



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E
CONSERVAÇÃO DA NATUREZA**

Suênia Cristine Campos

**A INFLUÊNCIA DO AMBIENTE E DO ESPAÇO NA COMPOSIÇÃO DE
MICROORGANISMOS AQUÁTICOS PRESENTES EM BROMÉLIAS-TANQUE
(*Portea petropolitana*).**

Juiz de fora

2020

Suênia Cristine Campos

**A INFLUÊNCIA DO AMBIENTE E DO ESPAÇO NA COMPOSIÇÃO DE
MICROORGANISMOS AQUÁTICOS PRESENTES EM BROMÉLIAS-TANQUE
(*Portea petropolitana*).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Biodiversidade e Conservação da Natureza.

Orientador: André Megali Amado

Coorientador: Bruno Mattos Silva Wanderley

Juiz de Fora

2020

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Campos, Suênia Cristine.

A Influência do ambiente e do espaço na composição de microrganismos aquáticos presentes em bromélias-tanque (Portea petropolitana). / Suênia Cristine Campos. -- 2020.
53 p.

Orientador: André Megali Amado

Coorientador: Bruno Mattos Silva Wanderley

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação da Natureza, 2020.

1. Bromélias-tanque. 2. Filtro ambiental. 3. Diversidade citométrica. 4. Estrutura de comunidades. 5. Diversidade microbiana. I. Amado, André Megali, orient. II. Wanderley, Bruno Mattos Silva, coorient. III. Título.

**"A INFLUÊNCIA DO AMBIENTE E DO ESPAÇO NA COMPOSIÇÃO
DE MICRORGANISMOS AQUÁTICOS PRESENTES EM
BROMÉLIAS-TANQUE (PORTEA PETROPOLITANA)"**

Suênia Cristine Campos

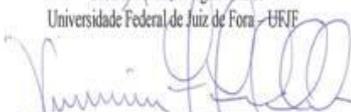
Orientador: Prof. Dr. André Megali Amado

Dissertação apresentada ao
Instituto de Ciências Biológicas,
da Universidade Federal de Juiz
de Fora, como parte dos
requisitos para obtenção do Título
de mestre em Ecologia Aplicada
ao Manejo e Conservação de
Recursos Naturais.

Aprovado em 27 de fevereiro de 2020.



Prof. Dr. André Megali Amado
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF



Prof. Dr. Vinicius Fortes Parjalla
Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ



Prof. Dr. Roberto Júnio Pedrosa Dias
Universidade Federal de Juiz de Fora – UFJF

AGRADECIMENTOS

Esse estudo é dedicado a minha mãe Rosângela Maria Severiano Campos e a minha tia Maria de Lourdes Severiano, que não puderam participar dessa vitória em vida, porém foram minhas maiores incentivadoras nessa jornada científica.

Agradeço a Deus que me sustentou em todos os momentos.

Agradeço imensamente ao meu pai Carlos Alberto Campos e a minha filha de quatro patas Nicolle, por tanto amor e tanta força dedicados.

Ao meu orientador Prof. Dr. André Megali Amado por acreditar em mim desde o início, na maioria das vezes mais do que eu. Obrigada por tanto aprendizado, obrigada pela confiança depositada e pelos conselhos que levarei por toda a minha vida.

Ao meu grande amigo Gladson, que foi fundamental ao longo do meu mestrado, serei eternamente grata pela parceria e amizade.

Ao Dr. Bruno Wanderley, Prof. Dr. Roberto Junio, Dra. Simone Cardoso e ao amigo Vitor Halfeld por toda colaboração ao longo do mestrado.

A minha família, agradeço pela paciência, por compreender nossas necessidades e ausências. Em especial agradeço ao meu primo William Souza e minha madrinha Ângela Severiano que foram meu maior suporte em Juiz de fora.

À Monique Bernardes e Renata Lucas, pela admirável paciência e por todos os momentos em família. Obrigada por serem os melhores presentes que eu poderia ganhar.

À minhas amigas Lígia Araújo e Sheila Peixoto, por tanto companheirismo em absolutamente todos os momentos. Minha gratidão ultrapassa todos os limites da amizade neste momento.

À Layla Mayer e Annelise Varella por me receberem tão bem na Universidade e por terem me dado tanto suporte. Obrigada por tudo.

A tantos amigos maravilhosos que fizeram tudo isso ser possível, em especial Ícaro, Thaís Lopes, Nath, Lucas, Kássia, Bárbara, Wes e Wesley.

Por fim, agradeço ao PGECOL e a todos do Laboratório de Ecologia Aquática que me fizeram crescer 20 anos em dois. Obrigada pela oportunidade.

“Não importa quantos cisnes brancos você veja ao longo da vida;
isso nunca lhe dará certeza de que cisnes negros não existem.”

- Karl Popper.

RESUMO

Bromélias-tanque são modelos de microcosmos aquáticos que além de fornecerem abrigo, água e nutrientes para fauna, são considerados *hotspots* da biodiversidade. A ampla variação da diversidade biológica entre os tanques de bromélias e o entorno, destaca a importância desse ecossistema na manutenção da biodiversidade em diferentes escalas. Para entender os processos que regulam a estrutura das comunidades aquáticas em bromélias-tanque, foram realizados dois estudos. O primeiro objetivando avaliar a influência das variáveis ambientais e das estações seca e chuvosa na estrutura e composição da comunidade de bactérias heterotróficas, de ciliados e macroinvertebrados de tanques de bromélias do Jardim botânico da UFJF, MG, Brasil. Foram coletadas amostras de água e microrganismos de 12 bromélias da espécie *Portea petropolitana* localizadas no Jardim Botânico (JB) da UFJF, em dois períodos (março e julho de 2019). No campo foram mensurados altura da bromélia, abertura do dossel acima da planta, a temperatura na água dos tanques, coloração, volume e diâmetro do copo central, e a concentração de carbono, nitrogênio e fósforo dissolvidos. No segundo estudo foi avaliada a influência do espaço na distribuição das espécies de microrganismos nos tanques das bromélias. Para isso, além das variáveis ambientais e das comunidades aquáticas de vinte bromélias-tanque, foram obtidos os valores da distância de cada bromélia até o lago do JB (potencial fonte dispersora de organismos). A comunidade bacteriana foi investigada pela abordagem da diversidade citométrica. Os ciliados e macroinvertebrados foram identificados e quantificados ao nível de família. Para analisar a influência dos processos determinísticos e estocásticos na distribuição dos organismos, foram utilizados índices de diversidade alfa (Shannon) e beta (Whittaker e Bray Curtis), nas Análises de Regressão Linear Simples, Teste t de Student, e Análise de covariância (ANCOVA). No segundo estudo, para cada comunidade, foi utilizada uma análise de regressão linear múltipla e seleção dos modelos mais parcimoniosos pelo Critério de Informação de Akaike (AIC). As análises foram realizadas no software GraphPad Prism 8.2.1, PAST 326 e R 3.6.0.

Foram encontradas associações dos macroinvertebrados com o volume de água dos tanques e o carbono orgânico dissolvido enquanto os ciliados foram regulados pelo nitrogênio dissolvido. As estações seca e chuvosa não afetaram diretamente as comunidades de ciliados e invertebrados, apenas a comunidade bacteriana, ao mesmo tempo que modificou a estrutura da matéria orgânica que regula as comunidades, indicando que funcionou como filtro para os macro e microrganismos. Já a distribuição dos grupos de bactérias foi pouco explicada por fatores ambientais sugerindo o predomínio dos processos estocásticos na estruturação desse grupo. Concluimos que a força dos eventos aleatórios e determinísticos nas comunidades biológicas depende da plasticidade dos organismos em função dos períodos de seca e chuva.

Palavras-chave: Bromélias-tanque. Filtro ambiental. Estrutura de comunidades. Diversidade citométrica. Diversidade microbiana.

ABSTRACT

Tank bromeliads are models of aquatic microcosms that, in addition to providing shelter, water and nutrients for the fauna, are considered critical points of biodiversity. The wide variation in biological diversity between bromeliad tanks and the surrounding area highlights the importance of this ecosystem in maintaining biodiversity at different scales. To understand the processes that regulate the structure of aquatic communities in tank bromeliads, two studies were carried out. The first aimed to evaluate the influence of environmental variables and dry and rainy seasons on the structure and composition of the community of heterotrophic bacteria, ciliate and macroinvertebrates of tank bromeliads from the UFJF Botanical Garden, MG, Brazil. Samples of water and microorganisms were collected from 12 bromeliads of the species *Portea petropolitana* located in the Botanical Garden (JB) of UFJF in two periods (March and July 2019). In the field, the height of bromeliad, canopy opening above the plant, temperature in the water of the tanks, color, volume and diameter of the central cup, and the concentration of dissolved carbon, nitrogen and phosphorus were measured. In the second study, the influence of space on the distribution of species of microorganisms in the tanks of bromeliads was evaluated. For this, in addition to the environmental variables and the aquatic communities of twenty tank bromeliads, the values of the distance of each bromeliad to the JB lake (potential source of dispersing organisms) were obtained. Bacterial community was investigated by the cytometric diversity approach. Ciliates and macroinvertebrates were identified and quantified at the family level. To analyze the influence of deterministic and stochastic processes on the distribution of organisms, alpha (Shannon) and beta (Whittaker and Bray Curtis) indices were used, in the Simple Linear Regression Analysis, Student's t Test, and Analysis of covariance (ANCOVA). In the second study, for each community, a multiple linear regression analysis and selection of the most parsimonious models were used by the Akaike Information Criterion (AIC). The analyzes were performed using the GraphPad Prism 8.2.1, PAST 326 and R 3.6.0 software. Associations of macroinvertebrates with the volume of water in the

tanks and dissolved organic carbon were found while the ciliate were regulated by dissolved nitrogen. The dry and rainy did not directly affect the ciliate and invertebrates communities, only the bacterial community, at the same time that it modified the structure of the organic matter that regulates the communities, indicating that it functioned as a filter for macro and microorganisms. The distribution of groups of bacteria was little explained by environmental factors, suggesting the predominance of stochastic processes in the structuring of this group. We conclude that the strength of random and deterministic events in biological communities depends on the plasticity of organisms as a function of the periods of drought and rain.

Keywords: Tank bromeliads. Environmental filter. Beta diversity. Community structure. Cytometric diversity. Microbial diversity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
2. METODOLOGIA	16
2.1. ÁREA DE ESTUDOS.....	16
2.2. DESENHO AMOSTRAL	18
2.3. COLETA DE AMOSTRAS E VARIÁVEIS ANALISADAS.....	20
2.4. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS.....	21
2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
3. RESULTADOS	24
3.1. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS	24
3.2. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS NAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS	33
4. DISCUSSÃO.....	41
5. CONCLUSÕES.....	45
6. REFERÊNCIAS	47

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização do Jardim Botânico no município de Juiz de fora (MG), adaptado de Fonseca & Carvalho (2012).....	17
Figura 2: Localização dos pontos amostrais ao redor do lago artificial do Jardim botânico de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. Fonte: Google Earth (2017).....	18
Figura 3: Gráfico de pluviosidade mensal acumulada, caracterizando o período chuvoso e o período seco do ano de 2019. Fonte: Adaptado de INMET (2019).....	19
Figura 4: Localização dos pontos coletados no Jardim botânico de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. Fonte: Google Earth (2019).....	20
Figura 5: Estimativa de abertura do dossel. A) Imagem do dossel retirada da superfície do tanque da bromélia nº 07. B) Percentual de abertura do dossel (80,76 %), quantificado no Gap Light Analyzer. C) Imagem do dossel retirada da superfície do tanque da bromélia.....	23
Figura 6: Densidade de Ciliados e Invertebrados de Bromélias-tanque do Jardim Botânico de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil. Período (Março e Junho de 2019).....	30
Figura 7: Diversidade Citométrica de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA= unidade amostral (Bactérias coletadas nas bromélias no mês de Março).....	31
Figura 8: Diversidade Citométrica de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA= unidade amostral (Bactérias coletadas nas bromélias no mês de Junho).....	32
Figura 9: Densidade de Invertebrados entre moitas de bromélias-tanque do Jardim botânico –UFJF no ano de 2019.....	34
Figura 10: Densidade de Ciliados entre moitas de bromélias-tanque do Jardim botânico – UFJF no ano de 2019.....	34
Figura 11: Diversidade Citométrica de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA01= unidade amostral (moita01).....	35
Figura 12: Diversidade Citométrica de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA01= unidade amostral (moita 02).....	36
Figura 13: Diversidade Citométrica de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA01= unidade amostral (moita 03).....	37
Figura 14: Diversidade Citométrica de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA01= unidade amostral (moita 04).....	38
Figura 15: Diversidade Citométrica de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA01= unidade amostral (moita 05).....	39
Figura 16: Diagrama de Venn correspondente à partição de variância do modelo (bactérias)	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Média, mínimo, máximo e valor de p (teste t) dos valores de absorvância (a250, a365 e a430nm), temperatura, altura (m), diâmetro (m), volume de água do tanque (mL), carbono orgânico, fósforo total e nitrogênio dissolvidos (mg/L) e abertura do dossel (%)	25
Tabela 2: Variáveis ambientais amostradas em diferentes bromélias do Jardim botânico da Universidade Federal de Juiz de fora (JB-UFJF).	26
Tabela 3: Riqueza, abundância, equitabilidade, dominância e diversidade beta e diversidade de Shannon-Wiener da fauna de bromélias-tanque do Jardim botânico da UFJF.....	28
Tabela 4: Análise de covariância com os valores de diversidade beta das comunidades de Invertebrados, ciliados e Bactérias e com as variáveis ambientais (absorvância a365nm e a430nm, temperatura e nitrogênio dissolvido), de diferentes bromélias do Jardim botânico.....	29
Tabela 5: Variáveis ambientais de agrupamentos de bromélias-tanque do Jardim botânico de Juiz de fora e medidas de distância até o lago artificial do JB no ano de 2019	33

1. INTRODUÇÃO

A distribuição das espécies no ecossistema é consequência da identidade dos organismos e das características fisiológicas, comportamentais e morfológicas, que lhe permitem resistir às limitações impostas pelo meio. Dessa forma, pode-se verificar a resposta das comunidades biológicas ao longo da paisagem a partir da capacidade adaptativa e dos níveis de tolerância das espécies, assim como, classificá-las através da dominância de alguns grupos e das variáveis que regulam sua distribuição (BARBOSA et al., 2009; RICKLEFS & RELYEA, 2016).

