



CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Insetos como bioindicador de qualidade ambiental em ambientes aquáticos***Insects as a bioindicator of environmental quality in aquatic environments***

João Paulo de Oliveira Santos¹, Gleidyane Novais Lopes²,
Kennedy Santos Gonzaga³, Khyson Gomes Abreu⁴,
Luiz Eduardo Souza Muniz⁵, Paulo Henrique de Almeida Cartaxo⁶

RESUMO

Estratégias de monitoramento da qualidade ambiental dos mais diversos ecossistemas vêm sendo desenvolvidos, principalmente para os ambientes aquáticos, espaços severamente atingidos pelas ações antrópicas. Dentre as técnicas desenvolvidas, destaca-se o uso de espécies bioindicadoras, organismos que apresentam sensibilidade a mudanças no meio e respondem a esses estímulos antropogênicos. Nesse sentido, o presente estudo objetivou analisar na literatura científica os avanços no uso desses organismos, com ênfase para a classe Insecta e sua aplicabilidade de utilização para o monitoramento da saúde ecológica de ecossistemas aquáticos. As principais ordens de insetos reportadas para utilização em bioindicação da qualidade ambiental de corpos hídricos são Diptera e Odonata. Chironomidae (Diptera) é frequentemente aplicada em estudos de contaminação de metais pesados, sendo analisado o desenvolvimento de suas larvas para fins de bioindicação, as quais se desenvolvem em contato com o sedimento, importante compartimento de acumulação de contaminantes no corpo aquático. Insetos da ordem Odonata podem ser utilizados na fase larval ou adulta para bioindicação cujas famílias podem responder às mudanças no meio, sendo algumas mais sensíveis que outras a mudanças ambientais. A utilização desses organismos pode representar uma estratégia eficiente no monitoramento desses ambientes, facilitando a interpretação dos efeitos dos impactos antrópicos sobre esses ecossistemas e em suas relações ecológicas.

Palavras-chave: Recursos hídricos; monitoramento ambiental; Odonata; Diptera.

¹ Doutorando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia/PB - Brasil. E-mail: jpos@agro.adm.br

² Professora Visitante do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia/PB - Brasil. E-mail: gnlopesn@hotmail.com

³ Doutorando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia/PB - Brasil. E-mail: gonzagaks@gmail.com

⁴ Mestre em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia/PB - Brasil. E-mail: khysonabreu@gmail.com

⁵ Idem. E-mail: eduluz22@hotmail.com

⁶ Mestrando em Agronomia, Universidade Federal da Paraíba - UFPB, Areia/PB - Brasil. E-mail: paulohenriquecartaxo@gmail.com



ABSTRACT

Strategies for monitoring the environmental quality of the most diverse ecosystems have been developed, especially for the aquatic environments, spaces severely affected by anthropic actions. Among the techniques developed, the use of bioindicators, species that show sensitivity to changes in the environment and respond to these anthropogenic stimuli are highlighted. In this sense, the present study aimed to analyze in the scientific literature the advances in the use of these organisms, with emphasis to the class Insecta and its applicability of use for the monitoring of the ecological health of aquatic ecosystems. The main orders of insects reported for use in bioindication of the environmental quality of water bodies are Diptera and Odonata. Chironomidae (Diptera) is often applied in studies of heavy metal contamination, and the development of larvae is considered for bioindication, as they develop in contact with the sediment, an important compartment of accumulation of contaminants in the aquatic body. Odonata insects can be used in the larval or adult phase for bioindication whose families may respond to changes in the environment, some being more sensitive than others to environmental changes. The use of these organisms may represent an efficient strategy for monitoring these environments, facilitating the interpretation of the effects of anthropogenic impacts on these ecosystems and their ecological relationships.

Keywords: *Water resources; environmental monitoring; Odonata; Diptera.*

1. INTRODUÇÃO

O cenário de elevada pressão antrópica sobre o meio ambiente, leva a necessidade da realização de programas de monitoramento da poluição ambiental, tornando necessária a utilização de técnicas eficientes e relativamente pouco onerosas. Dentro desse contexto, deve-se destacar o uso de espécies bioindicadoras (REGUERA *et al.*, 2018), as quais são fundamentais para avaliar o nível de poluição ambiental, especialmente em locais sob estresse antropogênico. (D'COSTA *et al.*, 2018).

