destacam o *Saccharum angustifolium* e o *Desmodium incanum* que ocupam 20% do Pampa.

3) Os campos arbustivos variam em altitudes de 30 a 400 m, com relevo ondulado, localizado na serra do Sudeste, com presença de mosaico de campo e floresta, com predominância de campo. Os solos são de baixa fertilidade, predominantemente rasos e pedregosos, com transição para solos mais profundos. De acordo com as características dos solos, concentra-se grande quantidade de cactos e representa 17,1% da área total do Pampa.

4) Os campos de capim barba-de-bode, localizados a noroeste no RS, encontram-se em altitudes que variam de 30 a 1000 m, com relevo suave e solos profundos de baixa fertilidade. Nesses campos, a vegetação predominante é composta por espécies dos gêneros *Axonopus* e *Paspalum*, e no estrato superior destaca-se *Aristida jubata* (conhecida como barba-de-bode) e essa fitofisionomia ocupa 12% da área do bioma.

5) Os campos com espinilho localizam-se nas áreas próximas à fronteira com a Argentina, em altitudes que variam de 30 a 400 m, com relevo suave e solos rasos. Nesses campos, o estrato inferior da vegetação é composto por capim forquilha (*Paspalum notatum*), capim caninha (*Andropogum lateralis*) e algumas leguminosas, como *Desmodium incanum*. O estrato superior apresenta espécies arbustivas e arbóreas baixas que

caracterizam uma formação de savana estépica, e destaca a presença de inhanduvá (*Prosopis affinis*), algarrobo (*Prosopis nigra*) e espinilho (*Vachellia caven*); essa fitofisionomia ocupa 7,9% do Pampa.

6) Os campos de solos rasos, localizados na fronteira sudoeste do estado, com altitudes entre 30 e 400 m e relevo suave, apresentam déficit hídrico no verão e a vegetação é campestre, destacando-se *Aristida murina*, *Bouteloua megapotamica*, *Eustachys brevipila*, *Sommerfeltia spinulosa*, *Nierembergia linariifolia*, *Glandularia platensis*, *Eryngium echinatum* e *Baccharis coridifolia*, entre outras, e ocupam uma área de 7,8% do bioma.

7) Os campos gramíneos apresentam solos profundos e férteis, localizados na divisa com o Uruguai. Com altitudes que variam de 30 a 400 m, relevo suave e déficit hídrico no verão, caracterizam-se pela presença de várias gramíneas, com várias espécies dos gêneros *Nassella* e *Piptochaetium*, *Paspalum notatum*, *Paspalum dilatatum* e *Mnesithea selloana* e algumas leguminosas, como *Trifolium polymorphum* e *Adesmia bicolor*; ocupam 6,5% da área do bioma.

8) Os campos com areais localizam-se ao centro oeste, com altitudes de 30 a 400 m e relevo suave. Os solos são arenosos, profundos, bem drenados e com baixa fertilidade. Há períodos de déficit hídrico e vegetação adaptada a essa situação, com predominância de compostas, como *Lessingianthus macrocephalus*, *Baccharis multifolia*, *Acanthospermum australe*, leguminosas como *Lupinus albescens* e algumas gramíneas como *Paspalum lepton*, *Axonopus argentinus*, *Elyonurus* sp. e *Schizachyrium bimucronatum*. Uma espécie de butiá endêmico aparece nessa região, o *Butia lallemantii*, que apresenta caule reduzido. A área ocupada é de 2,7% do Pampa.

9) A floresta estacional se localiza em parte da encosta do Sudeste e divide a região litorânea da serra do Sudeste. Apresenta altitudes que variam entre 30 e 400 m com relevo ondulado. É um mosaico com floresta e campo, e na floresta predominam as famílias Myrtaceae, Euphorbiaceae e Moraceae. Nas proximidades dos campos litorâneos, há a ocorrência de figueiras do gênero *Ficus*, da canela-ferrugem (*Nectandra oppositifolia*), do cinzeiro (*Hirtella hebeclada*), além de espécies características das restingas e de ampla dispersão, como o branquilha (*Sebastiania commersoniana*), o chá-de-bugre (*Casearia sylvestris*) e o aguáí-mirim (*Chrysophyllum marginatum*). Já o ingá-de-beira-de-rio (*Inga vera*), o salseiro (*Salix humboldtiana*) e a corticeira-do-banhado (*Erythrina crista-galli*), além de outras, são mais comuns no contato direto com os cursos d'água. De 20 a 50% dessas árvores são caducifólias. Essa fitofisionomia ocupa 5% do Pampa.

10) O Campo Misto do cristalino oriental conta com campos com relevo suave em altitudes que variam de 30 a 400 m. Localizado entre o campo arbustivo e o campo litorâneo, na divisa com o Uruguai, possui predominância de espécies campestres estivais, das quais se destacam *Cynodon dactylon*, *Stenotaphrum secundatum*, *Sporobolus indicus*, *Andropogon ternatus*, *Axonopus affinis*, *Aristida murina*, *Coelorachis selloana*, *Eragrostis neesii*, *Paspalum notatum*, *P. plicatulum*, *P. dilatatum*, *Botriochloa laguroides* e *Steinchisma hians*. Entre as hibernais, destacam-se *Piptochaetium montevidense*, *P. stipoides*, *Briza brizoides*, *B. minor*, *Carex phalaroides*, *Gaudinia fragilis* e *Vulpia australis*. Representa 0,7% do bioma Pampa.

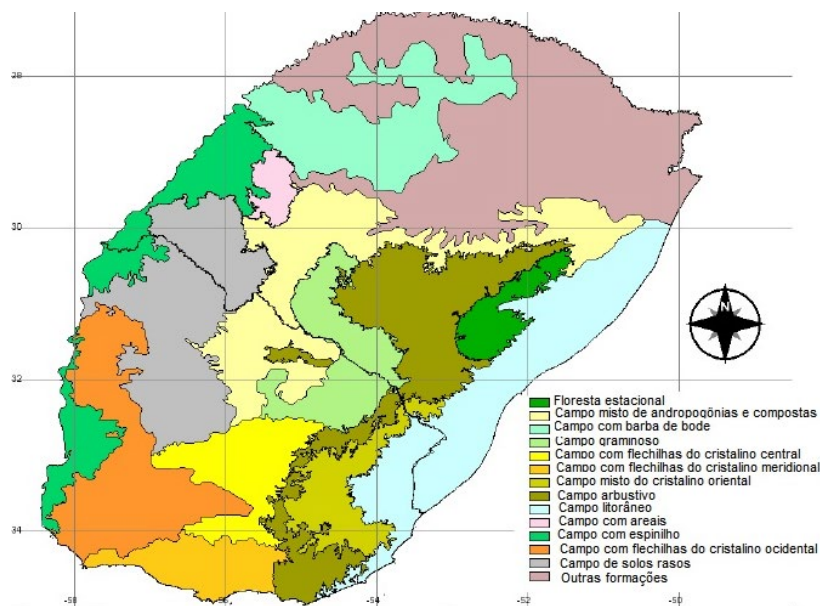


Figura 11.1. Fitofisionomias do bioma Pampa.