Entre os mecanismos responsáveis pela determinação e manutenção da diversidade de espécies ao longo de um gradiente ambiental estão os processos determinísticos, os processos estocásticos e a interação entre ambos. Os processos determinísticos estão relacionados aos nichos fundamentais, que a partir da heterogeneidade do habitat, fornecem condições ideais para o estabelecimento de diversas espécies. Já os processos estocásticos incluem a deriva ecológica, a limitação por dispersão e os processos de colonização e extinção das espécies. A associação entre os processos pode conter níveis de variação entre os efeitos estocásticos e determinísticos refletindo na história da colonização das espécies (POLIS, 1999; CONDIT et al., 2002; CHASE, 2003; QIAN et al., 2005; FARJALLA et al., 2012).

A teoria de biogeografia de ilhas criada por Robert Mac Arthur e Edward O. Wilson estabelece que a relação entre os processos estocásticos com a colonização e extinção de espécies é determinada pelo tamanho ou isolamento do habitat (RICKLEFS & RELYEA, 2016). Devido à diferença do tamanho corporal dos organismos e da capacidade de dispersão, as mudanças em escalas espaciais vão alterar de formas distintas as taxas de colonização. Por exemplo, dispersores passivos maiores e de menor capacidade dispersora são regulados em sua maioria pelo padrão espacial em relação aos menores. Por outro lado, a distribuição de dispersores maiores, quando ativos, independe de fatores espaciais, dado a sua autonomia na obtenção de seus habitats fundamentais. (DE BIE et al., 2012). Ainda, a rotatividade das espécies ao longo de gradientes biogeográficos influencia os padrões de diversidade em larga escala e, portanto, tem sido utilizada para avaliar a força dos processos na estruturação das comunidades biológicas (KRAFT et al., 2011; CONDIT et al., 2002; BASELGA et al., 2010).

Legault et al. (2019) utilizaram uma abordagem experimental com microcosmos de protistas e rotíferos (diferentes em termos de aptidão) , para testar o efeito dos eventos

estocásticos na competição por recurso bacteriano, assim como na densidade das populações ao longo do tempo. Descobriram que a incidência dos eventos estocásticos pode alterar a densidade de competidores superiores e inferiores e modificar assim o curso da competição por recursos. Em alguns casos eventos estocásticos são os principais responsáveis pela estruturação das comunidades, visto que a aleatoriedade em excesso pode extinguir populações menores por meio da competição e dificultar a percepção acerca da influência do nicho no estabelecimento das espécies (CHASE et al. 2011; LEGAULT et al. 2019).

De acordo com Kraft et al. (2015), desde a década de 1970, autores se referem as variações do habitat como “filtros” ou “peneiras” de organismos, onde algumas espécies se estabelecem em detrimento de outras de acordo com seus traços ou fenótipos fundamentais. A teoria do nicho ou filtros de habitat trata-se dos processos pelos quais as espécies não adaptadas são excluídas de determinado habitat, enquanto espécies adaptadas coexistem em nichos fundamentais semelhantes. A partir disso, a competição determina quais serão as associações negativas entre espécies com características semelhantes e quais grupos prevalecerão no habitat adequado (FARJALLA et al., 2012).

Diversos trabalhos têm demonstrado a contribuição significativa dos filtros ambientais para a estruturação das comunidades biológicas no ecossistema (HAUBRICH et al., 2009; KRATINA et al., 2017). Louca et al. (2016) afirmam que a importância dos filtros ambientais para a variação taxonômica microbiana dentro de grupos funcionais excede a importância da estocasticidade. Além disso, demonstra que a composição taxonômica microbiana e funcional difere entre espécies de bromélia. As diferenças encontradas nas comunidades microbianas de bromélias são maiores quando comparadas a comunidades de sedimentos de lagos e solos. Isso destaca a relevância de microecossistemas, assim como as bromélias, na manutenção da diversidade da microfauna (LOUCA et al. 2017).

As bromélias são plantas da família Bromeliaceae, que abrangem um dos grupos neotropicais de maior variabilidade morfológica e fisiológica, e é representada atualmente por mais de 3000 espécies, frequentemente encontradas como epífitas, rupícolas e terrestres nos campos rupestres brasileiros (PEREIRA et al., 2009; SOUZA & LORENZI, 2012; CONCEIÇÃO E PIRANI, 2016; BENZING, 2000; DUARTE et al., 2018). A disposição das folhas das bromélias formam cavidades retentoras de água e matéria orgânica, que são atrativas para diversos organismos como detritívoros, predadores e polinizadores (BENZING, 2000; ROCHA et al., 2000). A água retida nos tanques muitas vezes

representa a única fonte de sobrevivência para alguns organismos que necessitam de abrigo e alimento para completar o seu ciclo de vida ou manter o seu metabolismo (ROCHA et al., 2000). Além de serem consideradas *hotspots* da biodiversidade, por apresentarem tamanhos e condições totalmente variáveis, as bromélias funcionam como uma verdadeira ilha para os microrganismos, sendo utilizadas atualmente como um sistema modelo para estudos de fragmentação de habitats aquáticos e teias alimentares (ROCHA et al., 2000; PETERMANN et al., 2015; BRANDT et al., 2015; GUZMAN et al., 2018).

Estudos sobre a influência do tempo e do espaço em gradientes ambientais de bromélias-tanque demonstraram que o volume de água contido no tanque de cada bromélia limita a presença de alguns predadores (GUZMAN et al., 2018; CARRIAS et al., 2001; DUARTE et al., 2013). Outras pesquisas em escalas temporais identificaram que fatores como a luz, o clima, a localização e a concentração de nutrientes podem ser os principais responsáveis pela distribuição da microbiota, em diferentes espécies de bromélias-tanque (HAUBRICH et al., 2009; POLIS, 1999). Além disso, a água da chuva transporta os compostos húmicos, de folhas da vegetação circundante ou da própria bromélia, para dentro desse microssistema aquático. Assim, eventos de chuva e seca devem afetar diretamente as características ambientais dos tanques de bromélias, conferindo amplas variações ambientais, como nas concentrações de carbono orgânico dissolvido e coloração da água, causando oscilação de nichos e conseqüentemente afetando a composição das comunidades biológicas (AMADO et al., 2007; BISPO & OLIVEIRA, 1998; CHASE, 2010; STROME & MILLER, 1978)

A importância das bromélias no desenvolvimento de cianobactérias, bactérias metanotróficas, bactérias metanogênicas, macroinvertebrados e ciliados tem sido crescentemente evidenciada na literatura (DÉZERARD et al., 2014; BRANDT et al., 2015; RAMOS et al., 2019). Por exemplo, foram encontradas associações de macroinvertebrados com o tamanho do tanque, de diferentes espécies de bromélias (OSPINA-BAUTISTA et al., 2004). Ainda, foi constatado que a ampla variação na composição bacteriana em tanques de bromélia, é devido provavelmente a qualidade de detritos e a disponibilidade de compostos de carbono nesses sistemas (PETERMANN, KRATINA, ET AL., 2015; 2017). Por fim, foram identificadas diversas espécies de protozoários que são endêmicas de tanques de bromélias (BENZING, 1990), que desempenham papéis fundamentais para a cadeia trófica e para a manutenção dos processos ecossistêmicos nesses ambientes (LAESSLE, 1961; SHERR & SHERR, 1988, citado por KRATINA et al., 2017). Sendo assim, a distribuição de diferentes organismos e as diferentes características celulares, tais

como, conteúdo de ácido nucleico, tamanho e morfologia celular, pode representar muitas vezes o nível de estabilidade e funcionamento de ecossistemas aquáticos, inclusive em tanques de bromélias (BOUVIER et al. 2007; PROPS et al. 2016).

De acordo com FARJALLA et al. (2012), de forma genérica, comunidades biológicas de bromélias são reguladas predominantemente a partir da plasticidade dos organismos, sobrepondo a capacidade dispersora na força dos processos e contrapondo estudos anteriores. Sendo assim, processos determinísticos são determinados tanto a partir do tamanho dos organismos quanto da adaptabilidade dos organismos. Nesse sentido organismos menores e possivelmente mais plásticos são predominantemente regulados pelo espaço, enquanto organismos maiores e menos plásticos refletem sobretudo as limitações impostas pelo nicho. Entretanto, dada a ampla variação das condições ambientais em tanques de bromélias, podemos inferir que a força dos processos baseados no nicho e dos processos estocásticos é determinada tanto pelo tamanho dos organismos e a sua plasticidade quanto pelas estações do ano. Compreende-se ainda, que essa relação não deve ser progressiva, e pode a força dos processos variar, inclusive dentro de um mesmo nível trófico. Nesse sentido organismos de tamanhos intermediários, como os ciliados, podem ser regulados tanto pelo ambiente quanto pelo espaço em função da variação do tempo. Dessa forma, nossas hipóteses são (1) As comunidades de macroinvertebrados, ciliados e bactérias são influenciadas por diferentes filtros ambientais nos tanques de bromélias e; (2) a distância da fonte dispersora influencia na distribuição de bactérias e ciliados, mas não são relevantes para comunidades de invertebrados.

Diante da ampla ocorrência de bromélias nos biomas brasileiros e a sua importância na manutenção da biodiversidade, o presente estudo tem como objetivo avaliar a influência das variáveis ambientais e espaciais na estrutura e composição de Invertebrados, ciliados e bactérias, utilizando bromélias-tanque (*Portea petropolitana*) da Mata Atlântica como ecossistemas-modelo.

Objetivos específicos:

- I. Avaliar a influência das variáveis ambientais na estrutura e composição das comunidades de bactérias, ciliados e macroinvertebrados nos tanques de bromélias.
- II. Investigar a influência das estações do ano na composição das comunidades de bactérias, ciliados e macroinvertebrados nos tanques de bromélias.
- III. Avaliar o efeito da distância da fonte dispersora na composição das

comunidades de bactérias, ciliados e macroinvertebrados nos tanques de bromélias.

2. METODOLOGIA

Esse estudo foi realizado no ano de 2019, com comunidades aquáticas de bactérias, ciliados e macroinvertebrados residentes no tanque de bromélias da espécie *Portea petropolitana*, sendo todas localizadas no Jardim Botânico de Juiz de fora. Para atingir os objetivos propostos, foram realizadas duas amostragens, sendo a primeira utilizada para avaliar a influência das variáveis físico-químicas e das estações seca e chuvosa na diversidade das bactérias, ciliados e invertebrados e a segunda parte que visou avaliar o efeito da distância das bromélias para a potencial fonte dispersora de organismos, sobre a estrutura das comunidades aquáticas.

