

IV-281 - USO DE BIOINDICADORES DE QUALIDADE DA ÁGUA EM RIOS RECEPTORES DE EFLUENTES DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO

Cecília Santiago do Carmo Araújo

Bióloga. Mestre em Ecologia e Evolução pela Universidade Federal de Goiás.

Adriana Rosa Carvalho

Bióloga. Doutora em Ecossistemas Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá (PR).

Ronaldo Angelini⁽¹⁾

Ecólogo. Doutor Ecossistemas Aquáticos Continentais pela Universidade Estadual de Maringá (PR).

Endereço⁽¹⁾: Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, campus Universitário s/n, Lagoa Nova. Cx postal 1524. CEP 59.098-970 Natal (RN) – Brasil. Tel/Fax 0055 (84) 3215 3131 - e-mail: angelini@ct.ufrn.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi inferir sobre o impacto do lançamento de resíduos orgânicos de seis Estações de Tratamento de Esgotos - ETE utilizando a comunidade de insetos aquáticos presentes nos córregos receptores como bioindicadores de qualidade da água, bem como avaliar quais *taxa* resistiram ao impacto e quais foram eliminados. Para tanto, foram testadas hipóteses de que i) o distúrbio causado pelo despejo de efluentes através de ETE's causa eliminação total ou diminuição na abundância de *taxa* sensíveis e o estabelecimento de *taxa* resistentes e que ii) a composição de espécies à jusante do impacto das ETE's é modificada devido a presença de novos *taxa*, o que a torna, portanto, diferente da composição à montante. A coleta de insetos aquáticos e as medidas de variáveis limnológicas foram realizadas no período de estiagem de 2010, com o auxílio do amostrador Surber, 100m à montante e 100m à jusante do despejo do efluente. As larvas de Chironomidae (Diptera) e EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) foram identificadas até gênero. Os resultados mostraram que abundância registrada à jusante (22.650 indivíduos) foi maior que a registrada à montante (4.552 indivíduos) em todas as ETEs (com exceção da ETE DAIA). O resultado do teste U utilizando valores de abundância total dos táxons mostrou diferenças significativas (quando a ETE DAIA foi excluída; $Z= 2,611$; g.l.= 8; $p= 0,009$), indicando uma desestruturação da comunidade e sugerindo a eliminação de táxons sensíveis e o aumento na abundância de táxons dominantes, como é o caso de *Chironomus* sp, resistente a altas concentrações de detritos orgânicos. Tanto a riqueza de gêneros (Teste U: $Z= 0,720$; g.l.= 10; $p= 0,471$) quanto a de famílias (Teste U: $Z= 1,040$; g.l.= 10; $p= 0,297$) não foram diferentes nos dois trechos, mostrando que este indicador não é adequado para este tipo de bioavaliação. Houve substituição de táxons entre montante e jusante, com favorecimento de gêneros de *Farrodes* sp, *Tricorythodes* sp, *Alisotrichia* sp e *Mortoniella* sp. Desta forma, o lançamento de resíduos orgânicos das ETEs modificou a estrutura da comunidade de insetos aquáticos presentes nos córregos receptores aumentando a abundância, alterando a dominância e causando substituição de táxons entre montante e jusante.

PALAVRAS-CHAVE: entomofauna aquática, macroinvertebrados, descarga de efluente, tratamento de esgoto, ETE.

INTRODUÇÃO

O despejo de efluentes domésticos e/ou industriais é um resíduo de atividades humanas que causa degradação da qualidade da água em sistemas naturais (PAUL & MEYER, 2001; ORTIZ *et al.*, 2005) e tem o potencial de impactar diretamente todos os níveis de organização (PICKETT *et al.*, 1989; WHITE & JENTSCH, 2004) gerando mortalidade discreta e pontual, além do deslocamento ou perda em abundância e riqueza de espécies, criando novos espaços e/ou recursos que direta ou indiretamente proporcionam uma oportunidade para outros indivíduos ou espécies se estabelecerem (SOUSA, 1984; TOWNSEND *et al.*, 1997).

Como consequência, vários grupos biológicos vêm pela sua capacidade de indicar distúrbios no ecossistema que ocupam. Enquanto distúrbios intensos, mesmo que infrequentes podem resultar em uma significativa redução de diversidade de espécies, há evidências de que a frequência moderada e menor severidade de distúrbios pode manter a diversidade em alguns sistemas (SOUSA, 1979a,b; HUSTON, 1994).

Dentro da fauna de macroinvertebrados de água doce, os insetos aquáticos são um grupo eficiente na avaliação de efeitos nocivos causados pelas atividades humanas nos ecossistemas aquáticos (BAPTISTA, 2007; SASAKI *et al.*, 2009) devido à sua capacidade de viver e manter uma alta diversidade na maioria dos sistemas aquáticos, bem como de colonizar qualquer tipo de ambiente, preservado ou não (ROSENBERG & RESH, 1993; MERRITT & CUMMINS, 1996; BONADA *et al.*, 2006) e por serem de amostragem fácil e barata (COMPIN & CÉRÉGHINO, 2003).

Poucos trabalhos têm sido realizados para descrever o efeito direto de distúrbios desencadeados por poluição orgânica sobre a estrutura da comunidade de invertebrados aquáticos (KOETSIER, 2002; AZRINA *et al.*, 2006; CORTEZZI *et al.*, 2009; LANGFORD *et al.*, 2009), em especial em ecossistemas que recebem efluentes orgânicos de estações de tratamento de esgotos (ORTIZ *et al.*, 2005), e a compreensão do padrão de resposta de diferentes grupos taxonômicos sob efeito do despejo de efluentes desta natureza pode nortear o monitoramento e manejo do efeito da operação de ETEs sobre esta comunidade e fornecer informações sobre a habilidade dos diferentes táxons em resistir ou sucumbir a este distúrbio.