Diversos organismos apresentam sensibilidade a mudanças no meio devido às suas características biológicas; dessa forma perturbações em um habitat podem alterar a estrutura do ecossistema e favorecer, ou não, certos grupos de espécies, o que será determinado pela preferência de habitat, além das características comportamentais e fisiológicas desses organismos. (MONTEIRO JÚNIOR *et al.*, 2015). Essas mudanças nas comunidades de organismos são ainda mais importantes se não forem apenas descritivas, fornecendo uma visão dos mecanismos biológicos subjacentes às mudanças do ecossistema. (TOCCO *et al.*, 2018).

Um bioindicador é um organismo, ou partes deste, que reflete os diferentes níveis de contaminação ambiental tanto em ecossistemas naturais, como em condições laboratoriais. (SOUZA *et al.*, 2016). Em vez de simplesmente atuar como indicadores de algum tipo de alteração, essas espécies refletem essas perturbações, podendo assim serem utilizados tanto para detectar mudanças no ambiente natural, bem como para indicar impactos negativos ou positivos. (PARMAR *et al.*, 2016). Embora a exposição a estressores ambientais possa ser compensada por mecanismos de reparo, normalmente os sinais de toxicidade são bem evidentes quando esses organismos são submetidos aos limites superiores de tolerância. (D'COSTA *et al.*, 2018).



A depender do grupo de bioindicador utilizado, é possível identificar diferentes aspectos a curto e longo prazo na saúde ecológica de um ecossistema. O princípio por trás de sua aplicação é derivado da suposição de que as espécies ou suas comunidades, são capazes de refletir os efeitos cumulativos das mudanças ambientais em um amplo espectro de gradiente temporal (OVASKAINEN *et al.*, 2019), além da existência de uma ampla gama de organismos adequados para a maioria das possíveis substâncias tóxicas liberadas na natureza. (REGUERA *et al.*, 2018).

De maneira geral qualquer organismo com sensibilidade pode ser considerado como um bioindicador (D'COSTA *et al.*, 2018), todavia, a escolha do grupo taxonômico a ser usado em programas de biomonitoramento é uma etapa crucial; devendo ser pautada nos métodos de amostragem e análise a serem utilizados, nos custos e, principalmente, nas respostas dos organismos aos impactos ambientais que se deseja identificar. (RUARO *et al.*, 2016).

Algumas características devem ser consideradas na escolha de um bioindicador ideal, como por exemplo, esse organismo deve ser capaz de acumular altas cargas de poluentes; ser sésil ou restrito a um local específico para melhor refletir a poluição local; ser relevante na cadeia alimentar; ser abundante e ser generalista. (ZHOU *et al.* 2008).

As respostas dadas pelos bioindicadores também podem diferir de espécie para espécie, podendo ser pelo fornecimento de informações pela presença, ausência e/ou abundância de indivíduos; pela capacidade bioacumulativa de poluentes; ou por modificações nos parâmetros biológicos em um ou vários níveis de organização (molecular, celular, fisiológico, organismo) quando submetidas a um estressor ambiental. (TLILI; MOUNEYRAC, 2019).

Diante da ampla potencialidade de uso das práticas de bioindicação, o presente estudo objetivou analisar na literatura científica os avanços no uso de bioindicadores, com ênfase para a classe Insecta e sua aplicabilidade de utilização para o monitoramento da saúde ecológica de ecossistemas aquáticos. Buscou-se ainda identificar os campos de aplicação e desafios para a maximização do uso desses organismos.

2. DESENVOLVIMENTO

2.1. UTILIZAÇÃO DE INSETOS COMO BIOINDICADOR

Diversas espécies da classe Insecta apresentam flutuação na abundância de indivíduos quando submetidas a estressores ambientais. Esses organismos apresentam uma grande facilidade de amostragem, principalmente em grande número, sendo assim ideais para estudos de riqueza, rotatividade de espécies e comparações de similaridade da comunidade entre diferentes características de paisagem. (GERLACH *et al.*, 2013). Muitos grupos de insetos já possuem estudos que contemplem suas respostas a fontes de poluição, levando essa classe a ser frequentemente utilizada em trabalhos sobre os efeitos das mudanças ambientais em ecossistemas. (GHANNEM *et al.*, 2018).