2.1. ÁREA DE ESTUDOS

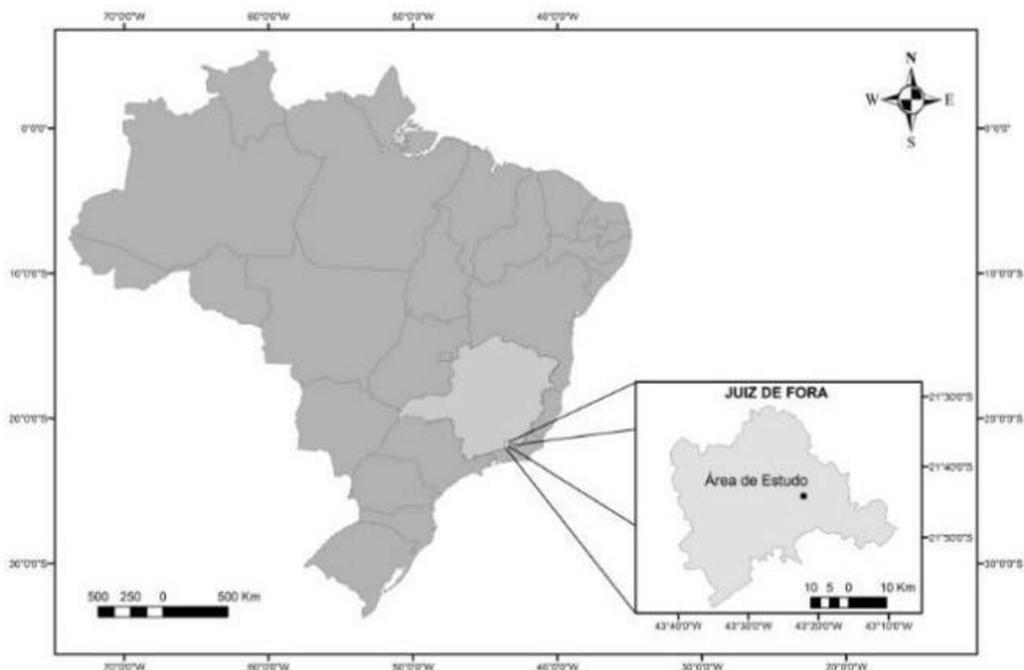
O estudo foi realizado no Jardim Botânico da Universidade Federal de Juiz de Fora (JB-UFJF), situado no município de Juiz de Fora (21°43'55" S; 43°22'16" W), Minas Gerais, Brasil (Figura 1). Juiz de Fora pertence a bacia do Médio Paraíba, que está inserida na bacia do Rio Paraíba do Sul. A região, que possui clima Tropical de Altitude (Cwa), é caracterizada por duas estações bem definidas, sendo elas, chuvosa (outubro a abril), marcada por altas temperaturas e maiores taxas de precipitação, e seca (maio a setembro), com períodos frios e menores taxas de precipitação (CESAMA, 2019). De acordo com os dados da Estação Climatológica Principal da UFJF/ 5° DISME (número 83692), as últimas décadas foram marcadas por um índice anual médio em torno de 1.536 mm de pluviosidade e com os maiores índices mensais no mês de janeiro (c.a. 298 mm).

A área do Jardim Botânico possui domínio florestal Atlântico (80 ha) e pertence a Mata do Krambeck, que é um remanescente florestal de 370 hectares. De acordo com dados do IBGE (2012), a vegetação é classificada como Floresta Estacional Semidecidual Submontana, com fitofisionomia em diferentes estágios sucessionais que abrigam diferentes espécies da região. Apresenta grande variedade de condições ambientais, que compreende, além de diferentes estágios de regeneração natural, áreas dominadas por palmeiras, trechos de floresta preservada e áreas de floresta nativa remanescente (BRITO & CARVALHO, 2014). Embora esse fragmento de mata esteja amplamente inserido dentro

de uma área urbana, o Jardim botânico tem desempenhado uma importante função ecológica na região, visto que se tornou um refúgio para animais silvestres e diferentes espécies de aves que atuam na dispersão de pólen e sementes e recompõem boa parte da cobertura vegetal. Apresenta ampla variabilidade de famílias da Avefauna (Ardeidae, Accipitridae, Falconidae, Rallidae, Cuculidae, Strigidae, Alcedinidae, Tyrannidae, Columbidae, Troglodytidae, Turdidae, Ploceidae e Fringillidae), Mastofauna (Cebidae, Callithrichidae, Canidae, Dasyproctidae, Cervidae, Procyonidae e Didelphidae) e Herptofauna (Teidae, Crotalidae e Colubridae), e é reconhecido por conservar a diversidade genética dos microrganismos e processos ecológicos vitais para o funcionamento do ecossistema (RABELO & MAGALHÃES, 2011).

No que se refere a diversidade da flora no Jardim Botânico, há uma representatividade maior das famílias: Fabaceae, Lauraceae, Melastomataceae, Myrtaceae, Rubiaceae e Bromeliaceae. Bromeliaceae tem sido representada principalmente pelas espécies *Aechmea blanchetiana*, que foi recentemente introduzida no local por promover as interações entre plantas e animais, *Portea silveirae*, espécie rara de grande relevância ecológica e *Portea petropolitana*, que consiste em um grande reservatório da microbiota e, portanto, tornou-se o objeto do atual estudo (BRITO & CARVALHO, 2014; DA SILVA & DE FARIA, 2019; RABELO & MAGALHÃES, 2011).

Figura 1- Localização do Jardim Botânico no município de Juiz de Fora (MG)



Fonte: Adaptado de Fonseca & Carvalho (2012).

2.2. DESENHO AMOSTRAL

Para avaliar a influência das variáveis ambientais nas comunidades aquáticas de bromélias, foram selecionadas 12 bromélias-tanque (*Portea petropolitana*) distribuídas em diferentes pontos do Jardim Botânico, circundando o seu lago principal, que foi considerado como a principal fonte dispersora de organismos aquáticos (Figura 02).

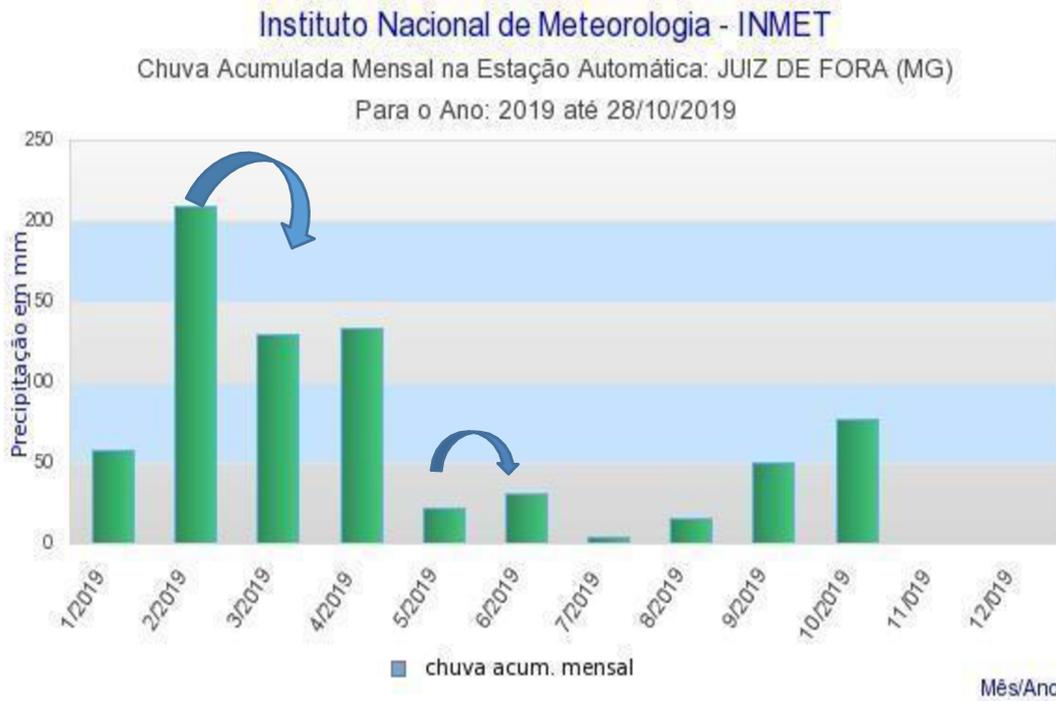
Figura 2- Localização dos pontos amostrais ao redor do lago artificial do Jardim Botânico de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Google Earth (2017).

Foram realizadas amostragens das comunidades de bactérias, ciliados e macroinvertebrados, bem como de variáveis ambientais, no copo central de cada bromélia em dois períodos do ano de 2019 sendo um considerado chuvoso (março) e outro seco (junho) (Figura 03). De acordo com os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2019), fevereiro foi o mês que apresentou os maiores valores de pluviosidade no ano de 2019, e julho foi o mês mais seco. Já o mês de março, quando ocorreu a coleta do período chuvoso nesse estudo, apresentou pluviosidade mensal acumulada de 197,2 mm e no mês de Junho, quando ocorreu a coleta referente ao período seco, a pluviosidade mensal acumulada foi de 30,8 mm. Essa diferença foi substancial na comparação dos diferentes cenários.

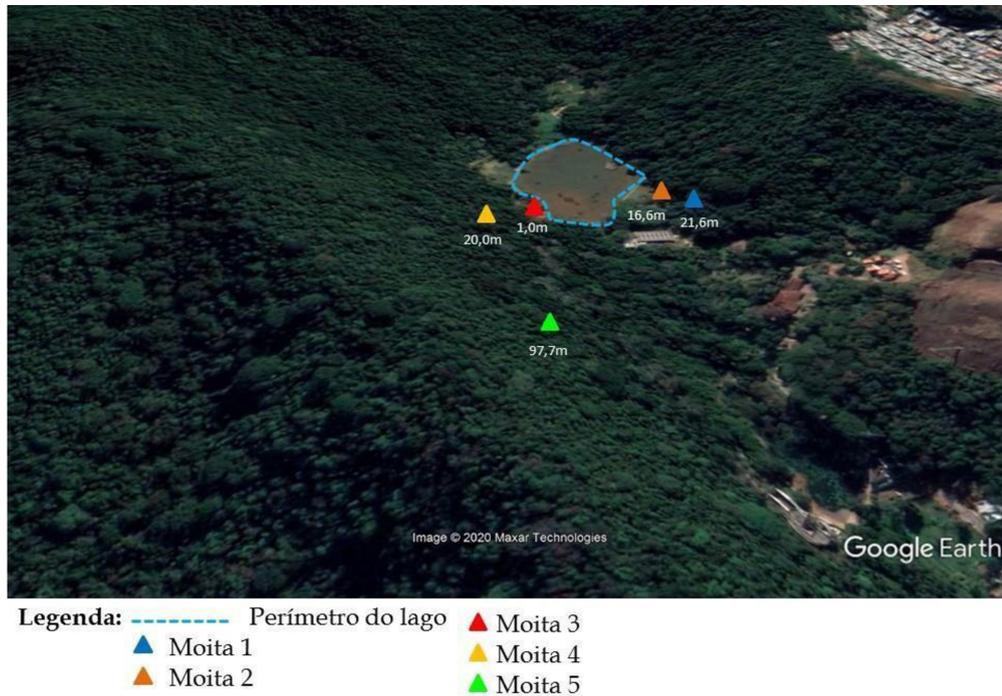
Figura 3- Gráfico de pluviosidade mensal acumulada, caracterizando o período chuvoso e o período seco do ano de 2019.



Fonte: Adaptado de INMET (2019).

Para analisar a influência da distância de cada bromélia até a principal fonte dispersora de organismos aquáticos (lago principal do JB), na composição das comunidades bacteriana, ciliados e macroinvertebrados, foram selecionadas 20 bromélias divididas em 5 agrupamentos (4 bromélias agrupadas em uma mesma “ilha” ou moita). Foi então medida a distância de cada agrupamento para o lago com o auxílio de uma trena (Figura 04). As variáveis bióticas e abióticas foram coletadas e analisadas assim como na amostragem anterior, entretanto para esse estudo a coleta foi realizada uma única vez (julho de 2019).

Figura 4- Localização dos pontos coletados no Jardim Botânico de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.



Fonte: Google Earth (2019).