Desta forma, o objetivo deste trabalho foi verificar o efeito do lançamento de resíduos orgânicos de seis Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) sobre a abundância, a riqueza e a composição da comunidade de insetos aquáticos presentes nos córregos receptores.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas coletas em córregos que recebem os despejos dos efluentes tratados de Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs) localizadas no Estado de Goiás (ETE Campos Dourados, ETE Cruzeiro do Sul, ETE Lages, ETE Trindade, ETE Guapó e ETE DAIA – Distrito Agroindustrial de Anápolis). Com exceção da ETE DAIA, todas são administradas pela SANEAGO (Saneamento Básico S/A, GO), que é responsável pelo abastecimento de água em 223 municípios, bem como pela coleta e transporte de esgotos em 37 municípios (SANEAMENTO BÁSICO S/A, 2010).

A ETE Campos Dourados, localizada no Residencial Campos Dourados em Goiânia, tem vazão de operação média de 1,5 L/s e libera seu efluente no Córrego Rodeio. Esta ETE é pequena porque foi criada para tratar o esgoto das cerca de duas mil residências do bairro e usa um sistema de tratamento por radiação ultravioleta.

A ETE Cruzeiro do Sul, situada em Aparecida de Goiânia, tem como corpo receptor o córrego dos Almeidas que recebe uma vazão de operação média de efluente de 66,06 L/s.

A ETE DAIA está situada no Distrito Agroindustrial de Anápolis (DAIA) que a administra. Cerca de 90% do efluente é produzido por indústrias de produtos farmacológicos. A ETE libera seu efluente no Córrego Abraão com vazão média de operação de 45 L/s.

A ETE de Guapó apresenta uma vazão média de produção de esgoto final tratado de 8,7 L/s, que é liberado no Ribeirão dos Pereiras onde existe intensa extração de areia resultando em desbarrancamento das margens do córrego.

A ETE Lages é a maior, está localizada no município de Hidrolândia e recebe o efluente do município de Aparecida de Goiânia e despeja seu efluente no Córrego Lages, com uma vazão média de 23 L/s.

A ETE Barro Preto de Trindade está localizada próximo ao Córrego Barro Preto, seu corpo receptor, operando com vazão média de 87 L/s. Esta é a única ETE em que o esgoto chega à uma estação elevatória que o transporta até o tratamento. Nas demais o efluente chega até a estação de tratamento por gravidade.

Com exceção da ETE Campos Dourados que tem um tratamento diferenciado, todas as outras têm um sistema de tratamento similar, através de lagoas de estabilização, nas quais os esgotos fluem continuamente e são tratados por processos naturais. Bactérias e algas coexistem em um processo de simbiose tratando os esgotos através da decomposição da matéria orgânica pelas bactérias (SANEAMENTO BÁSICO S/A, 2010).

AMOSTRAGEM BIOLÓGICA E FÍSICO-QUÍMICA

As coletas foram realizadas no período de estiagem de 2010, que é a época mais indicada para a realização de estudos ecológicos e de impactos sobre a fauna de insetos aquáticos devido à maior representação da comunidade e maior heterogeneidade ambiental (BISPO et al., 2001; BISPO & OLIVEIRA, 2007; DINIZ-FILHO et al., 1998). Neste período existe ainda uma menor capacidade de diluição do córrego (GASITH & RESH, 1999), o que evita o consequente aumento natural da vazão sobre a comunidade evitando o efeito do distúrbio hidrológico e permitindo uma colonização contínua.

A coleta da entomofauna aquática foi feita 100m à montante do despejo do efluente de cada ETE e 100m à jusante do despejo do efluente. Foi usado um amostrador tipo Surber, de malha 0,225mm para obter cinco subamostras, totalizando uma área de 0,5m² por trecho, na tentativa de abranger o maior número de microhabitats disponíveis no local. Ainda no campo os organismos foram conservados em formol 4% e, no laboratório, as larvas foram triadas, identificadas ao menor nível taxonômico possível e preservadas em álcool 70%.

As larvas da família Chironomidae (Diptera) foram identificadas até gênero utilizando-se o meio de Hoyer para a montagem das lâminas semipermanentes (TRIVINHO-STRIXINO & STRIXINO, 1995) e segundo as chaves taxonômicas de TRIVINHO-STRIXINO & STRIXINO (1995) e WIEDERHOLM (1983). As larvas das ordens EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) também foram identificadas até gênero utilizando-se, respectivamente, as chaves de SALLES (2006), OLIFIERS et al. (2004), PES et al. (2005) e WIGGINS (1977).

As variáveis físico-químicas condutividade elétrica (mS/m), turbidez (NTU), concentração de oxigênio dissolvido (OD - g/L), temperatura (oC) e sólidos totais dissolvidos (TDS - g/L) foram medidas no local com o uso do analisador de Multiparâmetros Horiba. A velocidade da água (m/s) foi medida através do método do flutuador e a vazão (m³/s) foi estimada pelo produto da velocidade média da água por uma área de secção feita no córrego.

ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para testar a hipótese de que o distúrbio causado pelo lançamento de efluentes causa diminuição na abundância de táxons sensíveis e o aumento na abundância de táxons resistentes à jusante, foi realizado um teste U (ou Mann-Whitney), o correspondente não-paramétrico do Teste t.

Para avaliar se a dominância dos táxons registrados à montante e à jusante se manteve, foi feita uma análise de correlação pelo índice de Spearman comparando a abundância de famílias e gêneros identificados das ordens Diptera e Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera. Este índice correlaciona a posição dos grupos, assim, se a correlação for alta indicará que aqueles que predominaram na amostra antes do despejo, continuam predominando na amostra abaixo dele.

Para avaliar a riqueza de insetos aquáticos encontrada nas seis Estações de Tratamento de Esgoto foi aplicado o teste U usando i) todos os táxons identificados em nível de família, para se ter um panorama geral da comunidade e ii) apenas os táxons identificados em nível genérico, ou seja, as larvas de Chironomidae (Diptera) e EPT, cuja distribuição foi mais ampla e a identificação foi mais precisa.