Fonte: Adaptado de Hasenack et al. (2010).

Como pode ser observado, o bioma Pampa apresenta componentes florestais, porém, mais esparsos e com menor importância em algumas fitofisionomias. Isso faz com que o seu uso também afete de forma diferenciada os cursos hídricos.

Conforme o MapBiomas (2021a), o uso do solo no bioma Pampa em 2020 esteve dividido em florestas, excluindo a silvicultura, que ocuparam 2.295.974 ha (11,84% do Pampa), formações naturais não florestais com área de 6.664.803 ha (34,26%), usos agropecuários em 8.280.881 ha (42,7%), área não vegetada em 363.017 ha (1,87%) e corpos d'água, com 1.809.896 ha (9,33%). Entre 1985 e 2020, a área do bioma Pampa utilizada em atividades agropecuárias aumentou em 2.459.096 ha, particularmente devido ao aumento das áreas de plantio de arroz (613.847 ha), soja (2.653.096 ha) e de

silvicultura (439.915 ha), em detrimento de uma diminuição de 2.641.782 ha na formação campestre (MapBiomas, 2021a).

Com relação à água, o bioma Pampa perdeu 0,5% da área de corpos d'água, tendo sido o bioma que menos perdeu água no período de 1985 a 2020 (MapBiomas, 2021b). Apesar dessa perda, essa foi pequena em razão do acréscimo de vários reservatórios artificiais, construídos principalmente a oeste do estado do RS para atender à demanda de água para irrigação de lavouras. Mesmo promovendo o aumento da superfície de água no bioma, esses reservatórios resultam em alterações no regime hídrico e, com isso, influenciam na abundância, riqueza, diversidade e distribuição de organismos aquáticos (Martins et al., 2014).

A água no bioma Pampa

As tipologias climáticas do Pampa podem ser caracterizadas como segue (Rossato, 2011):

1) Clima Subtropical Ia: caracterizado como clima pouco úmido, com inverno frio e verão fresco, ocorrendo no escudo sul rio-grandense e no litoral sul. A precipitação anual é de 1200 a 1500 mm anuais, distribuídos em 80 a 100 dias de chuva. Com temperatura média anual que variam de 17 a 20 °C, temperatura média dos meses frios que variam de 11 a 14 °C e temperatura média dos meses mais quentes que variam de 20 a 26 °C.

2) Clima Subtropical Ib: localizado no planalto a oeste do Rio Grande do Sul abrangendo os municípios de Uruguaiana, Alegrete que se estende até Santana do Livramento. Caracteriza-se pela baixa umidade, com inverno frio e verão quente. As precipitações ficam entre 1400 a 1700 mm ao

ano, concentradas em 70 a 90 dias nos meses de outono e primavera. A temperatura média anual é de 20 a 23 °C, sendo a temperatura média do mês mais frio variável de 11 a 14 °C e a do mês mais quente de 23 a 26 °C.

3) Clima Subtropical II: estende-se por todo o litoral médio, caracteriza-se como medianamente úmido e com variação longitudinal de temperaturas médias. A precipitação gira em torno de 1500 a 1700 mm, distribuídas em 90 a 110 dias de chuva. Com temperatura média anual de 17 a 20 °C, a temperatura média do mês mais frio é de 11 a 14 °C e a do mês mais quente é de 23 a 26 °C.

4) Clima Subtropical III: localizado na escarpa e vales da borda do Planalto Basáltico, caracteriza-se pela precipitação média em torno de 1700 a 1800 mm, com 100 a 120 dias de chuva bem distribuídas. A temperatura média anual varia entre 17 e 20 °C e a do mês mais frio fica entre 11 e 14 °C. Já no mês mais quente a temperatura média varia de 23 a 26 °C.

5) Clima Subtropical IVa: apresenta um clima muito úmido, com invernos mais frios e verões quentes. Localiza-se ao norte e noroeste no planalto basáltico, com precipitações entre 1700 a 1900 mm anuais, totalizando de 110 a 140 dias de chuva, bem distribuídas, apesar de leve redução nos meses de inverno. A temperatura média anual varia de 20 a 23 °C, e as temperaturas médias do mês mais frio ficam entre 14 e 17 °C, enquanto no mês mais quente a média varia de 23 a 29 °C.

De maneira geral, as precipitações proporcionam bom aporte de água ao Pampa, isto é, uma superfície de 1.807.627 ha de água (MapBiomas, 2021a). Assim, a área coberta com água nesse bioma é a terceira em relação aos demais biomas do Brasil, sendo menor apenas que o bioma Amazônia (1º) e Mata Atlântica (2º). Grande parte dessa superfície de água está contida nas grandes lagoas, e a Lagoa dos Patos representa

56% desse total. Somando-se a superfície da Lagoa dos Patos, Lagoa Mirim e Lagoa Mangueira, as duas últimas localizadas na planície costeira no extremo sul do Rio Grande do Sul, tem-se 81% da superfície de água de todo bioma Pampa.

Nesse bioma estão inseridas 20 das 25 bacias hidrográficas do estado do RS, abrangendo a totalidade das áreas das bacias hidrográficas do baixo Jacuí, Camaquã, Mirim São Gonçalo, Negro, Quaraí, Santa Maria, Vacacaí-Vacacaí Mirim, Litoral Médio e Lago Guaíba. Soma-se a isto 94,6% da bacia do rio Ibicuí (Freitas; Marcuzzo, 2017), 75% da bacia do rio Gravataí (Rio Grande do Sul, 2021c), 70,8% das bacias dos rios Butuí-Piratinin-Icamaquã e Ijuí (Melati; Marcuzzo, 2015), 52% da bacia do rio Tramandaí (Rio Grande do Sul, 2021b), 18,1% da bacia do Alto Jacuí (Ziani et al., 2017) e partes das bacias dos rios dos Sinos, Caí, Taquari-Antas e do rio Pardo. Dessas bacias hidrográficas, 14 estão com o plano ou enquadramento de uso da água aprovado, enquanto outras seis têm o comitê em funcionamento, porém ainda sem plano aprovado (Rio Grande do Sul, 2021a).