2.3. COLETA DE AMOSTRAS E VARIÁVEIS ANALISADAS

A água de cada bromélia foi coletada no interior do tanque central e dos tanques laterais, com o auxílio de uma pipeta, até o seu esgotamento, em seguida, transferida para proveta graduada para a aferição do volume (SULEIMAN et al., 2017). Alíquotas de cada amostra foram armazenadas para análises das comunidades e de variáveis químicas em laboratório. Cerca de 50 mL das amostras foram armazenados em tubos tipo falcon para posterior análise de nutrientes e da matéria orgânica dissolvida tendo sido mantidas refrigeradas e no escuro até a chegada ao laboratório de ecologia aquática da UFJF (c.a. 5 horas). No total de 15 mL das amostras foram armazenadas em tubos Falcon e, imediatamente, preservadas com lugol para posterior análise da composição das comunidades de ciliados e macroinvertebrados. No total de 2 mL das amostras foram acondicionados em tubos de microcentrífuga e foram imediatamente preservados com formol filtrado (porosidade de 0,2 μm ; concentração final 4%) e mantidos refrigerados e no escuro para posterior análise da densidade bacteriana e da diversidade citométrica

bacteriana

Ainda em campo, foram obtidos os valores de altura e diâmetro das bromélias (trena), assim como a temperatura da água nos tanques (termômetro digital). Todos os pontos de coleta foram registrados com câmera digital, para análise do percentual de abertura do dossel.

No laboratório parte das amostras de cada bromélia foi imediatamente pré-filtrada em filtros de fibra de vidro (Whatman GF/C) com 1,2 μm e posteriormente filtradas em membranas de celulose (UNIFIL) de 0,45 μm de retenção. O volume filtrado foi posteriormente utilizado na análise das concentrações de carbono orgânico dissolvido (COD), nitrogênio total dissolvido (NT) e fósforo total dissolvido (PT), bem como para analisar a qualidade da matéria orgânica por medidas espectrofotométricas.

A identificação das comunidades de ciliados e macroinvertebrados foi iniciada imediatamente após a chegada ao Laboratório de Comportamento e Biologia animal da Universidade Federal de Juiz de fora, (c.a. 5 horas após a coleta). Os organismos foram identificados até o nível de Ordem e Classe para macroinvertebrados, em nível de família para ciliados. As amostras para estimativa de densidade bacteriana e diversidade citométrica foram acondicionadas em ultra freezer a -80°C até o dia da análise (máximo de 30 dias após a coleta).

2.4. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

Todos os materiais utilizados nas análises foram previamente lavados com HCl (10%) e água ultrapura. Para a identificação dos ciliados, o volume extraído (50 ml) foi homogeneizado e uma subamostra de 1ml foi disposta em vidro de relógio. Todos os ciliados presentes nessa alíquota foram triados com micropipetas de vidro e quantificados (BUOSI ET AL., 2014). Para os demais metazoários, todo o volume coletado foi disposto em placas de Petri, triados com pipetas de vidro ou pipetas de Pasteur e quantificados. As amostras foram analisadas *in vivo*, em microscópio estereoscópico Olympus SZ61, em aumentos de até 90x e dentro de um período máximo de 5 horas após a amostragem.

A densidade bacteriana foi estimada por citômetro de fluxo (D FACSCalibur). Para isso, subamostras (100 μl) foram transferidas para tubos de citometria e diluídas em 200 μl de água Milli-Q, onde foram coradas com 5 μl de Syto 13 (corante de ácidos nucleicos) e incubadas no escuro por 10 minutos antes da leitura no citômetro de fluxo. Esferas de látex

fluorescente foram adicionadas como padrão, em todas as amostras. As configurações do citômetro se repetiram entre as amostras, sendo utilizado um tempo fixo (120 s) na taxa de fluxo 0,0123 mL por minuto. As comunidades bacterianas foram identificadas e separadas do ruído através de *biplots* de luz de dispersão lateral (SSC) *versus* fluorescência verde (FL1) e FL1 *versus* fluorescência vermelha (FL3) (GASOL & DEL GIORGIO, 2000). Cerca de 10.000 células por amostra foram registradas nos citogramas no software FlowJo (versão X 10.0.7 r2). Bactérias presentes nas amostras foram classificadas através das propriedades ópticas. Para cada amostra foi gerada uma impressão digital citométrica a partir do número de células e de categorias citométricas (QUIROGA et al, 2017; WANDERLEY, 2019).

De forma breve, o método da diversidade citométrica consiste na construção de tabelas de contingência a partir da aplicação de grades cartesianas aos citogramas em estudo; cada entrada (célula) da tabela é então abstraída como sendo uma unidade taxonômica especial – desprendida, a priori, de quaisquer propriedades filogenéticas ou funcionais – e o conjunto dessas entradas é subsequentemente avaliado sob uma perspectiva ecológica, utilizando índices de diversidade alfa ou beta pertinentes (WANDERLEY, 2019). Este método, originalmente proposto por Li (1997), vem recentemente sendo aplicado como uma estratégia auxiliar aos estudos com comunidades naturais de bactérias por sua capacidade de capturar e refletir, de forma consistente, certos aspectos da composição e dinâmica desse grupo de micro-organismos (QUIROGA et al., 2017; SEGOVIA et al., 2018; PROPS et al., 2016).

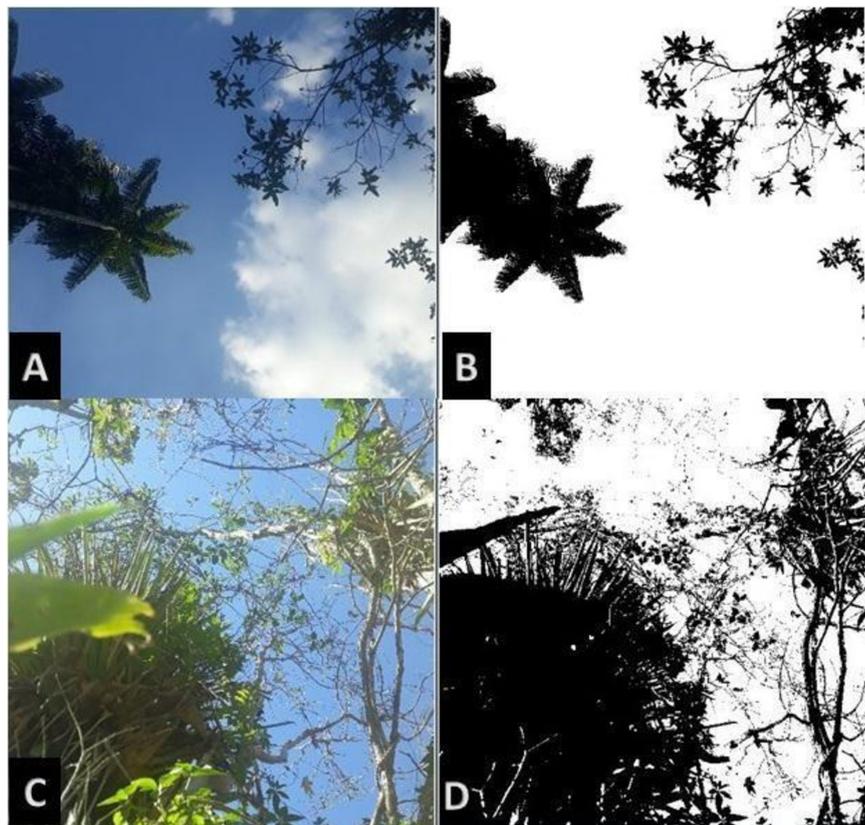
O carbono (C) e o nitrogênio (N) foram analisados com analisador de carbono orgânico (Shimadzu TOC-5000), e o fósforo (P) com método de colorimetria (885 nm) em espectrofotômetro (PerkinElmer- Lambda 365), utilizando cubetas de quartzo de 1 cm de caminho óptico e água ultrapura como referência.

Para investigar a qualidade da matéria orgânica dissolvida nos tanques das bromélias, foram obtidos os valores de absorvância (coloração da água) nos comprimentos de onda 250, 365 e 430 nm. A absorvância nesses comprimentos de onda consiste em uma medida associada às concentrações de compostos húmicos e determina a capacidade do COD de absorver luz (para exemplo ver AMADO et al, 2007). Sendo assim, a absorvância a 430 nm foi utilizada como indicativo das concentrações de matéria orgânica dissolvida de origem húmica (i.e. quanto maior a coloração, maior a concentração de compostos húmicos), enquanto a razão das absorvâncias 250 e 365 nm (250/365) representou a proporção de moléculas de diferentes pesos moleculares, sendo as taxas de absorvância húmica aumentadas a partir da redução do peso das moléculas (AMADO et al., 2006;

STROME & MILLER, 1978).

As imagens de dossel (4000 x 3000 Megapixel) foram convertidas em preto e branco e analisadas no software Gap Light Analyzer (GAP 2.0), onde foi estimado o número médio de pixels por imagem (0-255 pixels), sendo 0 o ponto completamente coberto e 255 a ausência total de cobertura (para exemplos ver Figura 05). Posteriormente esses valores foram convertidos em percentual de fração aberta e de luz transmitida (FRAZER et al., 1999).

Figura 5 - Estimativa de abertura do dossel. A) Imagem do dossel retirada da superfície do tanque da bromélia nº 07. B) Percentual de abertura do dossel (80,76 %), quantificado no Gap Light Analyzer. C) Imagem do dossel retirada da superfície do tanque da bromélia n 02. D) Percentual de abertura do dossel (46,93 %).



2.5. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para avaliar o efeito das variáveis ambientais sobre a composição das comunidades biológicas, foram obtidos os índices de diversidade alfa e beta (PAST326) de invertebrados,

ciliados e bactérias. Além disso foram realizadas análises de regressão linear com os índices de diversidade beta e os dados físico-químicos das bromélias, de ambas as coletas, discriminando assim as diferenças entre as estações seca e chuvosa.

Para investigar o efeito das estações do ano nas comunidades biológicas, realizou-se o teste t pareado com as variáveis de cada período, seguido de análise de covariância (ANCOVA) das comunidades. A análise de covariância foi realizada apenas com as variáveis ambientais que apresentaram diferença significativa entre os períodos no teste t. As análises foram realizadas nos softwares GraphPad Prism 8.2.1, PAST 326 e R 3.6.0.

Para analisar a influência da distância da fonte dispersora de organismos (o lago do JB) nas comunidades aquáticas dos tanques das bromélias foram realizadas regressões múltiplas para as três comunidades – bactérias, ciliados e invertebrados – usando as variáveis ambientais e espaciais como preditoras. Todos os modelos foram construídos após a seleção direta dos preditores, pelo Critério de Informação de Akaike (AIC) e avaliados com uma ANOVA permutacional (999 permutações), assumindo um nível de significância igual a 0,05. As melhores soluções foram avaliadas no tocante à adequação dos pressupostos de modelos lineares (função `gvlma()`, R) e tiveram seus valores do R quadrado ajustado (R^2_{adj}) particionados para definir as influências relativas dos preditores nos modelos gerais. Todas as estatísticas foram realizadas com o R versão 3.6.0 (R Core Team 2019).

3. RESULTADOS

3.1. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS AMBIENTAIS NAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS

As bromélias do Jardim Botânico apresentaram uma grande variabilidade nas condições ambientais (Tabela 02). A coloração da água das bromélias variou entre 0,027 e 15,74. O volume de água dos tanques variou entre 110 mL e 500 mL e a temperatura entre 16 e 25°C. Outras variáveis que apresentaram altas diferenças foram as concentrações de nutrientes dissolvidos (COD, ND e PTD), com variação entre 4,05 e 63,02 mg/L para Carbono, entre 0,14 e 14,82 mg/L para Nitrogênio, e entre 0,14 e 2,7 mg /L para fósforo dissolvido. A430, A365, ND e Temperatura foram maiores no período de chuva em relação ao período de seca (Tabela 01), enquanto as demais variáveis não apresentaram diferenças significativas entre os dois períodos.

Tabela 1- Média, mínimo, máximo e valor de p (teste t) dos valores de absorvância (a250, a365 e a430nm), temperatura, altura (m), diâmetro (m), volume de água do tanque (mL), carbono orgânico, fósforo total e nitrogênio dissolvidos (mg/L) e abertura do dossel (%).

Variáveis	Chuva			Seca			T test
	Média	Mínimo	Máximo	Média	Mínimo	Máximo	Valor de p
A250	3,23	0,64	15,74	2,16	0,48	8,40	0,0923
A365	1,18	0,17	5,90	0,58	0,12	2,03	0,0425
A430	0,75	0,07	3,86	0,23	0,05	0,76	0,0161
Temperatura	22,66	21,00	25,00	20,33	16,00	23,00	0,0020
Altura	0,87	0,00	1,80	1,15	0,20	1,90	0,0610
Diâmetro	1,23	0,75	1,65	0,94	0,40	1,55	0,0610
Volume	215,17	160,00	470,00	206,08	110,00	383,00	0,7168
COD	13,23	4,05	63,02	13,93	4,22	44,23	0,8501
PTD	0,30	0,15	0,92	0,46	0,15	2,67	0,9097
ND	3,15	0,93	14,82	0,18	0,14	0,31	0,0005
Abertura do dossel	29,70	15,07	47,08	32,79	7,14	80,76	0,6953

Tabela 2- Variáveis ambientais amostradas em diferentes bromélias do Jardim botânico da Universidade Federal de Juiz de fora (JB-UFJF).