A classe Insecta possui representantes potenciais que podem ser utilizados como bioindicadores ambientais, destacando-se as ordens Coleoptera (GERLACH *et al.*, 2013), Lepidoptera (RAMÍREZ-RESTREPO; MACGREGOR-FORS, 2017), Diptera (ARIMORO *et al.*, 2018), Hymenoptera (RIBAS *et al.*, 2012; BARGAŃSKA *et al.*, 2016) e Odonata (VALENTE-NETO *et al.*, 2016).

A ordem Coleoptera apresenta grande diversidade, o que dificulta os procedimentos de amostragem na maioria dos habitats onde ocorre; dessa forma uma estratégia é a utilização de famílias como bioindicadoras. Muitas dessas famílias possuem estreitas associações próximas com alguns tipos de ecossistemas em particular, fator que deve nortear a escolha do grupo a ser utilizado. Famílias como Cerambycidae comumente são utilizadas para estudos de bioindicação para condições de conservação florestal, enquanto representantes de Carabidae podem ser utilizados em ambientes abertos e Chrysomelidae em ambientes ricos em folhagem. (GERLACH *et al.*, 2013).

Dentro da ordem Lepidoptera, borboletas das superfamílias Papilionoidea e Hesperioidea têm sido consideradas como descritoras eficientes de alterações na paisagem, sendo, portanto, aptas para a indicação de mudanças nas condições ambientais. (RAMÍREZ-RESTREPO; MACGREGOR-FORS, 2017). As borboletas são extremamente sensíveis a mudanças na composição e estrutura de habitats, assim como diferentes padrões de vegetação são responsáveis por abrigar diferentes espécies desses insetos. Dessa forma, o aumento de características urbanas no ambiente leva a diminuição da riqueza, diversidade e abundância de espécies dessas Lepidopteras. (PERVEEN; FAZAL, 2013).

A taxonomia da maioria das famílias de Diptera é instável e a identificação é muitas vezes difícil, o que inviabiliza em muitos casos o seu uso como potenciais indicadores. (GERLACH *et al.*, 2013). No entanto, algumas famílias, como Chironomidae, são amplamente utilizadas em estudos de bioindicação, o que se deve as respostas de suas larvas ao contato com sedimentos contaminados com poluentes. (ARIMORO *et al.*, 2018).

Na ordem Hymenoptera destacam-se o potencial das formigas e abelhas para bioindicação. As formigas são normalmente abundantes e onipresentes em habitats perturbados e intocados, apresentando alta sensibilidade às variações ambientais, além de possuírem certa facilidade de amostragem e identificação, levando sua utilização como indicadores em programas de monitoramento de conservação ambiental. (RIBAS *et al.*, 2012). O uso de formigas é particularmente importante em ecossistemas florestais, onde existem espécies tolerantes e espécies intolerantes a perturbações, desse modo, após um distúrbio, o primeiro grupo de espécies aumentará, ao contrário do que se espera do segundo, ocasionando assim uma mudança na diversidade e estrutura das comunidades desses insetos. (KWON *et al.*, 2014).

O uso de abelhas e seus produtos apícolas (pólen e mel) têm sido muito utilizados como bioindicadores de contaminação ambiental, principalmente pelos relatos preocupantes de mortandade desses insetos; que embora não sejam os alvos dos pesticidas utilizados em atividades agrícolas, são extremamente vulneráveis à contaminação com esses produtos pela exposição a essas substâncias enquanto realizam as atividades de polinização. (OLIVEIRA *et al.*, 2016). Dessa forma, as abelhas



além de se contaminarem com substâncias tóxicas, sejam estes metais pesados, elementos radioativos ou poluentes orgânicos persistentes, levam esses contaminantes para a colmeia, o que acarreta além de sua própria mortalidade, a contaminação dos produtos apícolas. (BARGAŃSKA *et al.*, 2016).