Alguns dos principais rios do Pampa são: o Jacuí, Piratinin, Camaquã, Piratini, São Gonçalo, Jaguarão, Negro, Ibirapuitã, Santa Maria e Ibicuí. Nestes, existe a presença de florestas ciliares que acompanham as calhas dos rios, como também a existência de espécies adaptadas à saturação hídrica ou a alagamentos sazonais, como o salgueiro (*Salix humbolstiana*) e os sarandis (*Phyllanthus sellowianus*, *Gymnanthes schottiana* e *Cephalanthus glabratus*).

Nas áreas mais baixas, muito frequentes no bioma Pampa, a mata ciliar assume porte menor, sendo muito comum a presença de componentes herbáceos. Estes componentes são relativamente pouco estudados e suas relações com a biota aquática ainda são pouco conhecidas. Kilca et al. (2011) realizaram uma das poucas descrições da

vegetação em uma planície de inundação na bacia Mirim São Gonçalo. As características da vegetação ciliar encontradas por estes autores em áreas naturais estão descritas na Tabela 11.1.

Tabela 11.1. Fitofisionomias, características e composição florística de uma planície de inundação do bioma Pampa.

Fitofisionomia	Característica	Vegetação
Florestas ciliares periodicamente inundáveis	Estádio intermediário de desenvolvimento	Herbáceo-subarbustivo: <i>Doriopteris lorentzii</i> , <i>Asplenium sellowianun</i> e espécies de <i>Solanum</i> ssp Arbustivo: <i>Acacia bonariensis</i> , <i>Justicia brasiliana</i> , <i>Calliandra tweediei</i> , <i>Daphnopsis racemosa</i> e <i>Trichilia elegans</i> Arbóreo: <i>Erythroxylum argentinum</i> , <i>Luehea divaricata</i> , <i>Allophylus edulis</i> , <i>Cupania vernalis</i> , <i>Chrysophyllum marginatum</i> , <i>Nectandra megapota mica</i> , <i>Lithraea brasiliensis</i> e <i>Guettarda uruguensis</i> , além de espécies dos gêneros <i>Casearia</i> , <i>Myrsine</i> e <i>Zanthoxylum</i>
	Estádio avançado	Herbáceo: <i>Pharus lapullaceus</i> e <i>Ichnanthus pallens</i> Arbustivo: <i>Faramea montevidensis</i> , <i>Psychotria carthagenensis</i> e <i>Gymnanthes concolor</i> Subdossel: <i>Sorocea bonplandii</i> , <i>Trichilia clausenii</i> , <i>Chrysophyllum gonocarpum</i> , <i>Sebastiania brasiliensis</i> , <i>Myrcianthes gigantea</i> , <i>Nectandra megapota mica</i> e <i>Ocotea pulchella</i> Dossel: <i>Luehea divaricata</i> , <i>Eugenia rostrifolia</i> e <i>Ficus cestrifolia</i>
Florestas ciliares periodicamente inundáveis	Margens dos rios	<i>Salix humboldtiana</i> , <i>Phyllanthus sellowianus</i> e <i>Sebastiania schottiana</i>
	Áreas alagadas	<i>Syagrus romanzoffiana</i> e <i>Erythrina cristagalli</i> .
Florestas de interflúvio	Áreas não sujeitas a alagamento neossolos	Herbáceo <i>Pharus lapullacues</i> , <i>Tradescantia fluminensis</i> , <i>Pavonia sepium</i> , <i>Solanum americanun</i> Arbustivo: <i>Miconia hyemalis</i> , <i>Opuntia monoocantha</i> e <i>Randia ferox</i> Arbóreo: <i>Sapium glandulosum</i> , <i>Myrsine coriacea</i> , <i>Zanthoxylum rhoifolium</i> , <i>Ficus cestrifolia</i> e <i>Syagrus romanzoffiana</i> .
	Áreas não sujeitas a alagamento planossolos	Herbáceo: <i>Oxalis amara</i> , <i>Ichnanthus pallens</i> e <i>Panicum grumosum</i>

Continua...

Tabela 11.1. Continuação.

Fitofisionomia	Característica	Vegetação
		Arbustivo: <i>Erythroxylum substriatum</i>, <i>Psychotria brachyceras</i>, <i>Styrax leprosum</i>, <i>Solanum sanctaecatrinae</i>, <i>Cymnanthes concolor</i> e <i>Sorocea bonplandii</i>, Arbóreo: <i>Allophylus edulis</i>, <i>Trichilia clausenii</i>, <i>Prunus myrtifolia</i>, <i>Myrcianthes gigantea</i>, <i>Eugenia involucrata</i>, <i>Cupania vernalis</i> e <i>Ficus luschnathiana</i>.
Matorral espinhoso	Áreas arenosas e pouco sujeitas a alagamentos	Arbustivo: <i>Opuntia monacantha</i>, <i>Schinus polygamus</i>, <i>Condalia buxifolia</i>, <i>Acanthosyris spinescens</i> e <i>Acacia caven</i> Arbóreo ocasional: <i>Cereus hildmannianus</i>, <i>Myrsine laetervirens</i> e <i>M. coriacea</i>
Banhados	Interior das florestas ciliares	Ciperáceas: <i>Scirpus californicus</i> e <i>Cyperus giganteus</i>
	Transição da floresta ciliar para o campo.	Juncáceas: <i>Juncus marginatus</i> e <i>J. sellowianus</i>

Fonte: Kilca et al. (2011).

Como a vegetação no entorno dos corpos d'água não tem características florestais, muitas vezes os solos dessas planícies de inundação são utilizados como áreas de pastejo, para a plantação de arroz, ou até mesmo para a silvicultura (Kilca et al., 2011).

A qualidade das águas demonstrou que, na maioria dos rios das bacias hidrográficas do bioma Pampa, a demanda biológica de oxigênio (DBO) ficou em padrão que atende a classe 1 (Rio Grande do Sul, 2021a). Os piores resultados foram observados nas bacias dos seguintes rios:

Gravataí (53,4% em classe 1; 24,6% em classe 2; 12,7% em classe 3; e 9,3% em classe 4), sendo essa bacia e a bacia dos rios Sinos e do rio Negro as únicas com cursos d'água enquadrados em classe 4 para esse parâmetro (DBO); Negro (61,5% em classe 1; 19,2% em classe 2; 15,4% em classe 3; e 3,8% em classe 4); Sinos (70% em classe 1; 15% em classe 2; 14,4% em classe 1; e 0,6% em classe 4);

a) Mirim São Gonçalo (74,0% em classe 1; 23,4% em classe 2; e 2,5% em classe 3);

b) Ibicuí (76,8% em classe 1; e 23,2% em classe 2).