Para avaliar a distribuição dos táxons nos trechos amostrados antes e depois do despejo de efluentes em relação às variáveis ambientais, foi feita uma CCA (Análise de Correspondência Canônica) com os táxons da família Chironomidae (Diptera) e das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera (EPT) e as variáveis ambientais (TER BRAAK, 1986; LEGENDRE & LEGENDRE, 1998). Para facilitar a visualização, foi apresentada uma CCA contendo os gêneros de Chironomidae com abundância acima de 100 indivíduos e uma CCA com os gêneros de EPT com mais que 25 indivíduos. A significância da relação entre as matrizes bióticas e abióticas foi feita através do teste de permutação de Monte Carlo, com 999 permutações.

Para avaliar a similaridade entre montante e jusante das ETEs em relação à estrutura da comunidade foram feitas: 1) uma ordenação multidimensional não-métrica (“Non-metric Multidimensional Scalling” – NMDS), a partir da matriz de similaridades dos dados de abundância log-transformados – $\log(x+1)$, com e sem a ETE DAIA, para evidenciar a influência dos dados de abundância desta ETE sobre as demais e 2) um índice de similaridade de Bray-Curtis através dos dados de presença e ausência, para avaliar se a similaridade entre

montante e jusante foi alta ou baixa (MAGURRAN, 2003). Para isto, os valores de similaridade gerados par-a-par foram agrupados através de uma análise de “Cluster” (ou agrupamento). Estas análises foram feitas no software R, versão 2.12.1 (R Development Core Team, 2011), utilizando os pacotes vegan e MASS.

RESULTADO

No total foram registradas 27.202 larvas de insetos aquáticos. Deste total, a abundância registrada à jusante da descarga das ETEs ($N_{Jus} = 22.650$ indivíduos) foi maior que a registrada à montante ($N_{Mont} = 4.552$ indivíduos) em todas as ETEs (com exceção da ETE DAIA), indicando que após o despejo das ETEs ocorreu mudança na estrutura da entomofauna aquática. Na ETE DAIA, a abundância à jusante foi de 12% daquela registrada à montante ($N_{Mont} = 243$; $N_{Jus} = 28$).

A média de abundância registrada à jusante dos efluentes ($N_{Total Jus} = 863,40$) foi maior que a média de abundância do total observado nos trechos à montante ($N_{Total Mont} = 4.523,80$; $Z = 2,611$; $g.l. = 8$; $p = 0,009$; Figura 1B) quando se exclui a ETE DAIA. Esta diferença não foi observada ($Z = 1,921$; $g.l. = 10$; $p = 0,054$) quando a ETE DAIA foi mantida na análise (Figura 1A).

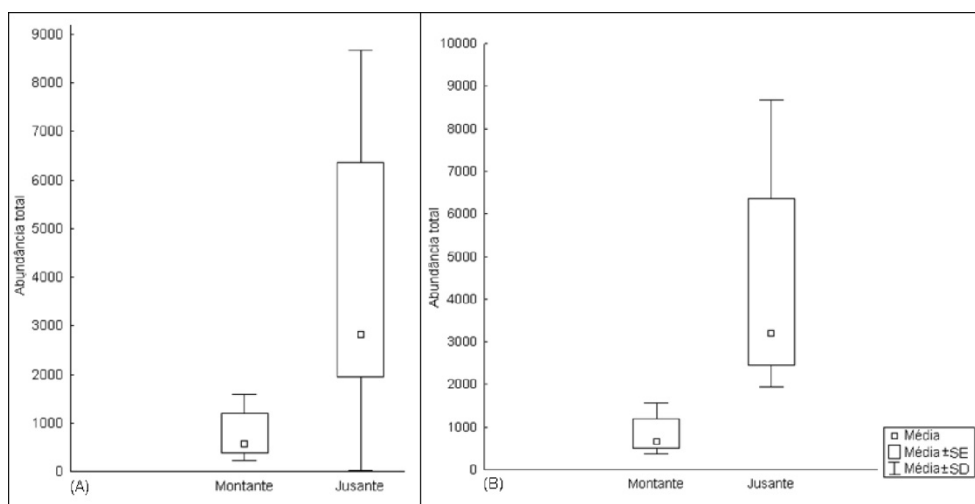


Figura 1: Comparação entre abundância de insetos aquáticos à montante e à jusante do despejo das ETEs utilizando os dados de abundância da ETE DAIA [(A); Teste U: $Z = 1,921$; $g.l. = 10$; $p = 0,054$] e excluindo os dados de abundância da ETE DAIA [(B): Teste U: $Z = 2,611$; $g.l. = 8$; $p = 0,009$].

AVALIAÇÃO DA ABUNDÂNCIA POR TÁXON À MONTANTE E À JUSANTE DAS ETEs

Nos trechos à montante do despejo das ETEs, a ordem Diptera foi mais abundante ($N = 2.929$; 64,4%) e superior à proporção das três ordens de organismos sensíveis à poluição orgânica (EPT – Ephemeroptera, Trichoptera e Plecoptera; 21,2%). À jusante, a proporção de Diptera (92%) foi ainda maior que de organismos das ordens EPT (4,6%).

Houve alta correlação entre famílias de Diptera mais abundantes à montante e à jusante (r de Spearman = 0,85). De fato, a maior parte dos dípteros identificados à montante pertencia à família Chironomidae ($N = 2.021$; 68,9%) com ocorrência das subfamílias Chironominae, Orthocladiinae e Tanypodinae. A ocorrência da família Chironomidae e subfamílias citadas acima foi ainda maior à jusante (98,7%).

A correlação entre abundância à montante e à jusante dos gêneros de Chironomidae presentes na amostra foi baixa (r de Spearman = 0,44) devido à mudança na dominância dos grupos. À montante os gêneros de maior abundância foram *Caladomyia* sp ($N = 617$; 71,9%; subfamília Chironominae, tribo Tanytarsini); *Cricotopus* (sp1 e sp2; $N = 285$; 40,2%; subfamília Orthocladiinae) e *Polypedilum* (*Tripodura*) ($N = 177$; 50,1%, subfamília Chironominae, tribo Chironomini). À jusante, os gêneros mais abundantes eram ainda mais resistentes á distúrbios e foram *Chironomus* sp ($N = 9.668$; 46,65%; Chironomini; Chironominae), *Cricotopus* (sp1 e sp2; $N = 5.492$; 26,50%; subfamília Orthocladiinae) e *Polypedilum* (*Polypedilum*) sp ($N = 1.837$; 8,86%; Chironomini; Chironominae).