A ordem Odonata está ligada diretamente a ambientes aquáticos, sejam eles lênticos ou lóticos; suas larvas possuem baixa capacidade de dispersão, sendo dependentes do meio para esse fim, o que as tornam mais suscetíveis às mudanças ambientais e as levam a responderem de forma mais rápida às modificações antropogênicas; além disso, outras características levam essa ordem a ser utilizada para fins de bioindicação, como a facilidade de coleta e identificação possível em nível de adulto e larvas. (VALENTE-NETO *et al.*, 2016).

Outras ordens da classe Insecta podem ser utilizadas em programas de bioindicação, embora em menor grau que as citadas anteriormente. Por exemplo, Ortópteros podem ser empregados para análises de resposta à poluição e mudanças climáticas; Blattodea para monitorar mudanças ecológicas; e Mantodea reflete a diversidade e status dos níveis mais baixos de teias alimentares. (GERLACH *et al.*, 2013).

2.2. INSETOS COMO INDICADOR DE QUALIDADE EM CORPOS HÍDRICOS

Ambientes aquáticos vêm enfrentando uma série de influências antrópicas negativas nas últimas décadas, comprometendo sua saúde ecológica, a qual é afetada por uma combinação de fatores físicos, químicos e biológicos. De forma geral, a saúde de um ecossistema aquático é mensurada pelos resultados de amostragem da qualidade da água e do sedimento desses ambientes, no entanto, esse tipo de monitoramento é costuma ter alto custo de manutenção e os resultados nem sempre fornecem uma ligação direta e absoluta entre o grau de poluição e o impacto biológico associado, principalmente em casos de efeitos sinérgicos ou antagônicos, assim, o uso da bioindicação vem ganhando espaço para a avaliação da qualidade ambiental nesses ecossistemas. (NASIRIAN; IRVINE, 2017).

Os insetos aquáticos são modelos interessantes para comparar respostas a mudanças no ambiente em que estão inseridos, assim como a congruência entre os estágios do ciclo de vida desses organismos. (VALENTE-NETO *et al.*, 2016). Diversos trabalhos na literatura científica abordam a utilização desses insetos como bioindicadores, principalmente utilizando indivíduos das ordens Diptera e Odonata (Tabela 1).

Os insetos da família Chironomidae (Diptera) são amplamente utilizados para fins de bioindicação da qualidade de corpos aquáticos, o que se deve a sua diversidade ecológica, ampla escala de ocorrência e posição crítica nas cadeias alimentares desses ecossistemas. (NICACIO; JUAN, 2015). Em geral, são as larvas dessa família que são utilizadas como bioindicadores, uma vez que estão em contato com o sedimento e, portanto, expostas aos potenciais contaminantes. (ARIMORO *et al.*, 2018).

Em muitos dos trabalhos que utilizam Chironomidae, a análise da bioindicação é feita em conjunto com outros macroinvertebrados bentônicos, como caramujos, crustáceos e larvas de outros insetos que possuem uma fase de vida aquática, ambos com a característica de serem sésseis ou pouco móveis e viverem em contato com o sedimento. (MERETA *et al.*, 2013). Entretanto, dentro dos macroinvertebrados



bentônicos, Chironomidae é um dos grupos mais representativos, devido a sua abundância e biodiversidade. (ODUME; MULLER, 2011; MILOŠEVIĆ *et al.*, 2014).

Tabela 1 - Utilização de diferentes famílias de Insecta em estudos de bioindicação de qualidade ambiental de corpos aquáticos.