As concentrações de fósforo estiveram em quantidades relativamente maiores, o que faz com que grande parte das bacias hidrográficas tenha parte dos seus cursos d'água classificados em classes inferiores, sendo que, em todas, a classe 4 esteve presente: a) Gravataí (10,2% classe 1; 19,5% classe 3; e 70,3% em classe 4); b) Negro (15,3 % em classe 1; 7,7% em classe 3; e 76,9% em classe 4); c) Sinos (26,5% em classe 1; 18,1% em classe 3; e 55,4% em classe 4).

O parâmetro nitrogênio amoniacal se apresentou em classes inferiores à classe 1 apenas em 6 bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul, sendo todas elas pertencentes ao bioma Pampa. São elas: a) Negro (81,5% classe 1; 14,8% classe 3 e 3,7% em classe 4); b) Gravataí (87,8% em classe 1; 12,2% em classe 3); c) Sinos (98,1% classe 1 e 1,9% em classe 3); d) Mirim São Gonçalo (98,9% em classe 1; 0,8% em classe 2 e 0,4% em classe 3).

Nesse cenário foi observada a presença de *Escherichia coli*, que apareceu em todas as bacias do Pampa, e que a maior parte delas se encontra em classes de 1 a 3 para esse parâmetro. Entretanto, apenas na bacia do Alto Jacuí não foram registrados rios com classe 4 para esse parâmetro. Já as bacias do Sinos, Gravataí e Pardo apresentam mais de 50% dos cursos d'água nas classes 3 e 4.

Apesar da disponibilidade de dados para o ano de 2020, as informações continuadas para a grande maioria dos cursos d'água do bioma Pampa ainda são escassas, dificultando a sua gestão. Ainda, apesar desses parâmetros refletirem as alterações causadas aos corpos d'água, detectam as condições próximas ao momento da amostragem, enquanto avaliações através de biomonitoramento permitem identificar efeitos sobre os corpos d'água aliando ainda informações sobre a perda

de funcionalidade desses ecossistemas (Callisto et al., 2001; Whitfield, 2001; Baptista, 2008; Cunha et al., 2013; Juruá, 2014).

Estudos de caso de macroinvertebrados bioindicadores no bioma Pampa

Estudo de caso 1: Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores em arrozais no sul do Rio Grande do Sul

O ambiente de terras baixas no sul do RS concentra a maior parte da produção de arroz irrigado do Brasil, sendo responsável por 50% de todo arroz produzido nacionalmente (Juruá et al., 2014). Esse estudo de caso teve por objetivo entender as modificações ocorridas em uma área úmida artificial (arrozal) quando comparada a uma área úmida natural (banhado). Tal proposta visa entender a possibilidade de manutenção da biodiversidade de macroinvertebrados nessas áreas e como elas podem manter as funções desses ecossistemas. Para isso foram amostradas áreas de cultivo e naturais, na fitofisionomia de campos litorâneos do bioma Pampa, em clima subtropical Ia, pertencente à bacia hidrográfica Mirim São Gonçalo.

As amostragens foram realizadas em áreas de cultivo de arroz irrigado por inundação durante o período de irrigação, manejado de forma convencional e, paralelamente, em áreas úmidas naturais. A coleta dos organismos foi realizada com redes de mão com malha de 1 mm em área delimitada de 180 m² e 15 cm de profundidade de área (Juruá et al., 2014).

Os resultados evidenciaram diferenças na abundância, diversidade da comunidade e também dos grupos tróficos funcionais. A abundância das áreas de arroz corresponde a

aproximadamente 10,5% da abundância observada na mesma área de banhados. Além disso, os organismos diferiram, sendo Planorbidae e Belostomatidae os grupos mais abundantes nas áreas de banhado, enquanto Belostomatidae e Chironomidae foram mais encontrados nos arrozais. Alguns dos grupos foram exclusivos a alguns ambientes: Planorbidae e Psychodidae foram coletados quase que exclusivamente em banhados (as últimas amostragens em áreas de arroz capturaram poucos espécimes), sendo Planorbidae substituído por Physidae, que não ocorreu em áreas de banhado. Por outro lado, Hyalellidae, Elmidae e Noteridae ocorreram apenas em áreas de banhado. Com isso, foi possível identificar diferenças entre os grupos tróficos. Nas áreas naturais observou-se maior distribuição de organismos de diferentes grupos tróficos, enquanto as áreas de plantio de arroz eram abundantes em espécies predadoras e generalistas. Além disso, foi detectado um aumento da diversidade com o passar do tempo de inundação das áreas de arroz, o que também foi reportado por Stenert (2009). Este autor sugere a manutenção da inundação dessas áreas fora do período do arroz irrigado para que elas cumpram sua função ecológica como banhados artificiais.

Para verificar a funcionalidade dos ecossistemas antropizados submetidos a diferentes manejos, novas análises foram realizadas em áreas com plantio de arroz de forma orgânica (sem uso de agrotóxicos) e convencional (com plantio direto e uso de herbicida não seletivo para dessecação da vegetação), novamente em comparação com áreas naturais (ou banhados) (Winckler et al., 2017). Para isso foi realizado um experimento de decomposição, utilizando bolsas de decomposição incubadas por 70 dias. Foram avaliados o decaimento da biomassa e os macroinvertebrados presentes ao longo do período.

Os resultados demonstraram maiores abundância e diversidade na área natural, sendo que, entre as áreas com plantio de arroz, a abundância foi significativamente maior no plantio orgânico quando comparado ao plantio convencional. Embora a diversidade não tenha apresentado diferenças entre as áreas com plantio de arroz, esta foi significativamente menor na área convencional do que na área natural (banhado). Na área natural e de plantio orgânico não houve correlação entre diversidade e decaimento da biomassa nas bolsas de decomposição, o que não ocorreu na área com o cultivo convencional. Aparentemente, a diversidade foi maior do que a mínima requerida para manter essa função do ecossistema nessas áreas, enquanto a área convencional já demonstra perdas nessa funcionalidade.