Houve alta correlação entre famílias de EPT registradas à montante e à jusante (r de Spearman= 0,8) indicando a manutenção da dominância das mesmas famílias desta ordem nos dois trechos analisados nos seis ambientes. Embora Ephemeroptera tenha tido a segunda maior abundância à montante e à jusante ($FO_{Mont}= 13,7\%$; $FO_{Jus}= 3,5\%$), a correlação entre abundância de famílias e gêneros registrados nos dois trechos (r de Spearman= 0,5) indicou que a dominância dos grupos mudou após o despejo, e alguns grupos abundantes à montante tiveram abundância reduzida à jusante favorecendo o aumento da presença de taxões que foram menos abundantes antes do despejo das ETEs.

A correlação entre abundância dos gêneros de Ephemeroptera presentes à montante e à jusante (r de Spearman= 0,56) indicou que embora tenha sido registrada a presença dos mesmos gêneros nos dois trechos, os valores de abundância foram diferentes, modificando o ranking (ou classificação) dos grupos quanto à abundância na amostra.

COMPARAÇÃO ENTRE RIQUEZA DE INSETOS AQUÁTICOS ANTES E DEPOIS DAS ETEs

A riqueza de gêneros à montante de todas as ETEs ($S_{Mont}= 57$ taxões) não foi estatisticamente diferente (Teste U: $Z= 0,720$; g.l.= 10; $p= 0,471$; Figura 2A) da riqueza registrada à jusante ($S_{Jus}= 53$ taxões). Não houve diferença significativa (Teste U: $Z= 1,040$; g.l.= 10; $p= 0,297$) entre o número de famílias à montante ($S_{Mont}= 27$) e à jusante ($S_{Jus}= 26$; Figura 2B). Estes resultados se mantêm com a retirada dos dados da ETE DAIA para riqueza de gêneros (Teste U: $Z= 0,208$; g.l.= 8; $p= 0,834$; Figura 3A) e famílias (Teste U: $Z= 0,464$; g.l.= 8; $p= 0,46$; Figura 3B).

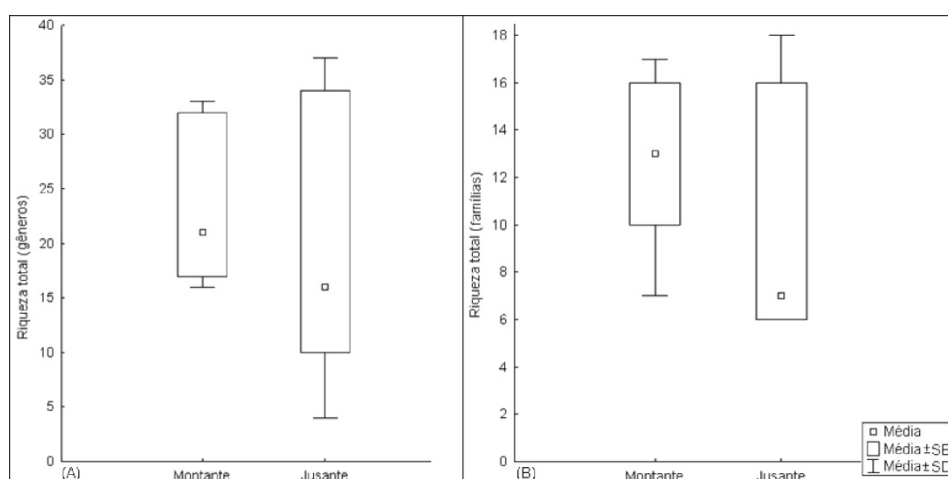


Figura 2: Comparação entre riqueza de gêneros (Figura 2A; Teste U: $Z= 0,720$; g.l.= 10; $p= 0,471$) e famílias (Figura 2B; Teste U: $Z= 1,040$; g.l.= 10; $p= 0,297$) de insetos aquáticos registrados à montante e à jusante das seis Estações de Tratamento de Esgoto.

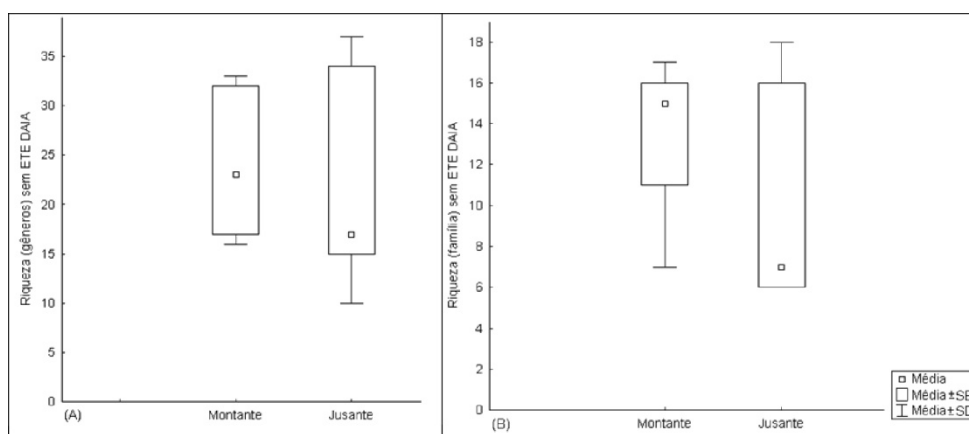


Figura 3: Comparação entre riqueza de gênero (Teste U: $Z= 0,208$; g.l.= 8; $p= 0,834$; Figura 3A) e de famílias (Teste U: $Z= 0,464$; g.l.= 8; $p= 0,46$; Figura 3B) de insetos aquáticos registrados à montante e à jusante das Estações de Tratamento de Esgoto excluindo a ETE DAIA.