Família	País	Ecossistema	Bioindicação	Autor
Aeshnidae, Gomphidae, Libellulidae, Calopterygidae, Coenagrionidae, Dicterididae, Megapodagrionidae, Perilestidae e Polythoridae (Odonata)	Brasil	Rios Amazônicos	Degradação do habitat	Miguel <i>et al.</i> (2017)
Chironomidae (Diptera)	Estados Unidos da América	Bacia do rio San Pedro	Mudanças Climáticas	Cañedo-Argüelles <i>et al.</i> (2016)
Chironomidae (Diptera)	Nigéria	Lago Shiroro	Metais Pesados	Arimoro <i>et al.</i> (2018)
Aeshnidae, Coenagrionidae e Libellulidae (Odonata)	Irã	Pântano de Hawr Al Azim	Metais Pesados	Nasirian; Irvine (2017)
Libellulidae (Odonata) e Chironomidae (Diptera)	Brasil	Reservatórios da região Semiárida	Degradação do habitat	Azevêdo <i>et al.</i> (2018)
Chironomidae (Diptera)	Itália	Nascentes nos Pré-Alpes italianos	Degradação do habitat	Lencioni <i>et al.</i> (2018)
Chironomidae (Diptera)	Argentina	Afluentes do rio Corintos	Degradação do habitat	Horak <i>et al.</i> (2019)

Fonte: Elaborada pelos autores.

Estudos como os de Lencioni *et al.* (2012) e Lencioni *et al.* (2018) mostraram que a temperatura da água, composição do substrato e perturbações antrópicas são os principais fatores determinantes da distribuição e abundância de Chironomidae em nascentes alpinas e pré-alpinas na Itália. Esses mesmos autores destacam o fato de algumas espécies estarem associadas a altos níveis de perturbação e outras se adaptarem melhor as condições de ambientes prístinos. Odume e Muller (2011) em trabalho no rio Swartkops, importante ecossistema de água doce na África do Sul, observaram que as comunidades de Chironomidae desse rio eram sensíveis às diferenças na qualidade da água, diminuindo a diversidade de espécies e a riqueza em direção aos maiores gradientes de antropização desse ecossistema. Para além de mudanças na estrutura populacional dessa família, Arimoro *et al.* (2018) identificaram que a exposição de larvas de Chironomidae a sedimentos contaminados com metais pesados, levaram a deformidades nas partes bucais desses organismos, o que facilita a identificação desses estressores ambientais no meio.



Representantes da ordem Odonata apresentam um ciclo de vida intimamente ligado a habitats aquáticos, notadamente os de água doce, com ninfas passando a maior parte de sua vida debaixo d'água e alimentando-se de pequenos invertebrados; assim a estreita ligação com esses ambientes levam as populações dessa ordem a serem potencialmente afetadas pelas intervenções antrópicas (NASIRIAN; IRVINE, 2017) e conseqüentemente a apresentarem um bom grau de sensibilidade à poluição ambiental, o que os torna bom indicadores da qualidade da saúde ambiental de corpos hídricos, principalmente os localizados em áreas sob influência de ações antropogênicas como a urbanização. (MERETA *et al.*, 2013).

Em trabalho desenvolvido em trinta córregos em ambientes urbanos e naturais na bacia do rio Amazonas, Monteiro Júnior *et al.* (2015) identificaram uma redução da riqueza de espécies de odonatos em resposta ao aumento do grau de urbanização. Esse mesmo estudo mostrou comportamentos diferentes para subordens como Anisoptera, a qual pode se tornar mais diversificada em níveis intermediários de urbanização; e Zigóptera que se mostra com um alto grau de fidelidade e especificidade para habitats conservados. (MONTEIRO JÚNIOR *et al.*, 2015). Mereta *et al.* (2013) observaram comportamento similar em zonas úmidas naturais no sudoeste da Etiópia, porém essa especificação ocorreu a nível de família, com Gomphidae sendo classificada entre os táxons mais sensíveis, enquanto Coenagrionidae apresentou maior resistência a ambientes poluídos.

A baixa mobilidade das larvas de Odonata as tornam mais suscetíveis a mudanças ambientais locais do que os indivíduos adultos. (VALENTE-NETO *et al.*, 2016). Assim, comumente nesse estágio pode ocorrer a contaminação por poluentes. Nasirian e Irvine (2017) verificaram que larvas de Odonata do pântano de Hawr Al Azim, no Irã, absorveram diferentes contaminantes disponíveis no sedimento desse ambiente, entre eles o cromo, cobre e zinco; as larvas funcionaram assim como bioacumuladoras desses metais, levando essa contaminação para a cadeia trófica desse ecossistema.