Os organismos constantemente observados nas bolsas de decomposição dos diferentes locais foram Chironomidae e Amphipoda nas áreas de plantio de arroz convencional, Hirudinea, Chironomidae, Nematoda e Amphipoda nas áreas de plantio de arroz orgânico e Hirudinea, Acari, Chironomidae, Nematoda e Collembola nas áreas úmidas naturais. Percebe-se que os grupos tróficos mais constantes nas bolsas de decomposição foram catadores-coletores e filtradores para o arroz convencional, enquanto que, para o arroz orgânico aparecem predadores, catadores-coletores e filtradores e, nas áreas úmidas naturais, somente predadores e catadores-coletores. Isso indica que, nos arrozais, com a presença de filtradores, a matéria orgânica particulada fina que passa pela coluna da água se apresentou como um recurso alimentar mais disponível para esses organismos, enquanto que, nas áreas naturais a matéria orgânica particulada fina presente no sedimento do fundo foi o recurso mais disponível (Cummins et al., 2005). Apesar da decomposição ao final do período

não diferir entre os diferentes usos do solo, o atraso ocorrido demonstra diferenças nessa funcionalidade do ecossistema, de acordo com o manejo aplicado.

Estudo de caso 2: Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores em ambientes lóticos, uma bacia rural no município de Pelotas

O estudo de caso foi realizado em área localizada na fitofisionomia de Floresta Estacional do bioma Pampa, em clima subtropical la, pertencente à bacia hidrográfica Mirim São Gonçalo. A região de estudo é constituída de áreas inclinadas e áreas planas próximas à barragem. O estudo buscou avaliar as condições de uso do solo no entorno dos cursos hídricos e do próprio curso através de uma avaliação de habitats via protocolo de avaliação rápida (PAR) com metodologia adaptada de Barbour et al. (1999). Foram realizadas avaliações em pontos das três sub-bacias que compõem o arroio Epaminondas, sendo três avaliações em um afluente da margem direita deste arroio, duas avaliações em um afluente da margem esquerda e quatro avaliações na calha principal do próprio arroio Epaminondas (Figura 11.2).

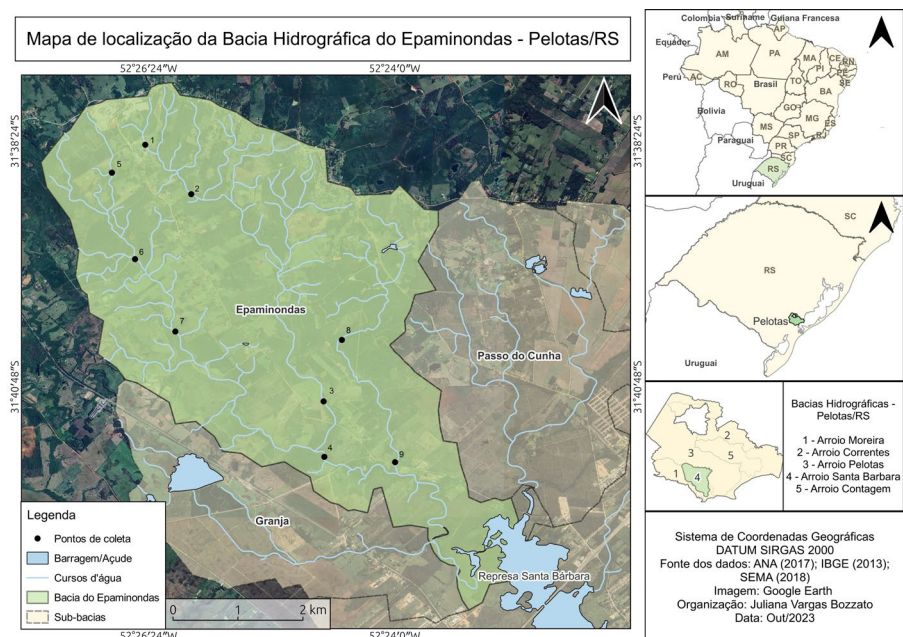


Figura 11.2. Mapa de localização da bacia e dos pontos amostrais.

Fonte: Adaptado de Siqueira et al. (2019).

As amostragens foram sazonais, nos meses de junho (outono), julho (inverno) e outubro (primavera) de 2019 e janeiro de 2020 (verão). Foram avaliados parâmetros físicos (temperatura, concentração de sólidos totais dissolvidos e turbidez) e químicos (concentração de oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, pH, e concentrações de fosfato, nitrito e nitrogênio amoniacal) para definição da qualidade da água conforme a Resolução Conama 357/2005. Ao considerar que o trabalho se propunha a avaliar o uso do solo no entorno dos corpos d'água e sua capacidade de interferência na qualidade da água, expressa por meio de parâmetros químicos, físicos ou biológicos (através dos macroinvertebrados bentônicos), foi feita uma avaliação dos habitats disponíveis adaptada à metodologia proposta por Barbour et al. (1999).

Os macroinvertebrados bentônicos foram amostrados com coletor do tipo Surber com malha de 250 μm , conforme Silveira et al. (2004). O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos identificados e fixado em álcool 70%, para então ser levado ao Laboratório de Biomonitoramento e Ecotoxicologia da Embrapa Clima Temperado em Pelotas. Os organismos foram, então, identificados com uso de lupas e chaves taxonômicas (Mugnai et al., 2010). Várias métricas foram usadas buscando definir índices (Oliveira et al., 2008) que descrevessem as condições de água e do ambiente, a fim de serem utilizadas de forma simples para o monitoramento da prestação de serviços ambientais hídricos. Foram avaliadas a abundância, que trata do somatório de organismos encontrados, e o índice Biological Monitoring Working Party System (BMWP), avaliado conforme metodologia descrita pelo Instituto Ambiental do Paraná (2007).

Os pontos amostrados através dos parâmetros físicos, químicos e índices, revelaram a classificação das águas conforme descrito na Tabela 11.2. Na coleta de outono, os parâmetros físicos e químicos que levaram à classificação das águas em classe 4 foram oxigênio dissolvido (ponto 9), fósforo total (pontos 1 e 2) e turbidez (ponto 4). Os macroinvertebrados avaliados através do BMWP nesses pontos indicaram os locais como poluídos, enquanto os demais, em classe 1, foram classificados como muito poluídos.

Na segunda coleta, o fósforo total nos pontos amostrais 1, 2 e 6, e o oxigênio dissolvido nos pontos 3, 8 e 9 levaram, novamente, a classificação da água à classe 4, e não houve um padrão na classificação de BMWP relativo a esses parâmetros, que variaram de fortemente poluído (ponto 1), poluído (ponto 2) a duvidoso (ponto 6), e muito poluído (ponto 3) a poluído (pontos 8 e 9).