DISTRIBUIÇÃO DOS TÁXONS EM RELAÇÃO ÀS VARIÁVEIS AMBIENTAIS

A Análise de Correspondência Canônica (CCA) entre Chironomidae e variáveis ambientais (Figura 4) explicou 55,4% de toda a variação dos dados e o primeiro eixo do diagrama (que resumiu 38,4% da variação resultante; Figura 4) se correlacionou positivamente com vazão, velocidade da água, oxigênio dissolvido e profundidade (Tabela 1), que são maiores nos trechos coletados à montante das ETEs Trindade, Guapó, Lages e Campos Dourados e à jusante das ETEs Guapó e Lajes.

Tabela 1: Correlação entre as variáveis físico-químicas e os dois eixos de ordenação da CCA feita com Chironomidae (TDS - Sólidos totais dissolvidos; negrito - maiores valores).

Variáveis ambientais	Eixo 1	Eixo 2
Condutividade	-0,853	-0,255
Turbidez	-0,294	0,224
Oxigênio dissolvido	0,681	0,354
Temperatura	-0,308	0,330
TDS	-0,802	-0,375
Profundidade	0,667	-0,346
Velocidade	0,711	0,133
Vazão	0,787	-0,300

Oxigênio dissolvido, velocidade da água, vazão e profundidade contribuíram para a presença de táxons tolerantes à poluição orgânica como *Chironomus* sp e *Cricotopus* sp1 e *Cricotopus* sp2 (Figura 4) encontrados em abundância principalmente à jusante das ETES Campos Dourados e Cruzeiro do Sul, respectivamente. A correlação entre distribuição dos táxons de Chironomidae e as variáveis ambientais foi significativa ($p=0,002$) e positiva (Tabela 2).

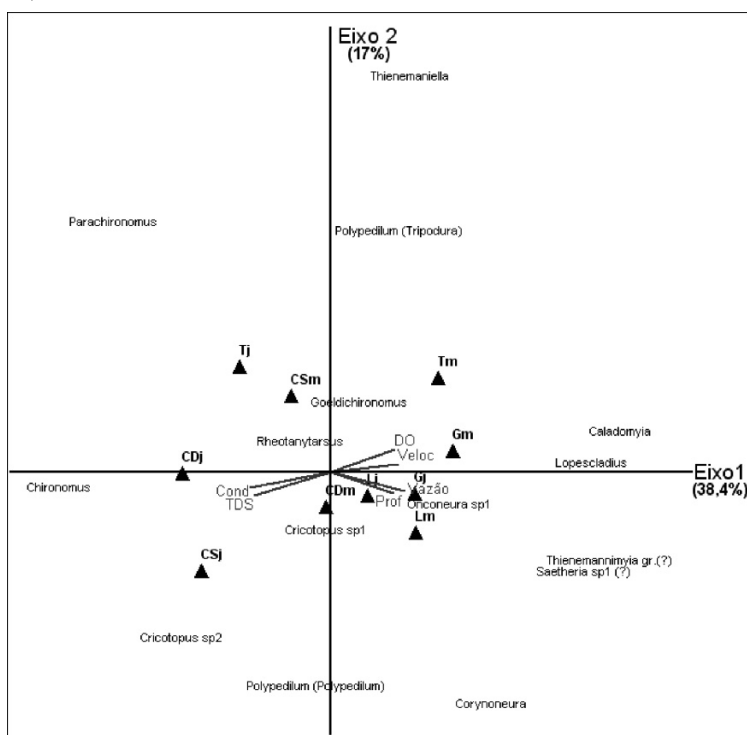


Figura 4: Diagrama de ordenação produzido pela análise de correspondência canônica (CCA) de 15 gêneros de Chironomidae com abundância maior que 100 indivíduos coletados em seis Estações de Tratamento de Esgoto e oito variáveis ambientais (setas) em seis montantes e seis jusantes (triângulos). A ETE DAIA foi retirada porque não apresentou gêneros com mais de 100 indivíduos. (m: montante e j: jusante; T: ETE Trindade; CD: ETE Campos Dourados; CS: ETE Cruzeiro do Sul; G: ETE Guapó; L: ETE Lages; Cond: condutividade; TDS: sólidos totais dissolvidos; DO: oxigênio dissolvido; Veloc: velocidade da água; Prof: profundidade. Temperatura e Turbidez não foram explicativas e não aparecem na Figura).

Tabela 2: Correlação entre os táxons de Chironomidae e as variáveis ambientais
(Teste de Monte Carlo: $p = 0,002$; 999 permutações)

Eixos	Correlação táxons/variáveis	Média	Mínimo	Máximo
1	1.000	0,971	0,853	1.000
2	1.000	0,983	0,862	1.000
3	0.818	0,920	0,668	1.000

GÊNEROS DE EPT

A Análise de Correspondência Canônica (CCA) realizada com gêneros de EPT explicou nos dois eixos 74,7% de toda a variação encontrada. Apenas o eixo 1 foi responsável por 47,4% da variação resultante (Figura 5). O teste de significância de Monte Carlo ($p = 0,001$) também indicou correlação positiva entre a distribuição dos táxons de EPT e as variáveis ambientais (Tabela 3).

Tabela 3: Correlação entre os táxons de EPT e as variáveis ambientais
(Teste de Monte Carlo: $p=0.001$; 999 permutações)

Eixos	Correlação táxons/variáveis	Média	Mínimo	Máximo
1	1.000	0,973	0,870	1.000
2	1.000	0,969	0,832	1.000
3	1.000	0,986	0,845	1.000