2.3. PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA A UTILIZAÇÃO DESSES INDICADORES

Os estudos de aplicabilidade de Insecta como bioindicadores para corpos aquáticos, ainda são escassos em países da África, Oceania e América do Sul, entretanto alguns desses países apresentam uma quantidade significativa de artigos publicados, como por exemplo, o Brasil; que embora apresente relevantes pesquisas com essa temática nos últimos anos, ainda possui muitos ambientes aquáticos que carecem de estudos. (NICACIO; JUEN, 2015). Nesse sentido, o uso de insetos como bioindicadores apresenta um amplo espectro de potencialidades no país, principalmente em ecossistemas ainda pouco explorados, como os rios intermitentes da Caatinga.

Um grande desafio, no entanto, é a utilização desses bioindicadores a nível de espécie. Para Chironomidae, por exemplo, embora existam chaves taxonômicas disponíveis para identificação, muitos gêneros consistem em espécies crípticas ou ainda desconhecidas; quando a identificação em nível de espécie é possível, exige um grande esforço para as montagens das lâminas de identificação e requer uma elevada conhecimento taxonômico. (CAREW *et al.*, 2013). Além disso, outro agravante é a identificação precisa de espécie utilizando-se indivíduos em estágio larval, o que muitas vezes é impossível. (MILOŠEVIĆ *et al.*, 2014).



Um problema chave ao não se realizar a identificação de Chironomidae com a menor resolução taxonômica possível, é de que, em caso dos dados de nível de espécie não estiverem disponíveis, pode-se erroneamente concluir que todos os indivíduos amostrados são tolerantes à poluição, quando espécies dentro desta família apresentam graus diferentes de sensibilidade e resposta a esses contaminantes. (ODUME; MULLER, 2011).

No caso de Odonata, tanto as larvas como os adultos são potenciais bioindicadores da qualidade ambiental em corpos hídricos, no entanto, esses organismos diferem em algumas características. Os seus ciclos de vida complexos, representam um desafio a mais, visto que o nível de identificação taxonômica pode depender do estágio de vida. e, durante sua ontogenia, podem ocorrer mudanças em seu nicho ontogenético (VALENTE-NETO *et al.*, 2016). Além disso, para uma identificação confiável de uma espécie e de suas relações com um estressor antropogênico, é recomendada a amostragem de larvas e exúvias, o que é uma tarefa complexa em regiões tropicais devido a condições desfavoráveis, como as características da vegetação. (GOLFIERI *et al.*, 2016).

Dessa forma, para uma maior aplicabilidade desses indicadores, bem como para a compreensão dos resultados obtidos, fatores como o aperfeiçoamento da identificação desses organismos em categorias taxonômicas hierarquicamente inferiores e o entendimento de seus ciclos de vida são tarefas importantes e necessárias.

3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de insetos como bioindicadores de qualidade ambiental tem crescido nas últimas décadas, com destaque para a utilização de algumas ordens como Coleoptera, Lepidoptera, Hymenoptera, Diptera e Odonata; das quais as duas últimas apresentam grande potencial de utilização em ambientes aquáticos. A utilização desses organismos representa uma alternativa promissora para o monitoramento desses ecossistemas, além de refletir de forma prática os impactos das ações antrópicas nas relações ecológicas presentes. As potencialidades do uso de bioindicadores são imensas, no entanto, deve-se atentar para as respostas que se deseja obter e para qual grupo melhor pode fornecê-las.

4. REFERÊNCIAS

ARIMORO, F. O.; AUTA, Y. I.; ODUME, O. N.; KEKE, U. N.; MOHAMMED, A. Z. Mouthpart deformities in Chironomidae (Diptera) as bioindicators of heavy metals pollution in Shiroro Lake, Niger State, Nigeria. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.149, p.96-100, 2018.

AZEVÊDO, E. L.; MEDEIROS, C. R.; GOMES, W. I. A.; AZEVEDO, D. J. S.; ALVES, R. R. N.; DIAS, T. L. P.; MOLOZZI, J. The use of Risk Incidence and Diversity Indices to evaluate water quality of semi-arid reservoirs. **Ecological Indicators**, v.90, p.90-100, 2018.