Tabela 11.2. Classificação dos locais amostrados quanto a qualidade do recurso hídrico, sendo as classes de água definidas conforme a Resolução Conama 357/2005 e os habitats avaliados pelo PAR, e abundância de macroinvertebrados bentônicos. (Out: outono; Inv: inverno; Pri: primavera; Ver: verão)

Ponto de amostragem	Classe da água			Avaliação de habitats ⁽¹⁾				Macroinvertebrados bentônicos															
	Out		Pri	Ver	Out	Inv	Pri	Ver	BMWP ⁽²⁾	Out	GTF ⁽⁴⁾	BMWP ⁽²⁾	Inv	GTF ⁽⁴⁾	BMWP ⁽²⁾	Abund ⁽³⁾	Pri	Ver	BMWP ⁽²⁾	GTF ⁽⁴⁾	Abund ⁽³⁾	GTF ⁽⁴⁾	
1	4	4	4	4	O	O	O	O	P	875	3	FP	2541	3	P	150	5	MP	798	4			
2	4	4	4	4	R	R	R	R	P	66	6	P	228	4	MP	46	5	D	565	6			
3	1	3	1	4	B	B	B	B	MP	53	6	MP	35	5	P	50	6	FP	84	3			
4	4	1	1	4	R	R	R	R	P	308	5	P	215	5	P	84	6	MP	112	3			
5	1	1	1	4	B	B	B	B	MP	104	5	D	108	6	D	118	6	P	392	6			
6	1	1	2	4	B	B	B	B	MP	92	4	D	198	5	P	70	6	P	273	6			
7	1	4	1	4	R	R	R	R	MP	104	4	P	168	5	P	77	6	P	1849	3			
8	1	4	1	4	R	R	R	R	MP	191	4	P	445	5	MP	97	5	MP	300	4			
9	4	4	4	4	R	R	R	R	MP	97	4	P	108	5	P	133	5	MP	138	4			

⁽¹⁾ Avaliação de habitats - R: Regular; B: Boa; Q: Ótima; P: Péssima.

⁽²⁾ Avaliação de comunidades de macroinvertebrados com o Índice Biological Monitoring Working Party System (BMWP) - FP: fortemente poluído; MP: muito poluído; P: poluído; D: duvidosa; A: aceitável.

⁽³⁾ Abundância (Abund): número de organismos e cada local amostrado.

⁽⁴⁾ GTF: número de grupos tróficos identificados em cada local, sendo os mesmos classificados em generalistas, fragmentadores, coletores, filtradores, predadores e raspadores.

Na terceira coleta, os pontos amostrais 1 e 2 tiveram a água classificada em classe 4 devido aos teores de fósforo total. No ponto 9 a água também foi classificada como classe 4, porém o parâmetro que determinou essa diminuição de qualidade foi o oxigênio dissolvido baixo. Os indicadores biológicos foram sensíveis a essa variação, sendo que o BMWP identificou os pontos amostrais 1 e 9 como poluídos, e o ponto 2, como muito poluído.

Na quarta coleta, todos os pontos apresentaram classe de água 4, e o oxigênio dissolvido foi o grande responsável, com exceção dos pontos 1, 2 e 9, onde as concentrações de fósforo total foram responsáveis por tal classificação. Com base no cálculo do índice BMWP, as águas apresentaram grande variação quanto a classificação, e foram descritas como fortemente poluídas até duvidosas (ponto 2).

A grande e desproporcional abundância de organismos observada no ponto amostral 1, principalmente na 1ª, 2ª e 4ª coletas chama a atenção em um local que, conforme a Resolução Conama 357/2005 foi classificada como classe 4.

O ponto 7 também apresentou uma abundância grande na 4ª coleta, quando Chironomidae foi o maior componente da fauna (95,5 %). Essas alterações na abundância parecem ter sido mais sensíveis para indicação de alterações na qualidade da água. Ademais, nesse estudo foi possível perceber uma pequena tendência de aumento no número de grupos tróficos presentes quando a qualidade da água avaliada através dos parâmetros físicos e químicos apresentava melhor classificação.

Entretanto, foi possível perceber que toda a bacia se encontra bastante impactada, uma vez que não foram encontradas áreas pristinas com as quais poder-

se-ia fazer comparações com comunidades esperadas de macroinvertebrados (Oliveira et al., 2008).

Apesar de nenhuma das áreas ter sido avaliada como péssima em termos de presença de habitats, a qualidade dos parâmetros químicos e físicos da água, bem como as métricas testadas para macroinvertebrados bentônicos não refletiram essas condições. O trecho com a condição de menor distúrbio, conforme proposto por Stoddard et al. (2006), com base nos resultados do protocolo rápido de avaliação de habitats, localizava-se no ponto mais a montante da área amostrada.

Provavelmente, interferências não consideradas neste trabalho, como urbanização de trechos superiores da bacia ou efluentes, e uso do solo em áreas superiores para além da área de preservação permanente, podem ter sido responsáveis por essas variações.

Considerações finais

O bioma Pampa retrata uma flora característica, com florestas de menor dimensão e grande quantidade de corpos hídricos, campos litorâneos e terras baixas muito banhadas, lagoas, açudes e áreas de plantio de arroz que contribuem para essa distribuição de corpos hídricos, mesmo que sazonalmente.

A possibilidade de utilização de macroinvertebrados bentônicos para o monitoramento de funções ecossistêmicas com a finalidade de adequação de manejo em áreas lênticas, como no caso de lavouras de arroz irrigado, com manejos mais adaptados a esse olhar de manutenção dos ecossistemas tem demonstrado que a análise dos grupos tróficos funcionais apresenta resultados que podem ser utilizados para essa avaliação.

Nos corpos d'água lóticos estudados percebe-se a carência de áreas de referência, e os dados obtidos revelam uma bacia bastante impactada. Por outro lado, foi possível perceber que ações isoladas para a melhoria das condições de uso do solo, como normalmente realizado em programas de pagamento por serviços ambientais hídricos, não necessariamente trarão benefícios para a bacia em questão.

Ações de pagamento por serviços ambientais hídricos associadas às demandas de aumento da cobertura vegetal e conservação, que segundo Lima et al. (2013) é um instrumento potencial de auxílio à manutenção dos recursos hídricos em qualidade e quantidade, não se mostrou eficiente quando considerado isoladamente. Um olhar sobre outros usos, mais do que para o rural, deve ser buscado para as bacias aqui consideradas.