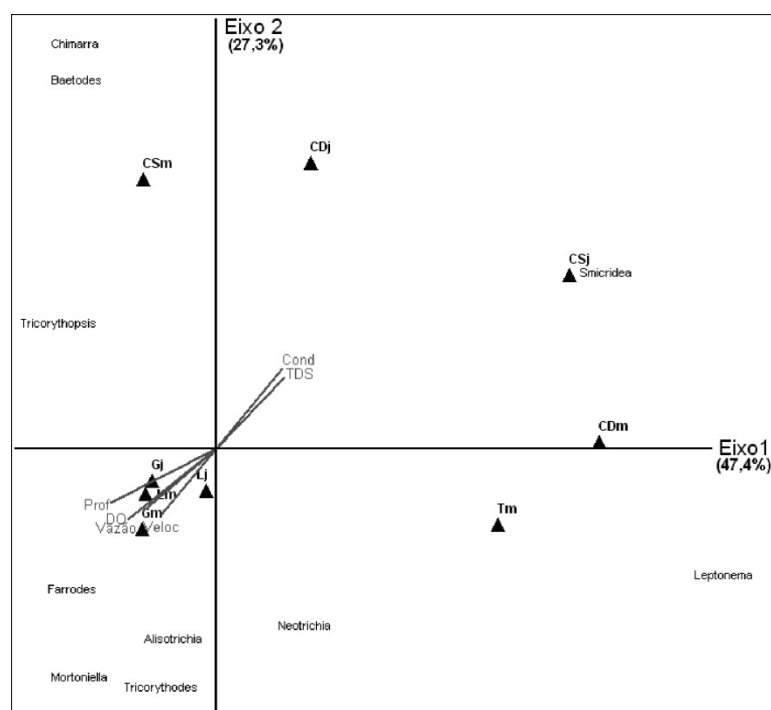


Figura 5: Diagrama de ordenação produzido pela análise de correspondência canônica entre 10 gêneros de EPT (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) com mais de 25 indivíduos e as oito variáveis ambientais (setas) nos seis trechos às montantes e às jusantes (triângulos). Temperatura e Turbidez não foram explicativas e não aparecem na Figura. A ETE DAIA e o trecho à jusante da ETE Trindade não apresentaram gêneros de EPT com mais de 25 indivíduos. (m: montante e j: jusante; T: ETE Trindade; CD: ETE Campos Dourados; CS: ETE Cruzeiro do Sul; G: ETE Guapó; L: ETE Lages; Cond: condutividade; TDS: sólidos totais dissolvidos; DO: oxigênio dissolvido; Veloc: velocidade da água; Prof: profundidade).

Na CCA com EPT, as variáveis profundidade, vazão e oxigênio dissolvido se correlacionaram negativamente ao primeiro eixo, principalmente para as ETEs Guapó e Lages (tanto à montante quanto jusante) e se associaram à presença e maior abundância de gêneros de *Farrodes* sp, *Tricorythodes* sp, *Alisotrichia* sp e *Mortoniella* sp, taxões encontrados em águas correntes e principalmente, em substratos pedregosos. As variáveis condutividade elétrica e sólidos totais dissolvidos estiveram positivamente relacionados ao segundo eixo, com o predomínio principalmente do gênero *Smicridea* sp, abundante à montante da ETE Campos Dourados (Tabela 4). Novamente, oxigênio dissolvido, velocidade da água, vazão e profundidade aumentaram em direção oposta às variáveis condutividade e sólidos totais dissolvidos (Figura 4).

Tabela 4: Correlação entre as variáveis físico-químicas e os dois eixos de ordenação da CCA feita com gêneros de EPT (TDS - Sólidos totais dissolvidos; negrito - maiores valores)

Variáveis ambientais	Eixo 1	Eixo 2
Condutividade	0,451	0,716
Turbidez	-0,121	-0,040
Oxigênio dissolvido	-0,503	-0,566
Temperatura	0,014	0,491
TDS	0,460	0,642
Profundidade	-0,715	-0,485
Velocidade	-0,371	-0,589
Vazão	-0,598	-0,634

Similaridade taxonômica

A ordenação feita pela NMDS indicou associação no padrão de estrutura das comunidades nos trechos de córregos amostrados (à montante e à jusante do despejo das ETEs) apenas quando se exclui a ETE DAIA (Figura 8A) que apresenta uma estrutura de comunidade muito particular devido à baixa abundância de poucos grupos (N= 28 indivíduos). Sem a ETE DAIA foi possível evidenciar maior similaridade entre os trechos de montante e o ponto à jusante da ETE Guapó (Figura 8B).

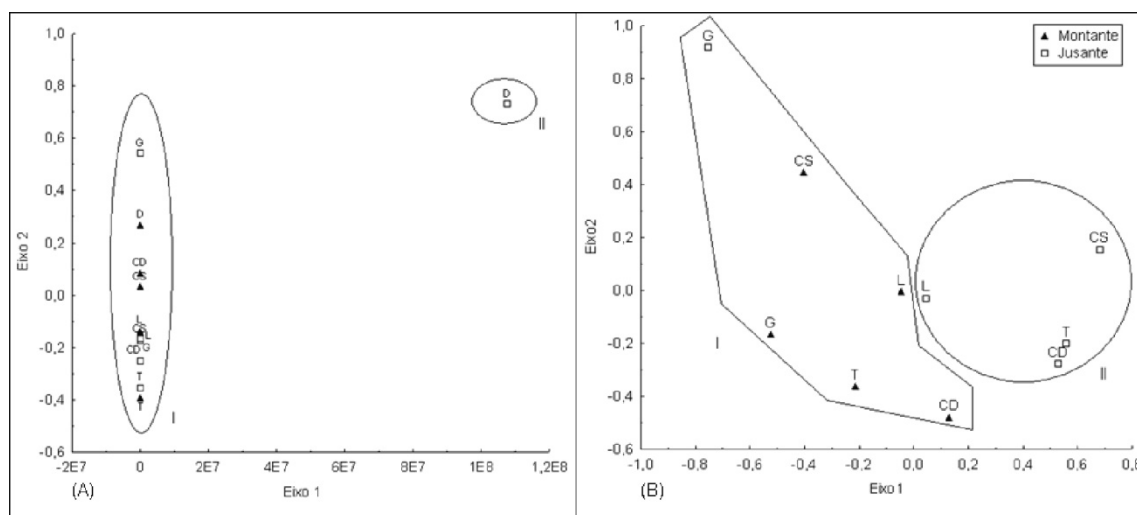


Figura 8: Ordenação dos táxons de insetos aquáticos originado pelo escalonamento multidimensional não-métrico (NMDS) para as seis Estações de Tratamento de Esgoto, com (A) e sem a ETE DAIA (B) [quadrados: jusante e triângulos: montante; T: ETE Trindade; CD: ETE Campos Dourados; CS: ETE Cruzeiro do Sul; G: ETE Guapó; L: ETE Lages]

Houve baixa similaridade entre a composição de espécies registrada à montante e aquela registrada à jusante ($0,02 < \text{índice de similaridade Sorensen} < 0,1$). O agrupamento dos índices de similaridade gerados originou três grupos formados por uma combinação de trechos de montante/jusante e indicou que apenas as ETEs Guapó ($S_s=0,5$) e Lajes ($S_s=0,3$) têm seus trechos de montante e jusante agrupados. O trecho à jusante da ETE DAIA, contudo, formou um grupo distinto (Figura 9).