Bromélia	Data	A250 (nm)	A365 (nm)	A430 (nm)	Altura (m)	Diâmetro (m)	Vol (mL)	T (°C)	COD (mg/L)	ND (mg/L)	PTD (mg/L)	Dossel (%)
BR1	Março	0,642	0,180	0,079	1,10	0,89	180	22	4,05	0,933	0,300	38,28
BR2	Março	1,908	0,877	0,663	0,88	0,89	175	22	4,54	1,437	0,158	42,92
BR3	Março	2,067	0,896	0,583	1,33	1,25	169	21	8,59	1,495	0,321	15,07
BR4	Março	0,705	0,171	0,073	1,20	0,75	170	23	5,19	1,381	0,201	33,43
BR5	Março	5,529	1,934	1,120	0,30	1,65	190	23	28,72	5,087	0,340	24,50
BR6	Março	2,754	0,974	0,636	0,20	1,20	168	23	13,44	4,408	0,395	34,22
BR7	Março	2,026	0,787	0,550	0,00	0,83	380	25	7,37	2,093	0,272	47,08
BR8	Março	15,740	5,902	3,856	1,50	1,20	160	23	63,02	14,820	0,923	22,83
BR9	Março	3,513	1,169	0,710	1,10	1,60	160	23	6,18	1,684	0,196	17,16
BR10	Março	2,040	0,823	0,543	1,80	1,60	200	23	5,99	1,660	0,145	32,92
BR11	Março	0,977	0,241	0,098	0,60	1,35	470	22	5,19	1,345	0,191	29,63
BR12	Março	0,870	0,206	0,089	0,40	1,50	160	22	6,51	1,454	0,207	18,32
BR1	Junho	0,665	0,170	0,068	1,25	0,84	383	16	5,08	0,178	0,182	52,77
BR2	Junho	1,307	0,317	0,128	1,15	0,92	160	18	9,77	0,155	0,366	46,93
BR3	Junho	5,043	1,635	0,723	1,50	1,32	120	21	32,54	0,159	0,638	15,07
BR4	Junho	1,350	0,344	0,143	1,30	0,82	170	22	11,00	0,155	0,287	17,87
BR5	Junho	3,737	0,954	0,373	1,55	0,40	110	22	22,09	0,313	0,188	24,50
BR6	Junho	0,504	0,116	0,045	0,30	0,88	150	20	4,22	0,209	0,169	45,30
BR7	Junho	0,479	0,121	0,052	1,30	0,78	230	21	5,82	0,138	0,231	80,76
BR8	Junho	8,397	2,029	0,756	1,25	0,93	120	23	44,23	0,142	0,213	11,52
BR9	Junho	1,876	0,624	0,256	1,30	0,82	250	21	14,13	0,184	2,670	11,65
BR10	Junho	1,143	0,304	0,127	1,90	1,15	240	19	7,61	0,149	0,153	46,98
BR11	Junho	0,650	0,150	0,059	0,85	0,88	250	20	4,71	0,151	0,211	33,03
BR12	Junho	0,760	0,167	0,068	0,20	1,55	290	21	5,91	0,253	0,217	7,14

Nas bromélias do Jardim Botânico foram registradas 299 taxas de invertebrados, sendo os Rotíferos o grupo mais abundante.

A abundância dos Ciliados variou entre 01 e 335 indivíduos, com um total de 09 famílias identificadas. As bromélias com maior número de Ciliados da família Colpodea (288 indivíduos) apresentavam os maiores valores de absorvância e nutrientes dissolvidos COD, ND e PTD. A bromélia que teve o maior valor de temperatura foi também a única com indivíduos da família Frontoniidae. Em contrapartida, a família Vorticilidae teve maior número de indivíduos nas bromélias que apresentaram os mesmos valores de diâmetro e temperatura. Outros grupos de Ciliados que demonstraram diferenças em relação aos demais foram os Dileptidae, presentes na bromélia de maior abertura do dossel e os Spirotrichea que não demonstraram correlação com as variáveis ambientais das bromélias, porém foram encontrados em uma única bromélia.

A densidade bacteriana variou entre $8,33E+09$ e $9,90E+05$ células/mL e não apresentou padrões claros de correlação com as variáveis ambientais das bromélias.

A Composição de taxa das comunidades diferiu entre as bromélias em ambos os períodos. O índice de diversidade de Shannon-Wiener (H') foi maior para o grupo de invertebrados no período chuvoso (Tabela 03), com Rotíferos e Odonatas sendo encontrados na maioria das bromélias nesse período. Já o período seco apresentou maior dominância de invertebrados da ordem Díptera e Odonata, sendo os Rotíferos abundantes em uma única bromélia, que foi evidenciada por possuir maior abertura do dossel quando comparada as outras bromélias (Figura 06). Os índices de diversidade beta (Whittaker) variaram entre 0,16 nas bromélias 03, 10 e 12 e 0,33 na bromélia 06 no período chuvoso, e entre 0 na bromélia 06 e 0,32 na bromélia 03 no período seco.

Da mesma forma, o grupo de ciliados apresentou maiores índices de diversidade (H') no período chuvoso (Figura 06), com a dominância das famílias Tetrahymenidae e Colpodea. Entretanto, no período seco Tetrahymenidae foi dominante em todas as bromélias. Quanto aos índices de diversidade beta, a variação de ciliados foi entre 0,15 para as bromélias 07 e 0,29 nas bromélias 11 e 12 no período chuvoso e entre 0,06 na bromélia 12 e 0,25 nas bromélias 03, 08,09,10 e 11 no período seco.

A diversidade citométrica (H') foi diferenciada e apresentou maior variação dos índices de diversidade beta, entre as bromélias, no período seco (Figura 8), entretanto a média dos coeficientes de variação da diversidade beta das bromélias foi maior no período chuvoso (Figura 7), assim como a maior abundância de células. O índice de diversidade beta das bactérias variou entre 0,12 na bromélia 01 e 0,18 na bromélia 04 no período de

chuva e entre 0,02 na bromélia 04 e 0,18 na bromélia 07 nos períodos de seca.

As variáveis ambientais das bromélias influenciaram as comunidades de formas distintas. A análise de regressão linear demonstrou que há influência do volume de água dos tanques ($p= 0,0161$) e influência parcial do Carbono orgânico dissolvido ($p = 0,0561$), na diversidade beta de Invertebrados. Além disso, a chuva não exerceu nenhum efeito direto sobre a composição da comunidade de invertebrados, no entanto, a variação desses organismos foi alterada ($p= 0,04722$) pela qualidade da matéria orgânica (A430nm) das bromélias

Tabela 3- Riqueza, abundância, equitabilidade, dominância e diversidade beta e diversidade de Shannon-Wiener da fauna de bromélias-tanque do Jardim botânico da UFJF.

	Invertebrados		Ciliados		Bactérias	
	Chuva	Seca	Chuva	Seca	Chuva	Seca
Riqueza	25	19	32	25	-	-
Abundância	575	196	1904	843	4,75E+10	3,00E+09
Equitabilidade	4,99	2,31	3,91	3,07	-	-
Dominância	9,05	9,92	9,21	10,3	-	-
Diversidade beta	0,22	0,23	0,23	0,2	0,16	0,13
Diversidade (H')	4,91	1,92	4,85	3,31	76,32	90,6

A comunidade de ciliados apresentou uma forte relação com a concentração de nitrogênio dissolvido nas bromélias ($p = 0,040$). Além disso, a diferença entre os períodos de seca e chuva não afetou significativamente a composição de ciliados, sendo influenciada pela qualidade da matéria orgânica A365nm e A430nm ($p= 0,04182$ e $p= 0,04928$) das bromélias nesses períodos.

A chuva alterou a diversidade citométrica em todas as análises ($p= 1,01E-11$; $p= 1,48E-11$; $p= 4,08E-10$; $p= 7,59E-11$), contudo ao discriminar a influência das estações não foi observado efeito das variáveis ambientais sobre a diversidade beta das mesmas ($p > 0,05$). Esse padrão se manteve ao incluir a diferença entre as estações, demonstrando que houve uma forte correlação das bactérias com a chuva, porém não houve influência ambiental sobre a composição das comunidades (Tabela 04).

Tabela 4- Análise de covariância da diversidade beta das comunidades de Invertebrados, Ciliados e Bactérias, com as variáveis ambientais (absorbância a365nm e a430nm, temperatura e nitrogênio dissolvido), de diferentes bromélias do Jardim botânico.

	Invertebrados	Ciliados	Bactérias
Variáveis	p	p	p
A365	0,06332	0,04182	0,8167
A430	0,04722	0,04928	0,9672
Temperatura	0,7601	0,1196	0,7712
ND	0,9859	0,07011	0,7019

Figura 7: Citogramas de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil.
UA= unidade amostral (Bactérias coletadas nas bromélias no mês de março).

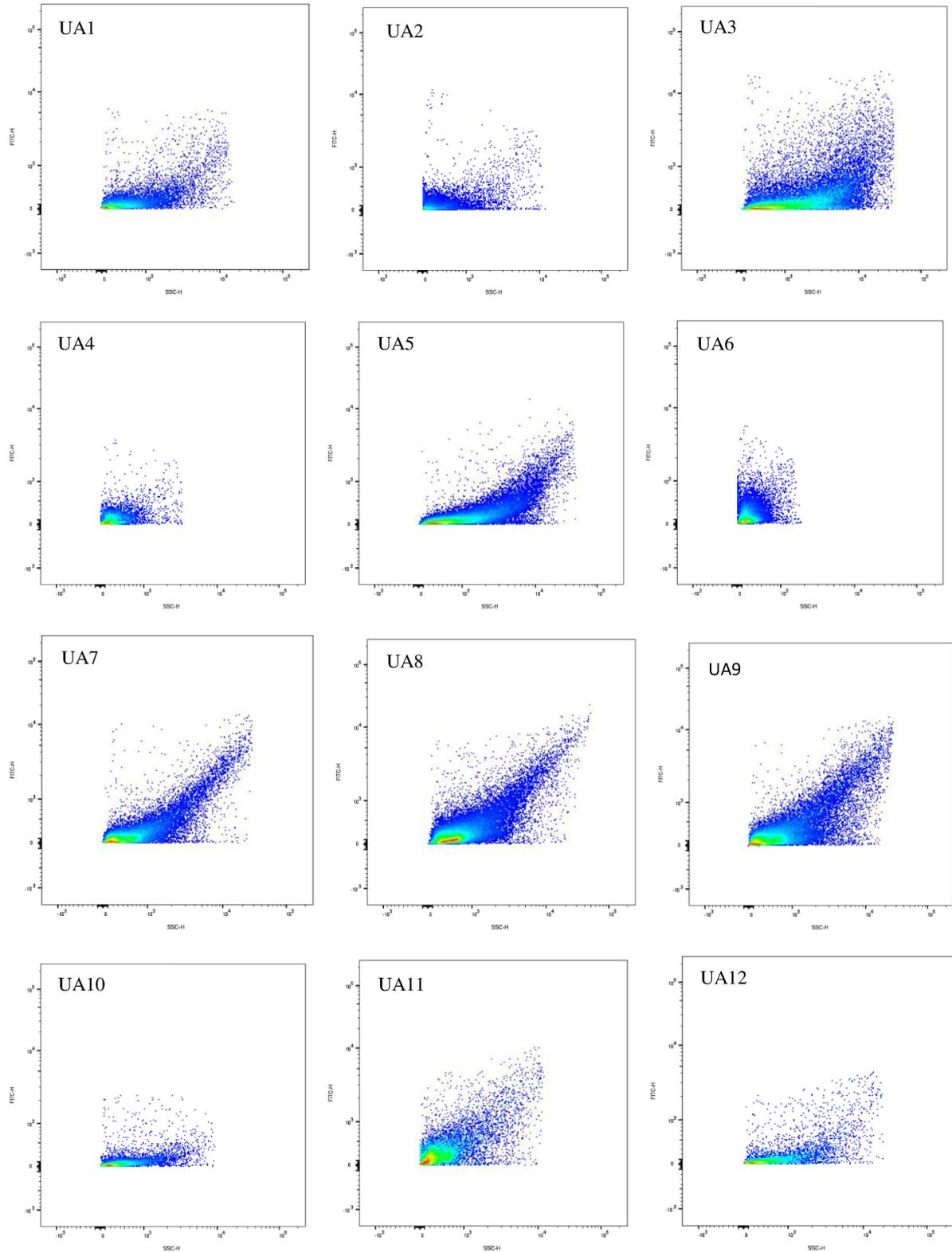
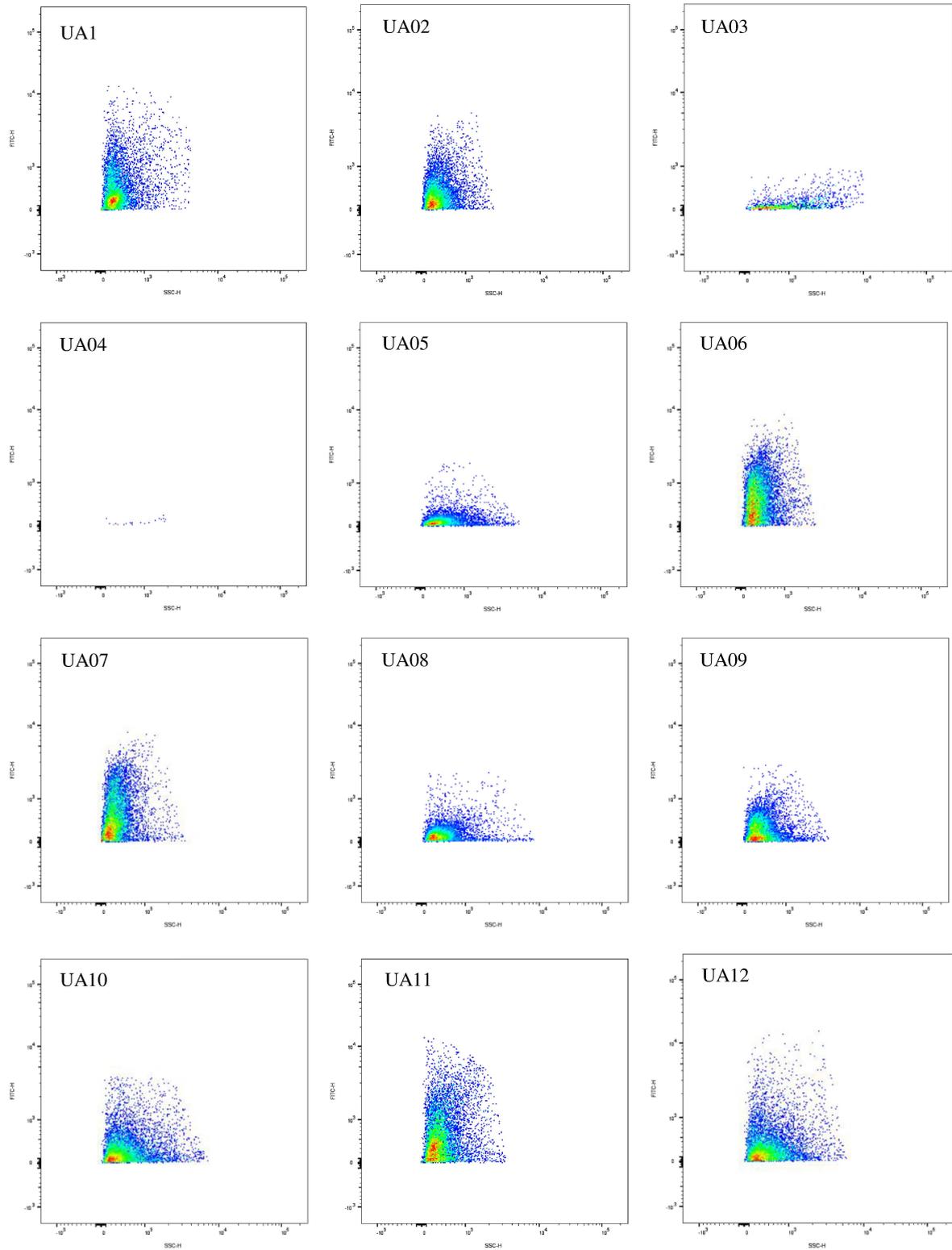