BARGAŃSKA, Ź.; ŚLEBIODA, M.; NAMIEŚNIK, J. Honey bees and their products: bioindicators of environmental contamination. **Critical Reviews in Environmental Science and Technology**, v.46, n.3, p.235-248, 2016.

CAÑEDO-ARGÜELLES, M.; BOGAN, M. T.; LYTLE, D. A.; PRAT, N. Are Chironomidae (Diptera) good indicators of water scarcity? Dryland streams as a case study. **Ecological Indicators**, v.71, p.155-162, 2016.

CAREW, M. E.; PETTIGROVE, V. J.; METZELING, L.; HOFFMANN, A. A. Environmental monitoring using next generation sequencing: rapid identification of macroinvertebrate bioindicator species. **Frontiers in Zoology**, v.10, n.1, p.45, 2013.

D'COSTA, A. H.; SHYAMA, S. K.; MK, P. K.; FURTADO, S. The Backwater Clam (*Meretrix casta*) as a bioindicator species for monitoring the pollution of an estuarine environment by genotoxic agents. **Mutation Research/Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis**, v.825, p.8-14, 2018.

GERLACH, J.; SAMWAYS, M.; PRYKE, J. Terrestrial invertebrates as bioindicators: an overview of available taxonomic groups. **Journal of Insect Conservation**, v.17, n.4, p.831-850, 2013.

GHANNEM, S.; TOUAYLIA, S.; BOUMAIZA, M. Beetles (Insecta: Coleoptera) as bioindicators of the assessment of environmental pollution. **Human and Ecological Risk Assessment: an International Journal**, v.24, n.2, p.456-464, 2018.

GOLFIERI, B.; HARDERSEN, S.; MAIOLINI, B.; SURIAN, N. Odonates as indicators of the ecological integrity of the river corridor: development and application of the Odonate River Index (ORI) in northern Italy. **Ecological Indicators**, v.61, p.234-247, 2016.

HORAK, C. N.; ASSEF, Y. A.; MISERENDINO, M. L. Assessing effects of confined animal production systems on water quality, ecological integrity, and macroinvertebrates at small piedmont streams (Patagonia, Argentina). **Agricultural Water Management**, v.216, p.242-253, 2019.

KWON, T.; LEE, C. M.; SUNG, J. H. Diversity decrease of ant (Formicidae, Hymenoptera) after a forest disturbance: different responses among functional guilds. **Zoological Studies**, v.53, n.1, p.37, 2014.

LENCIONI, V.; MARZIALI, L.; ROSSARO, B. Chironomids as bioindicators of environmental quality in mountain springs. **Freshwater Science**, v.31, n.2, p.525-541, 2012.

LENCIONI, V.; MEZZANOTTE, E.; SPAGNOL, C.; LATELLA, L. Effects of human impacts on diversity and distribution of chironomids (Diptera: Chironomidae) in prealpine springs. **Journal of Limnology**, v.77, n.1, p.203-212, 2018.

MERETA, S. T.; BOETS, P.; MEESTER, L.; GOETHALS, P. L. Development of a multimetric index based on benthic macroinvertebrates for the assessment of natural wetlands in Southwest Ethiopia. **Ecological Indicators**, v.29, p.510-521, 2013.

MIGUEL, T. B.; OLIVEIRA-JUNIOR, J. M. B.; LIGEIRO, R.; JUEN, L. Odonata (Insecta) as a tool for the biomonitoring of environmental quality. **Ecological Indicators**, v.81, p.555-566, 2017.



MILOŠEVIĆ, D.; STOJKOVIĆ, M.; ČERBA, D.; PETROVIĆ, A.; PAUNOVIĆ, M.; SIMIĆ, V. Different aggregation approaches in the chironomid community and the threshold of acceptable information loss. **Hydrobiologia**, v.727, n.1, p.35-50, 2014.

MONTEIRO JÚNIOR, C. S.; JUEN, L.; HAMADA, N. Analysis of urban impacts on aquatic habitats in the central Amazon basin: adult odonates as bioindicators of environmental quality. **Ecological Indicators**, v.48, p.303-311, 2015.