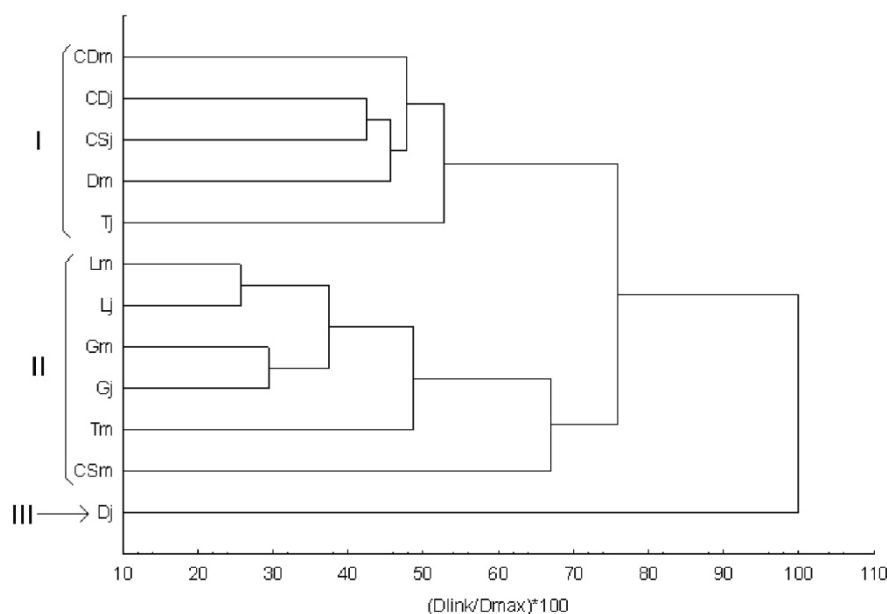


Figura 9: Agrupamento entre os trechos amostrados à montante e à jusante das ETEs usando a composição de espécies segundo o índice de similaridade de Bray-Curtis (m: montante e j: jusante; CD: ETE Campos Dourados; L: ETE Lages; CS: ETE Cruzeiro do Sul; D: ETE DAIA; T: ETE Trindade; G: ETE Guapó)

CONCLUSÃO

O lançamento de resíduos orgânicos pelas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) modificou a estrutura da comunidade de insetos aquáticos presentes nos córregos receptores à montante das ETEs aumentando a abundância, alterando dominância e causando substituição de táxons. Foi registrada diminuição de táxons sensíveis (organismos das ordens Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) e o Estabelecimento de táxons resistentes (espécimes da família Chironomidae).

O lançamento do efluente das ETEs causou a alteração da qualidade química da água e homogeneização ambiental, desencadeando uma substituição da comunidade com modificações na composição e dominância de espécies até mesmo para grupos resistentes a distúrbios, como os representantes da família Chironomidae.

A ausência de organismos das ordens EPT sensíveis à montante das ETEs, juntamente com a frequência e a intensidade destes distúrbios em áreas de montante reduzem a disponibilidade de se encontrar locais de referência (controle – ambientes sem degradação) em que seja possível à realização de comparações da fauna com ambientes degradados, para desenvolvimento de trabalhos como este em questão, porque o aumento da variação de habitats em ambientes mais heterogêneos potencializa uma maior diversidade de nichos ocupados por táxons distintos, elevando o número destes na comunidade.

Contudo, mudança de riqueza de espécies não é um bom indicador de distúrbio, visto que ocorre substituição de táxons sob condições de *stress* ambiental. Os melhores preditores de alteração nesta biota parecem ser abundância, dominância e composição.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AZRINA, M.Z., YAP, C.K., ISMAIL, A.R., ISMAIL, A. & TAN, S.G. Anthropogenic impacts on the distribution and biodiversity of benthic macroinvertebrates and water quality of the Langat River, Peninsular Malaysia. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 64, p. 337-347, 2006.
2. BAPTISTA, D.F., BUSS, D.F., EGLER, M., GIOVANELLI, A. & SILVEIRA, M.P., NESSIMIAN, J.L. A multimetric index based on benthic macroinvertebrates for evaluation of Atlantic Forests streams at Rio de Janeiro, Brazil. *Hydrobiologia*, v. 575, p. 83-94, 2007.