Figura 8- Citogramas de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil.
UA= unidade amostral (Bactérias coletadas nas bromélias no mês de junho).



3.2. ANÁLISE DAS VARIÁVEIS ESPACIAIS NAS COMUNIDADES BIOLÓGICAS

Foram encontradas diferenças nas variáveis físico-químicas entre e dentro de moitas de bromélias tanque (Tabela 05). A coloração da água variou 0,03 e 3,72 entre os tanques de bromélias, enquanto entre moitas a coloração variou em média entre 0,14 e 2,0. O volume de água dos tanques variou entre 110 e 460 mL nos tanques de bromélias e em média entre 155 e 335,75 mL entre as moitas. COD variou entre 3,38 e 53,6 nos tanques de diferentes moitas e entre 5,8 e 31,5 em média entre moitas. ND variou entre 0,14 e 7,22 mg/L entre bromélias e em média entre 0,16 e 3,48 mg/L entre moitas. Para fósforo total dissolvido a variação foi em média entre 0,14 e 5,7 mg/ entre bromélias do JB e entre 0,18 e 1,7 mg/L entre moitas de bromélias.

A riqueza e abundância de invertebrados não apresentou relação aparente com as variáveis ambientais das bromélias. A classe Ostracoda foi encontrada em todas as moitas de bromélias, assim como em todos os seus tanques. Anelídeos e Dipteras foram grupos representativos nas bromélias porém com alta variação no número de indivíduos (Figura08). A Classe Turbelária, Ácaros e Rotíferos foram grupos pouco abundantes, encontrados em bromélias de diferentes moitas.

O coeficiente de variação da diversidade beta dos invertebrados variou entre 0,07 e 0,20 na moita 01; entre 0,08 e 0,25 na moita 02; 0 e 0,29 na moita 03; e 0,05 e 0,30 na moita 05, não houve variação desse grupo nas bromélias da moita 04. A variação da diversidade beta entre moitas de bromélias foi entre 0,16 e 0,22 (Figura 09).

Os ciliados da família Tetrahymenidae foram encontrados em todas as moitas, porém a abundância desses organismos variou entre os tanques de bromélias. Algumas bromélias de mesma moita diferiram tanto na abundância quanto na composição das comunidades, um exemplo foi encontrado em bromélias da moita 02, que diferiu das demais na abundância de ciliados da família Spathidiidae e da Classe Colpodea, respectivamente (Figura 10). Na moita 03 a maior abundância de indivíduos foi concentrada em uma única bromélia, sem associação em termos de variáveis ambientais. Na moita 01 a variação da diversidade beta dos ciliados foi entre 0 e 0,34; na moita 02 entre 0,09 e 0,21, na moita 03 entre 0,05 e 0,25; na moita 04 entre 0,07 e 0,25 e na moita 05 entre 0 e 0,58. O coeficiente de variação da diversidade beta entre as moitas variou entre 0,18 e 0,43.

Tabela 5- Variáveis ambientais de agrupamentos de bromélias-tanque do Jardim botânico de Juiz de fora e medidas de distância até o lago artificial do JB no ano de 2019.

Moitas	Bromélia	Data da coleta	A250 (nm)	A365 (nm)	A430 (nm)	Altura (m)	Diâmetro (m)	Vol (mL)	Distância (m)	T (°C)	COD (mg/L)	ND (mg/L)	PTD (mg/L)	Dossel (%)
M01	Br1	Junho	0,6653	0,1701	0,0687	1,25	0,84	383	21,6	16	5,078	0,1799	0,1824	52,77
	Br2	Junho	0,5785	0,1496	0,0662	0,95	0,99	240	21,6	16	4,744	0,1773	0,4425	52,77
	Br3	Junho	1,326	0,3051	0,1213	0,95	0,8	260	21,6	16	8,237	0,3029	0,3606	52,77
	Br4	Junho	0,6671	0,1869	0,0816	1,3	0,97	460	21,6	17	5,135	0,2449	0,2480	52,77
M02	Br5	Junho	0,1307	0,3172	0,1287	1,15	0,92	160	16,6	18	9,772	0,1552	0,3659	46,93
	Br6	Junho	2,567	0,837	0,36	1,35	0,97	110	16,6	20	16,61	0,1449	5,6801	46,93
	Br7	Junho	1,748	0,4485	0,1975	1,2	0,87	130	16,6	20	11,79	0,1853	0,3560	46,93
	Br8	Junho	1,442	0,4207	0,1773	1,2	0,9	220	16,6	19	9,518	0,1867	0,3914	46,93
M03	Br9	Junho	0,135	0,3449	0,1436	1,3	0,82	170	1	22	11	0,1548	0,2868	17,87
	Br10	Junho	0,9097	0,2113	0,0843	1,3	0,78	230	1	21	6,174	0,1791	0,1978	17,87
	Br11	Junho	1,736	0,3497	0,1286	1,25	0,93	120	1	23	12,61	0,1428	0,2254	17,87
	Br12	Junho	2,962	0,659	0,277	1,3	0,82	250	1	21	17,34	0,1729	0,1415	17,87
M04	Br13	Junho	11,246	3,5	1,524	0	0,75	110	20	20	47,58	0,1492	0,1663	15,63
	Br14	Junho	11,208	3,72	1,57	0	1,55	140	20	20	53,59	7,22	0,1772	15,63
	Br15	Junho	1,073	0,2371	0,0975	0	1,63	180	20	20	6,331	1,28	0,2173	15,63
	Br16	Junho	2,737	0,636	0,281	0	1,77	200	20	19	18,46	5,278	0,1927	15,63
M05	Br 17	Junho	0,6501	0,1506	0,059	0,85	0,88	250	97,7	20	4,708	0,1508	0,2105	33,03
	Br 18	Junho	0,3635	0,081	0,0356	0,5	1,22	200	97,7	21	3,379	0,8509	0,2980	33,03
	Br 19	Junho	0,7437	0,1631	0,0676	1	1,1	200	97,7	20	5,831	1,2	0,2280	33,03
	Br 20	Junho	1,331	0,2873	0,1204	0,9	1,5	110	97,7	19	10,7	2,01	0,2159	33,03

Figura 9- Densidade de Invertebrados entre moitas de bromélias-tanque do Jardim botânico de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.

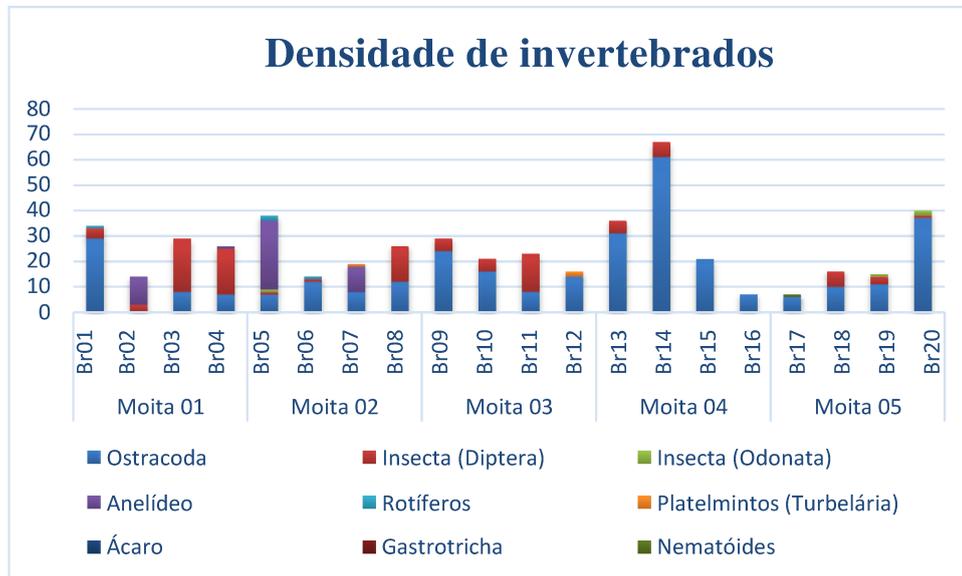
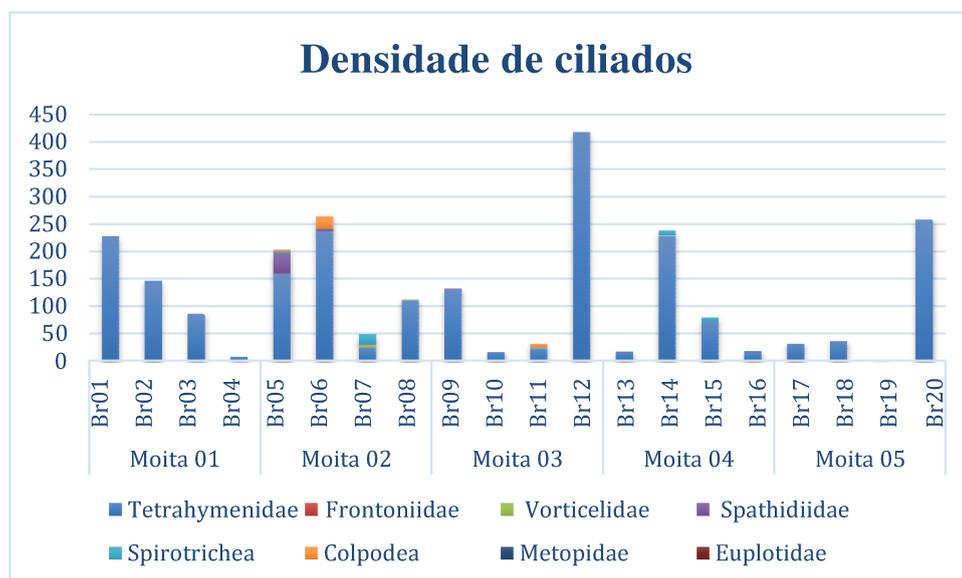


Figura 10- Densidade de ciliados entre moitas de bromélias-tanque do Jardim botânico de Juiz de Fora, Minas Gerais, Brasil.