NASIRIAN, H.; IRVINE, K. N. Odonata larvae as a bioindicator of metal contamination in aquatic environments: application to ecologically important wetlands in Iran. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.189, n.9, p.436, 2017.

NICACIO, G.; JUEN, L. Chironomids as indicators in freshwater ecosystems: an assessment of the literature. **Insect Conservation and Diversity**, v.8, n.5, p.393-403, 2015.

ODUME, O. N.; MULLER, W. J. Diversity and structure of Chironomidae communities in relation to water quality differences in the Swartkops River. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v.36, n.14-15, p.929-938, 2011.

OLIVEIRA, R. C.; QUEIROZ, S. C. N.; LUZ, C. F. P.; PORTO, R. S.; RATH, S. Bee pollen as a bioindicator of environmental pesticide contamination. **Chemosphere**, v.163, p.525-534, 2016.

OVASKAINEN, O.; WEIGEL, B.; POTYUTKO, O.; BUYVOLOV, Y. Long-term shifts in water quality show scale-dependent bioindicator responses across Russia—Insights from 40 year-long bioindicator monitoring program. **Ecological Indicators**, v.98, p.476-482, 2019.

PARMAR, T. K.; RAWTANI, D.; AGRAWAL, Y. K. Bioindicators: the natural indicator of environmental pollution. **Frontiers in Life Science**, v.9, n.2, p.110-118, 2016.

PERVEEN, F.; FAZAL, F. Biology and distribution of butterfly fauna of Hazara university, Garden Campus, Mansehra, Pakistan. **Open Journal of Animal Sciences**, v.3, n.2A, p.28-36, 2013.

RAMÍREZ-RESTREPO, L.; MACGREGOR-FORS, I. Butterflies in the city: a review of urban diurnal Lepidoptera. **Urban Ecosystems**, v.20, n.1, p.171-182, 2017.

REGUERA, P.; COUCEIRO, L.; FERNANDEZ, N. A review of the empirical literature on the use of limpets *Patella* spp. (Mollusca: Gastropoda) as bioindicators of environmental quality. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v.148, p.593-600, 2018.

RIBAS, C. R.; CAMPOS, R. B.; SCHMIDT, F. A.; SOLAR, R. R. Ants as indicators in Brazil: a review with suggestions to improve the use of ants in environmental monitoring programs. **Psyche: a Journal of Entomology**, v.2012, p.1-23, 2012.

RUARO, R.; GUBIANI, É. A.; CUNICO, A. M.; MORETTO, Y.; PIANA, P. A. Comparison of fish and macroinvertebrates as bioindicators of Neotropical streams. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.188, n.1, p.45, 2016.



SOUZA, C. P.; GUEDES, T. A.; FONTANETTI, C. S. Evaluation of herbicides action on plant bioindicators by genetic biomarkers: a review. **Environmental Monitoring and Assessment**, v.188, n.12, p.694, 2016.

TLILI, S.; MOUNEYRAC, C. The wedge clam *Donax trunculus* as sentinel organism for Mediterranean coastal monitoring in a global change context. **Regional Environmental Change**, v.19, n.4, p.1-13, 2019.

TOCCO, C.; BALMER, J. P.; VILLET, M. H. Trophic preference of southern African dung beetles (Scarabaeoidea: Scarabaeinae and Aphodiinae) and its influence on bioindicator surveys. **African Journal of Ecology**, v.56, n.4, p.938-948, 2018.

VALENTE-NETO, F.; ROQUE, F. O.; RODRIGUES, M. E.; JUEN, L.; SWAN, C. M. Toward a practical use of Neotropical odonates as bioindicators: testing congruence across taxonomic resolution and life stages. **Ecological Indicators**, v.61, p.952-959, 2016.

ZHOU, Q.; ZHANG, J.; FU, J.; SHI, J.; JIANG, G. Biomonitoring: an appealing tool for assessment of metal pollution in the aquatic ecosystem. **Analytica Chimica Acta**, v.606, n.2, p.135-150, 2008.

Submetido em: **29/01/2020**

Aceito em: **26/04/2021**