3. BISPO, P.C. & OLIVEIRA, L.G. Diversity and structure of Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera (Insecta) assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 24, n. 2, p. 283-293, 2007.
4. BISPO, P.C., OLIVEIRA, L.G., BINI, L.M. & SOUZA, K.G. Ephemeroptera, Plecoptera and Trichoptera assemblages from riffles in mountain streams of Central Brazil: environmental factors influencing the distribution and abundance of immatures. *Braz. J. Biol.*, v. 66, n. 2B, p. 611-622, 2006.
5. BISPO, P.C., OLIVEIRA, L.G., CRESCI, V.L. & SILVA, M.M. A pluviosidade como fator de alteração da entomofauna bentônica em córregos do Planalto Central do Brasil. *Acta Limnológica Brasiliensis*, v. 13, n. 2, p. 01-09, 2001.
6. BONADA, N., PRAT, N., RESH, V.H. & STATZNER, B. Developments in Aquatic Insect Biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu. Rev. Entomol.*, v. 51, p. 495-523, 2006.
7. COMPIN, A. & CÉRÉGHINO, R. Sensitivity of aquatic insect species richness to disturbance in the Adour-Garonne stream system (France). *Ecological Indicator*, v. 3, p. 135- 142, 2003.
8. CORTEZZI, S.S., BISPO, P.C., PACIENCIA, G.P. & LEITE, R. C. Influência da ação antrópica sobre a fauna de macroinvertebrados aquáticos em riachos de uma região de cerrado do sudoeste do Estado de São Paulo. *Iheringia, Ser. Zool.*, v. 99, n. 1, p. 36-43, 2009.
9. DINIZ-FILHO, J.A.F., OLIVEIRA, L.G. & SILVA, M.M. Explaining the beta diversity of aquatic insects in Cerrado streams from central Brazil using multiple Mantel Test. *Rev. Bras. Biol.*, v. 58, p. 223-231, 1998.
10. GASITH, A. & RESH, V.H. Streams in Mediterranean climate regions: abiotic influences and biotic responses to predictable seasonal events. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, v. 30, p. 51-81, 1999.
11. HUSTON, M.A. *Biological Diversity: the coexistence of species on changing landscapes*. United Kingdom: Cambridge University Press, 1994.
12. KOETSIER, P. Short term benthic colonization dynamics in an agricultural stream recovering from slaughterhouse effluents. *Journal of the American Water Resources Association*, v. 38, n. 5, p. 1409-1422, 2002.
13. LANGFORD, T.E.L., SHAW, P.J., FERGUSON, A.J.D. & HOWARD, S.R. Long-term recovery of macroinvertebrate biota in grossly polluted streams: re-colonization as a constraint to ecological quality. *Ecological Indicators*, v. 9, p. 1064-1077, 2009.
14. LEGENDRE, P. & LEGENDRE, L. *Numerical Ecology*. 2nd English edn. Amsterdam: Elsevier, 1998.
15. MAGURRAN, A.E. *Measuring biological diversity*. Blackwell Publishing, 2003.
16. MERRITT, R.W. & CUMMINS, K.W. *An introduction to the aquatic insects of North America*. 3 ed. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1996.
17. OLIFIERS, M.H., DORVILLÉ, L.F.M., NESSIMIAN, J.L. & HAMADA, N. A key to Brazilian genera of Plecoptera (Insecta) based on nymphs. *Zootaxa*, v. 650, p. 1-15, 2004.
18. ORTIZ, J.D., MARTÍ, E. & PUIG, M.A. Recovery of the macroinvertebrates community below a wastewater treatment plant input in a Mediterranean stream. *Hydrobiologia*, v. 545, p. 289-302, 2005.
19. PAUL, M.J. & MEYER, J.L. *Streams in the urban landscape*. *Annu. Rev. Ecol. Syst.*, v. 32, p. 333-65, 2001.
20. PES, A.M.O., HAMADA, N. & NESSIMIAN, J.L. Chaves de identificação de larvas para família e gêneros de Trichoptera (Insecta) da Amazônia Central, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, v. 49, n. 2, p. 181-204, 2005.
21. PICKETT, S.T.A., KOLASA, J., ARMESTO, J.J. & COLLINS, S.L. The ecological concept of disturbance and its expression at various hierarchical levels. *Oikos*, v. 54, p. 129-136, 1989.
22. R Development Core Team (2011) *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em: 03 de jan. 2011.
23. ROSENBERG, D.M. & RESH, V.H. *Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates*. New York: Chapman & Hall, 1993.
24. SALLES, F.F. *A ordem Ephemeroptera no Brasil (Insecta): Taxonomia e Diversidade*. 300 f. Tese (Doutorado em Entomologia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.
25. SANEAMENTO BÁSICO S/A. Página institucional da SANEAGO. Goiânia: SANEAGO, 2010. Disponível em: <<http://www.saneago.com.br>>. Acesso em: 05 de jun. 2010.
26. SASAKI, T., OKUBO, S., OKAYASU, T., JAMSRAN, U., OHKURO, T. & TAKEUCHI, K. Management applicability of the intermediate disturbance hypothesis across Mongolian rangeland ecosystem. *Ecological Applications*, v. 19, n. 2, p. 423-432, 2009.

27. SOUSA, W.P. 1979a. Experimental investigations of disturbance and ecological succession in a rocky intertidal algal community. *Ecological Monographs*, v. 49, n. 3, p. 227-254.
28. SOUSA, W.P. 1979b. Disturbance in marine intertidal boulder fields: the nonequilibrium maintenance of species diversity. *Ecology*, v. 60, n. 6, p. 1225-1239.
29. SOUZA, W.P. 1984. The role of disturbance in natural communities. *Annual Reviews of Ecology and Systematics*, v. 15, p. 353-391.
30. TER BRAAK, C.J.F. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, v. 67, n. 5, p. 1167-1179, 1986.
31. TOWNSEND, C.R., SCARSBROOK, M.R. & DOLEDEC, S. The intermediate disturbance hypothesis, refugia, and biodiversity in streams. *Limnol. Oceanogr.*, v. 42, p. 938-949, 1997.
32. TRIVINHO-STRIXINO, S. & STRIXINO, G. Larvas de Chironomidae (Diptera) do Estado de São Paulo: guia de identificação de diagnoses dos gêneros. São Paulo: PPG-ERN/UFSCar, 1995.
33. WHITE, P.S. & JENTSCH, A. Disturbance, sucession, and community assembly in terrestrial plant communities. In: TEMPERTON, V.M., HOBBS, R.J., NUTTLE, T., HALLE, S. (Org.) *Assembly Rules and Restoration Ecology: bridging the gap between theory and practice*. Washington: Island Press, 2004, cap. 17, p. 342-366.
34. WIEDERHOLM, T. Chironomidae of the Holarctic region. Keys and diagnoses: part 1. *Entomol. Scand. Suppl.*, v. 19, n.1, p. 1-457, 1983.
35. WIGGINS, G.B. Larvae of the North American caddisfly genera (Trichoptera). Toronto: University of Toronto Press, 1977.