A densidade bacteriana variou entre $2,99\text{E}+08$ e $9,90\text{E}+05$ cel/mL nas bromélias, e $2,20\text{E}+08$ e $2,94\text{E}+08$ entre moitas de bromélias (Figura 11 à 15), sendo a maior abundância encontrada na bromélia mais próxima da fonte dispersora (Figura 13). Além disso, os índices de diversidade de Shannon, variaram em média entre 6,9 e 8, entre as moitas de bromélias. O coeficiente de variação da diversidade beta variou entre 0,27 e 0,29

na moita 01, 0,28 e 0,32 na moita 02, 0,41 e 0,49 na moita 03, 0,30 e 0,37 na moita 04 e 0,30 e 0,35 na moita 05. Entre as moitas de bromélias a média da variação foi entre 0,28 e 0,43, sendo os maiores índices de diversidade beta encontrados na moita mais próxima do lago (Figura 13).

Figura 11- Citogramas de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA01= unidade amostral (Bactérias coletadas nas bromélias da moita 01).

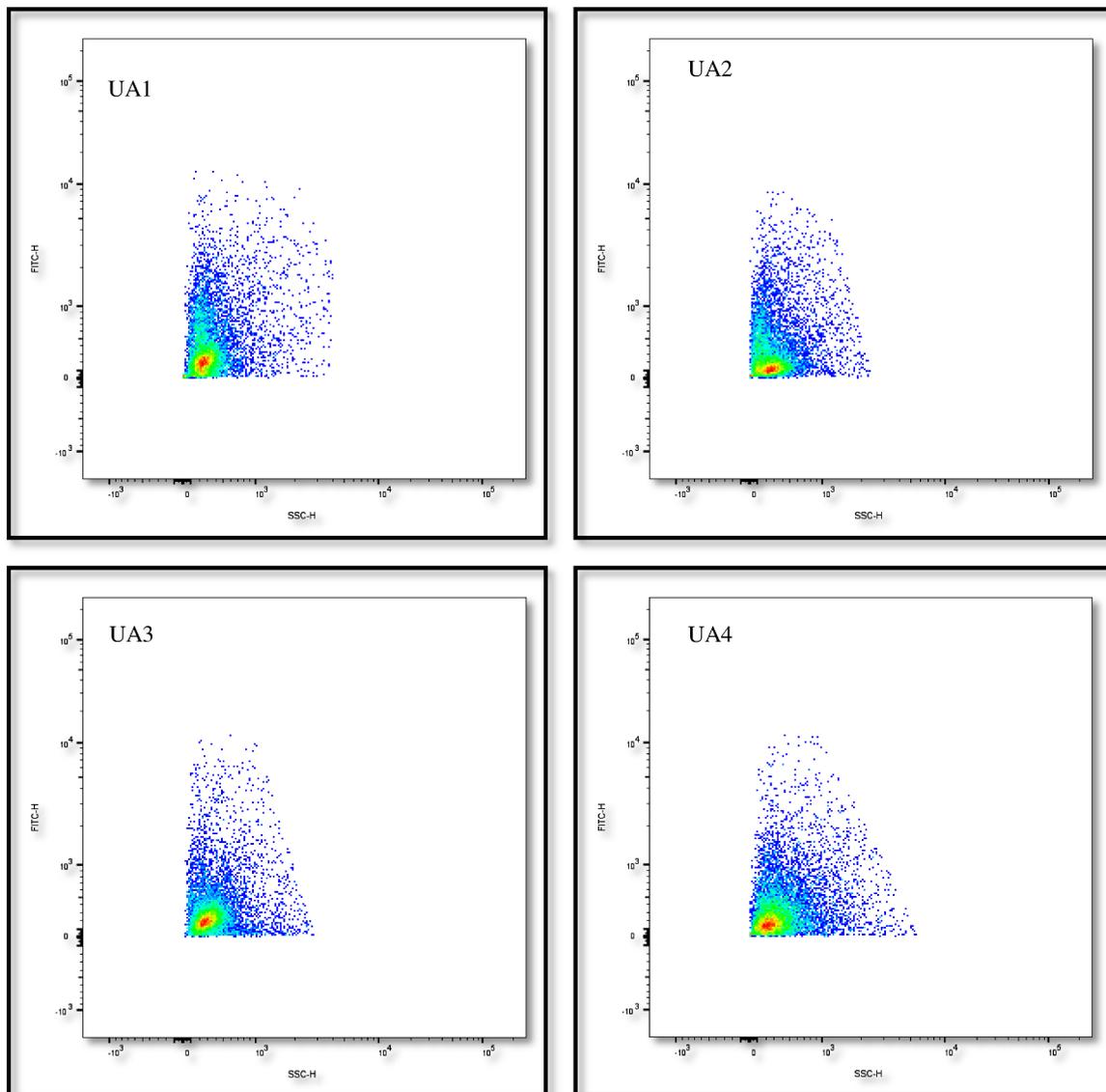


Figura 12- Citogramas de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA02= unidade amostral (Bactérias coletadas nas bromélias da moita 02).

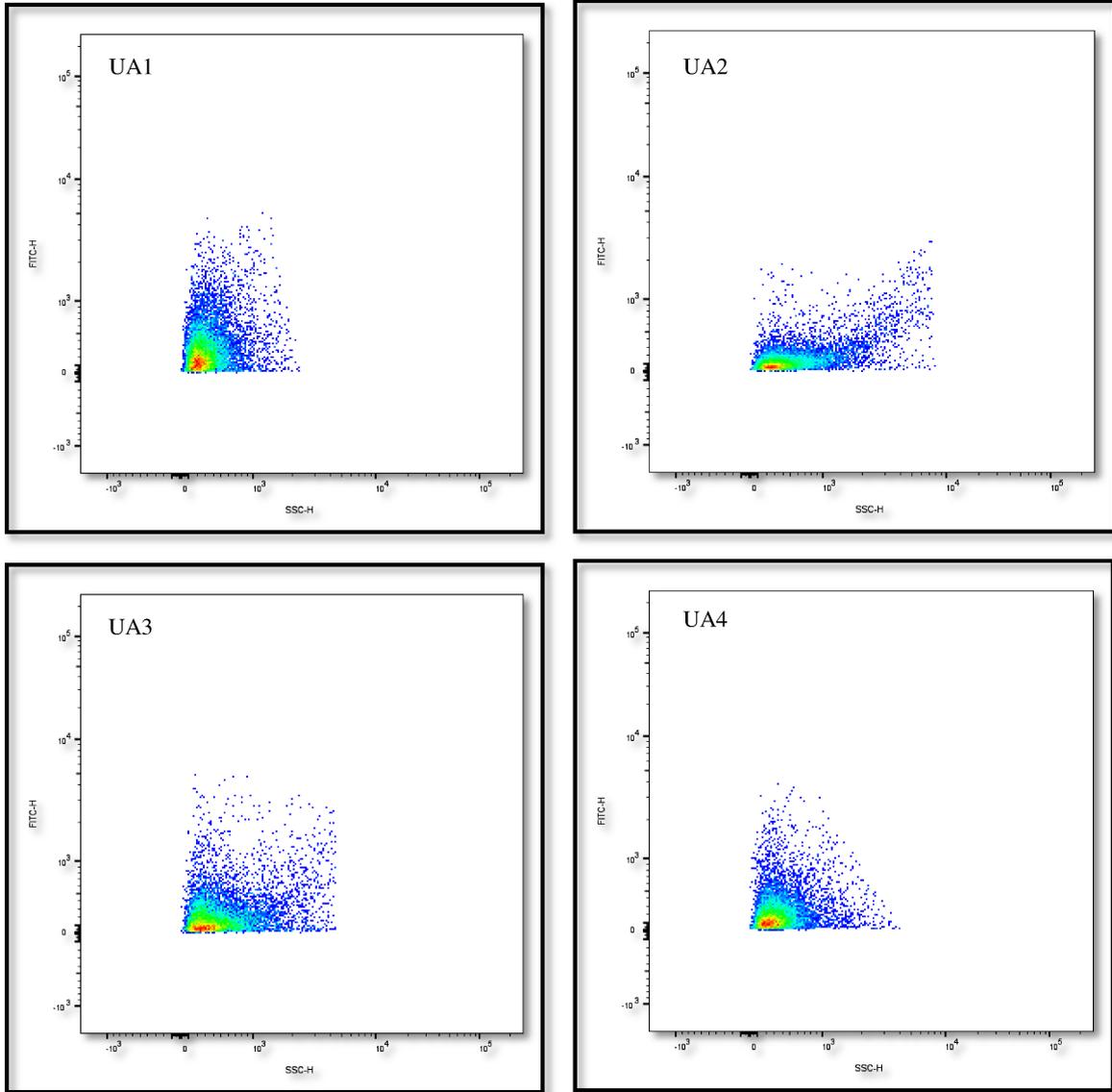


Figura 13- Citogramas de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA03= unidade amostral (Bactérias coletadas na moita 03).

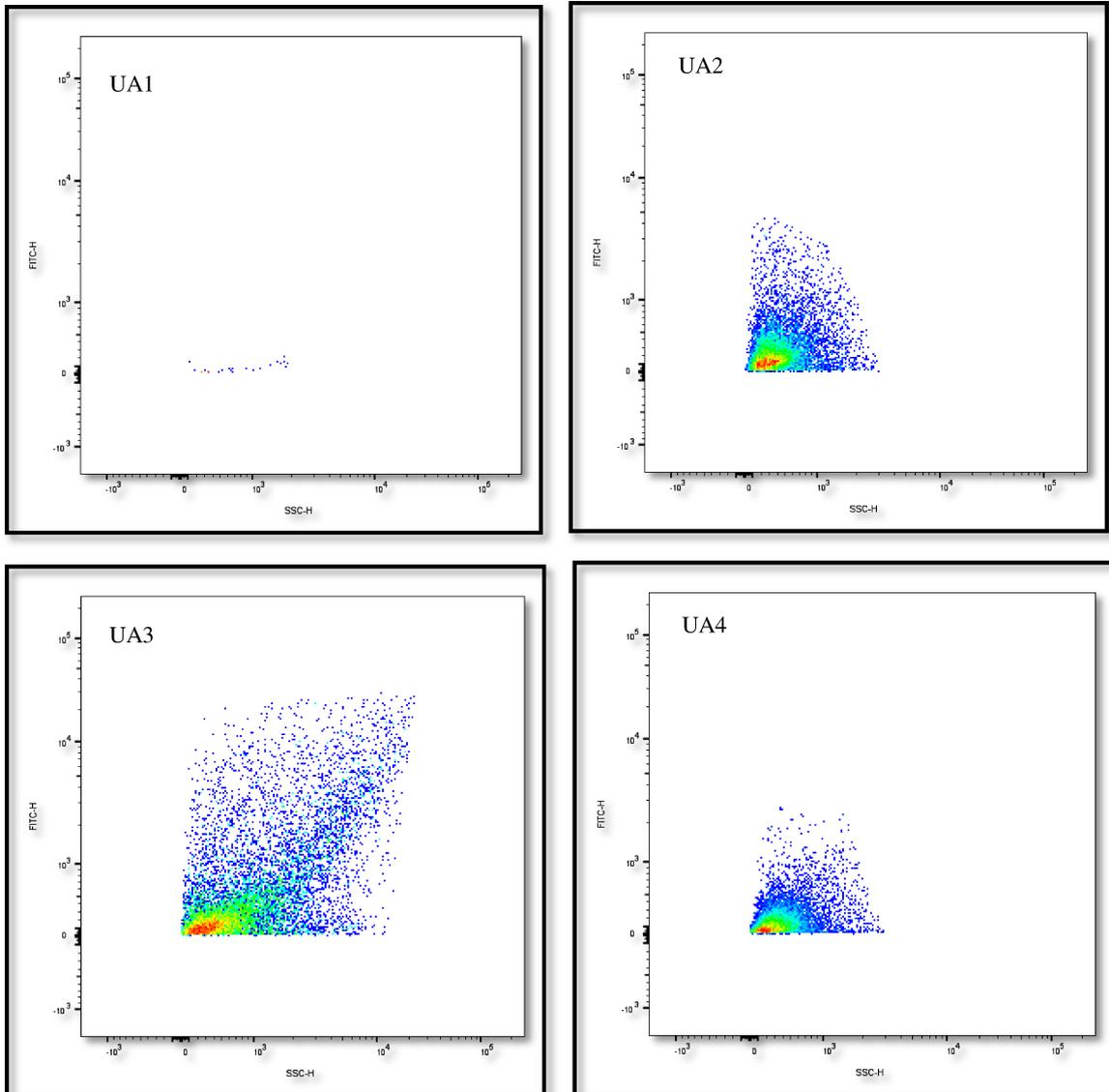


Figura 14- Citogramas de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA04= unidade amostral (Bactérias coletadas na moita 04).