Além disso, o estabelecimento de programas de biomonitoramento, sem necessidade de equipamentos e capacitação altamente especializada, continuam sendo interessantes como forma de reduzir custos e viabilizar tais iniciativas. Estudos com áreas que possibilitem diferenciação de níveis de antropização mais claros podem auxiliar na construção desses indicadores para aplicar nas bacias lóticas no bioma Pampa.

Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico. **Atlas irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. 2a ed. Brasília, DF, 2021. 130p. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/a874e62f27544c6a986da1702a911c6b>. Acesso em: 8 dez. 2021.

BAPTISTA, D. F. Uso de macroinvertebrados em procedimentos de biomonitoramento em ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensis**, v. 12, n. 3, p. 425-441, 2008.

BARBOUR, M. T.; GERRITSEN, J.; SNYDER, B. D.; STRIBLING, J. B. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macroinvertebrates and fish**. 2nd ed. Washington, DC: USEPA, 1999. 339 p.

BIERHALS, D. F.; SOUSA, L. P.; SANTOS, J. P.; GUARINO, E. S. G.; SIQUEIRA, R. O.; MIURA, A. K. Processo inicial de implantação de um programa de Pagamento por Serviços Ambientais (PSA) no município de Pelotas/RS, em propriedades de agricultura familiar. **Cadernos de Agroecologia**, v. 15, n. 2, p. 1-5, 2020. Anais do XI Congresso Brasileiro de Agroecologia, São Cristóvão, Sergipe.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 19, n. 2, p. 465-473, 2003.

BOLDRINI, I. I. Por que e para que conservar o Pampa? In: CONGRESSO SOBRE O BIOMA PAMPA, 1., 2016, Pelotas. **Anais...** Pelotas: UFPel, 2020. p. 12-29.

CALLISTO, M.; MORETTI, M.; GOULART, M. Macroinvertebrados bentônicos como ferramenta para avaliar a saúde de riachos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 6, n. 1, p. 71- 82, 2001.

COLPO, K. D.; BRASIL, M. T.; CAMARGO, B. V. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores do impacto ambiental promovido pelos efluentes de áreas orizícolas e pelos de origem urbana/industrial. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2087-2092, 2009.

CUMMINS, K. W.; MERRITT, R. W.; ANDRADE, P. C. N. The use of invertebrate functional groups to characterize ecosystem attributes in selected streams and rivers in south Brazil. **Studies on Neotropical Fauna and Environment**, v. 40, n. 1, p. 69-89, 2005.

CUNHA, R. W.; GARCIA JUNIOR., M. D. N.; ALBERTONI, E. F.; PALMA-SILVA, C. Qualidade de água de uma lagoa rasa em meio rural no sul do Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 770-779, 2013.

FREITAS, M. A.; MARCUZZO, F. F. N. Aquíferos da bacia hidrográfica do rio Ibicuí no estado do Rio Grande do Sul. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017, Florianópolis. **Ciência e tecnologia da água: inovação e oportunidades para o desenvolvimento sustentável: anais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos

Hídricos, 2017. Disponível em https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/18488/1/2017_sbrh_aquiferos_subbacia76_artigo.pdf Acesso em: 13 out. 2020.

GUARINO, E. S. G.; OVERBECK, G. E.; BOLDRINI, I. I.; MULLER, S. C.; ROVEDDER, A. P.; FREITAS, T. C.; GOMES, G. C.; NORONHA, A. H.; MIURA, A. K.; SOUSA, L. P.; SANT'ANNA, D. M.; CHOMENK, L.; MOLZ, M.; MAHLER JUNIOR, J. K. F.; MOLINA, A. R.; ESPINDOLA, V. S. **Espécies de plantas prioritárias para projetos de restauração ecológica em diferentes formações vegetais no bioma Pampa: primeira aproximação.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 79 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 457).

HASENACK, H.; WEBER, E.; BOLDRINI, I. I.; TREVISAN, R. **Mapa de sistemas ecológicos da ecorregião das savanas uruguaias em escala 1:500.000 ou superior e relatório técnico descrevendo insumos utilizados e metodologia de elaboração do mapa de sistemas ecológicos.** Disponível em: http://multimidia.ufrgs.br/conteudo/labgeo-ecologia/Arquivos/Publicacoes/Relatorios/2010/Relatorio_projeto_IB_CECOL_TNC_produto_4.pdf. Acesso em: 8 nov. 2020.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ. **Avaliação da qualidade da água através dos macroinvertebrados bentônicos:** índice BMWP. Curitiba, 2007. 26 p. (Circular Técnica).

JURUÁ, K. T. **Índices de qualidade da água para monitoramento dos recursos hídricos em uma microbacia hidrográfica rural.** 2014. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

JURUÁ, K. T.; PAGEL, I. A.; TAVARES, V. E.; WINCKLER-SOSINSKI, L. T. Structure and composition of the benthic macroinvertebrate community on wetland and irrigated rice cultivation. **Acta Limnologica Brasiliensia**, v. 26, n. 3, p. 229-234, 2014.

JURUÁ-BERSCH, K. T. J. **Macroinvertebrados bentônicos como bioindicadores de qualidade de água para monitoramento de serviços ambientais hídricos na bacia do Arroio Epaminondas, Pelotas/RS.** 2020. 92 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Manejo e Conservação do Solo e da Água, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

KILCA, R. V.; JARENKOW, J. A.; SOARES, J. C. W.; GARCIA, E. N. Florística e fitofisionomias da planície de inundação do rio Piratini e a sua importância para conservação no Pampa do Rio Grande do Sul, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 6, n. 3, p. 227-249, 2011.

LIMA, A. P. M.; ALBUQUERQUE, R. H.; PRADO, R. B.; TURETTA, A. P. D.; FIDALGO, E. C. C.; SCHULER, A. E. Pagamento por serviços ambientais hídricos no Brasil: experiências iniciais e os desafios do monitoramento.

In: In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20., 2013, Bento Gonçalves, RS. **Anais...** Bento Gonçalves, RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/970166/1/SBRH2013AnaPaulaRafael1.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2019.

MALTCHIK, L.; ROLON, A. S.; STENERT, C. Aquatic macrophyte and macroinvertebrate diversity and conservation in wetlands of the Sinos River basin. **Brazilian Journal of Biology**, v. 70, p. 1179-1184, 2010.

MAPBIOMAS. **Plataforma Mapbiomas: Água**. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/agua>. Acesso em: 10 dez. 2021a.

MAPBIOMAS. **A dinâmica da superfície de água do território brasileiro**. Principais resultados do mapeamento anual e mensal da superfície de água no Brasil entre 1985 até 2020. 2021b. Disponível em: https://mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/MapBiomas_A%CC%81gua_Agosto_2021_22082021_OK_v2.pdf. Acesso em: 10 dez. 2021.

MARTINS, R. T.; OLIVEIRA, V. C.; SALCEDO, A. K. M. Uso de insetos aquáticos na avaliação de impactos antrópicos em ecossistemas aquáticos. In: HAMADA, N.; NESSIMIAN, J. L.; QUERINO, R. B. (ed.). **Insetos aquáticos na Amazônia brasileira: taxonomia, biologia e ecologia**. Manaus: INPA, 2014. p. 117-128.

MELATI, M. D.; MARCUZZO, F. F. N. Mapeamento fisiográfico básico das sub-bacias pertencentes à bacia do rio Uruguai. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 21., 2015, Brasília, DF. **Segurança hídrica e desenvolvimento sustentável: desafios do conhecimento e da gestão: anais**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2015. Disponível em: http://dspace.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/15053/fisiografia_bacia_%207.pdf?sequence=3. Acesso em: 13 out. 2020.

MENESES, B. A. **Pressão ambiental em bacias hidrográficas do Pampa e sua relação com ictiofauna**. 2016. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/212831/001104211.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 12 dez. 2020.

MOULTON, T. P. Saúde e integridade do ecossistema e o papel dos insetos aquáticos. In: Ecologia de insetos aquáticos. In: NESSIMIAN, J. L.; CARVALHO, A. L. (ed.). **Ecologia de insetos aquáticos**. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1998. p. 291-298. (Séries Oecologia Brasiliensis, v. 5).

MUGNAI, R.; NESSIMIAN, J. L.; BAPTISTA, D. F. **Manual de Identificação de macroinvertebrados aquáticos do Estado do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro: Technical Books, 2010. 174 p.

NOVACK, M.; ROMANO, L.; NASCIMENTO, L.; BARBOZA, E. C. C. N. Invertebrados bentônicos associados a macrófitas aquáticas em um reservatório subtropical brasileiro. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 6, n. 4, p. 741-748, 2021.

OLIVEIRA, R. B. S.; CASTRO, C. M.; BAPTISTA, D. F. Desenvolvimento de índices multimétricos para utilização em programas de monitoramento biológico da integridade de ecossistemas aquáticos. **Oecologia Brasiliensia**, v. 12, n. 3, p. 487-505, 2008.

PIEDRAS, S. R. N.; BAGER A.; MORAES, P. R. R.; ISOLDI, L. A.; FERREIRA, O. G. L.; HEEMANN, C. Macroinvertebrados bentônicos como indicadores de qualidade de água na Barragem Santa Bárbara, Pelotas, RS, Brasil. **Revista Ciência Rural**, v. 36, n. 2, p. 494-500, 2006.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do estado do Rio Grande do Sul. **Relatório anual sobre a situação dos recursos hídricos no estado 2020**. Departamento de Gestão de Recursos Hídricos e Saneamento. 2021. Disponível em: <https://www.sema.rs.gov.br/relatorio-rh>. Acesso em: 15 ago. 2021a.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura do estado do Rio Grande do Sul. **Relatório da fase A do Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Tramandaí**. Disponível em: https://5e9028af-c7af-4f9d-aa63-0aad1e0463e3.filesusr.com/ugd/fa6722_8eedb472dcf54ddda22ab5057bd7bde4.pdf. Acesso em: 12 dez. 2021b.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria do Meio Ambiente e Infraestrutura. **Relatórios do Plano de Bacia do Rio Gravataí: encarte final**. Disponível em: https://drive.google.com/file/d/0Byn_B-4Lg7RGX0Y3U115VHhKWW8/view?resourcekey=0-OeojKoFRQyK841bPs4avN. Acesso em: 12 dez. 2021c.

ROBAINA, L. E. S.; TRENTIM, R.; SCCOTI, A. A. V. Geomorphological description of the biome Pampa (Brazil) with support of digital elevation model and geographic information system. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 41, e169605, 2021. DOI: <https://doi.org/10.11606/eISSN.2236-2878.rdg.2021.169605>.

ROSSATO, M. S. **Os climas do Rio Grande do Sul: variabilidade, tendências e tipologia**. 2011. 240 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVEIRA, M. P.; QUEIROZ, J. F. de; BOEIRA, R. C. **Protocolo de coleta e preparação de amostras de macroinvertebrados bentônicos em riachos**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2004. 7 p. il. (Embrapa Meio Ambiente. Comunicado Técnico, 19).

SIQUEIRA, R. O.; BIERHALS, D. F.; SPIERING, V.; SOUSA, L. P.; GUARINO, E. S. G.; SANTOS, J. P. Cobertura e uso da terra como subsídio ao Programa de pagamento por serviços ambientais em Pelotas (Rio Grande do Sul). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 18., 2019, Fortaleza. Geografia física e mudanças globais: **Anais...** Fortaleza: UFC, 2019. 12 p.

STENERT, C. **Estrutura da comunidade de invertebrados aquáticos em arrozais do Rio Grande do Sul**. 2009. 205 f. Tese (Doutorado) Universidade Federal de São Carlos.

STENERT, C.; BACCA, R. C.; ÁVILA, A. C.; MALTCHIK, L.; ROCHA, O. Do hydrologic regimes used in rice fields compromise the viability of resting stages of aquatic invertebrates? **Wetlands**, v. 30, n. 5, p. 989-996, 2010.

STODDARD, J. L.; LARSEN, D. P.; HAWKINS, C. P.; JOHNSON, R. K.; NORRIS, R. H. Setting expectations for the ecological condition of streams: the concept of reference condition. **Ecological Applications**, v. 16, n. 4, 1267-1276, 2006.

WHITFIELD, J. Vital signs. **Nature**, v. 411, n. 28, p. 989-990, 2001.

WINCKLER, L. T.; GÜTHS, A. K.; GAYER, P. R. Benthic macroinvertebrates and degradation of phytomass as indicators of ecosystem functions in flooded rice cropping. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, n. 4, p. 261-270, 2017.

ZIANI, P.; FOLETO, E. M.; WOLLMANN, C. A. Análise e caracterização geográfica da bacia hidrográfica do Alto Jacuí/RS. **Ciência e Natura**, v. 39, p. 58-74, 2017.