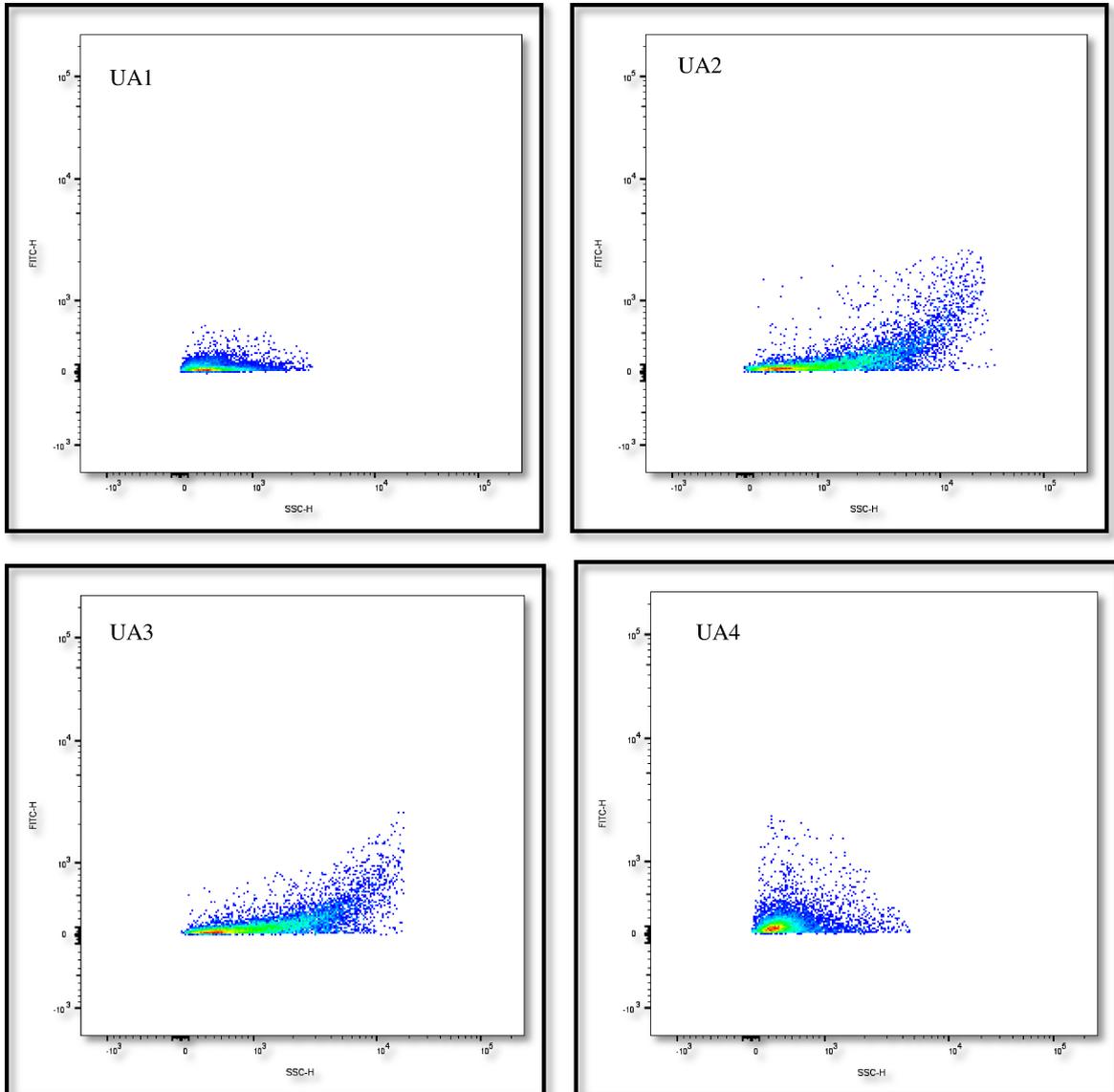
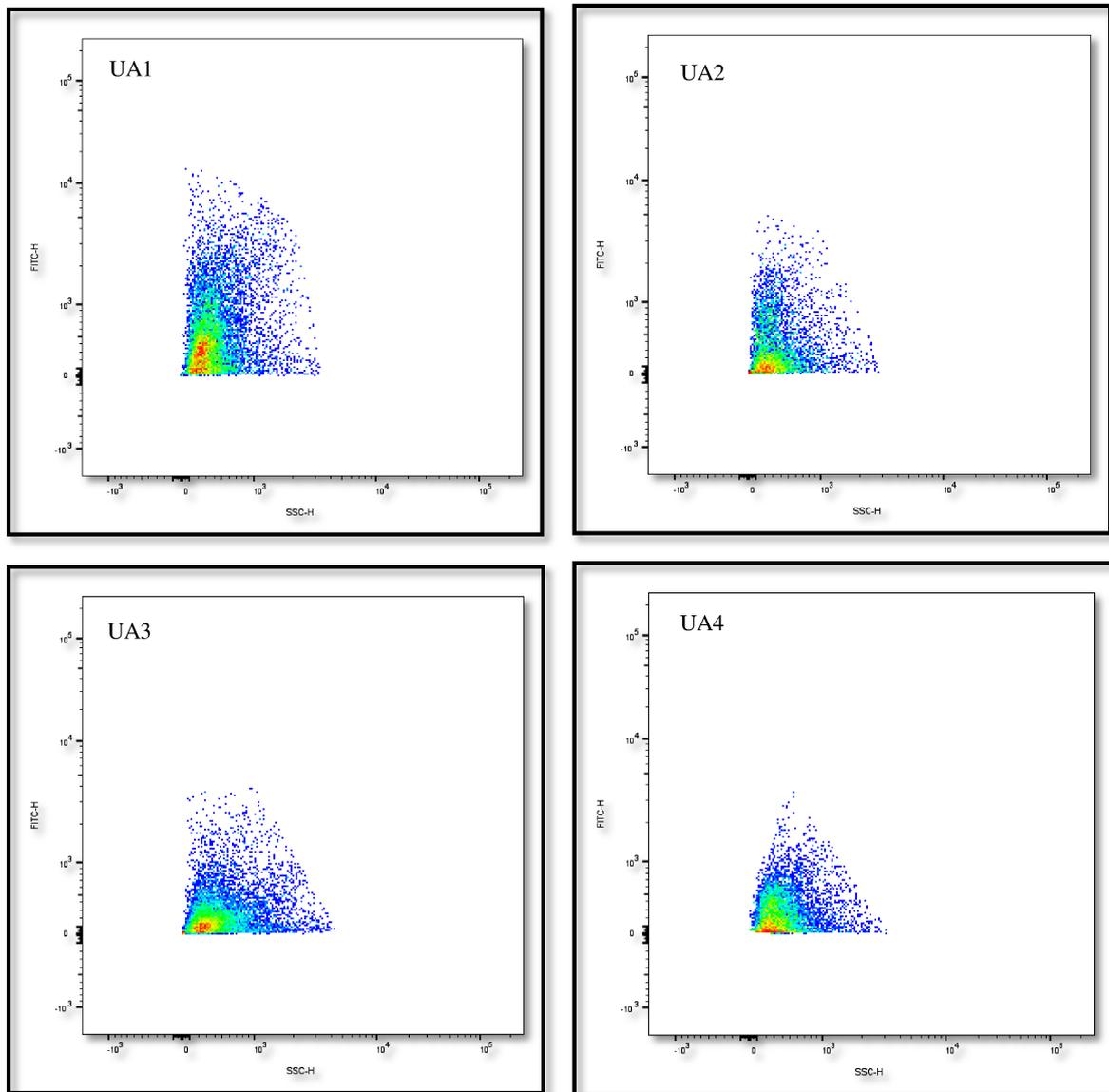


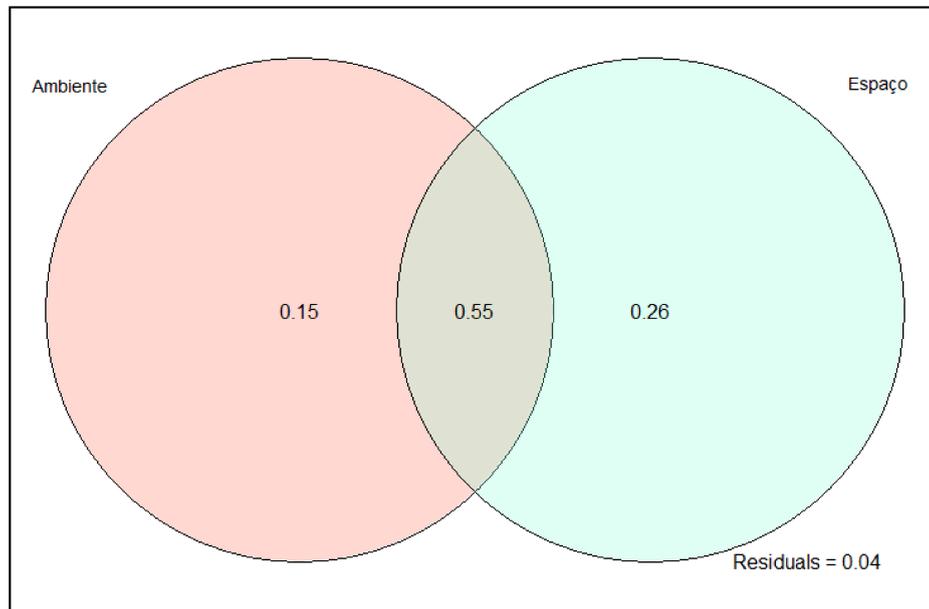
Figura 15- Citogramas de Bromélias-tanque do Jardim Botânico – UFJF, Minas Gerais, Brasil. UA05= unidade amostral (Bactérias coletadas nas bromélias da moita 05).



Na investigação do efeito da distância nas comunidades, apenas o modelo para a comunidade de bactérias foi significativo; ciliados e invertebrados não responderam às variáveis espaciais e ambientais ($p > 0.05$). A seleção dos preditores reteve as seguintes variáveis no modelo final: A(250.00 nm), Altura (m), Diâmetro (m), Temperatura ($^{\circ}\text{C}$), COD (mg/L) e PTD (mg/L) ($R^2_{\text{adj}} = 0.96$).

A partição da variância (Figura 10) revelou uma influência relativamente equilibrada (moderadamente maior do espaço) entre ambiente e espaço na estruturação da comunidade bacteriana, sendo a maior proporção de explicação observada pelos efeitos combinados entre o espaço e do ambiente.

Figura 16- Diagrama de Venn correspondente à partição de variância do modelo (bactérias).



4. DISCUSSÃO

Nossos resultados concordam com a hipótese da plasticidade por tamanho ao afirmar que organismos maiores são predominantemente regulados por variáveis ambientais e organismos menores por variáveis espaciais (CEREGHINO et al., 2020; FARJALLA et al., 2012). Assim, os processos baseados no nicho aumentam com o tamanho do organismo, a partir da maior plasticidade e capacidade de dormência dos microrganismos, que são capazes de se manter por longos períodos em diversos ambientes (FINLAY, 2002; LANGENHEDER et al., 2005). Demonstramos aqui, que as características ambientais influenciaram de formas distintas as comunidades de invertebrados, ciliados e bactérias nos tanques das bromélias, corroborando nossa primeira hipótese. Isso demonstra que a variabilidade dos recursos disponíveis nos tanques, dão origem a um complexo ecossistema, que podem ser considerados importantes filtros ambientais, sobretudo, para espécies do zooplâncton e macroinvertebrados.

Em nosso trabalho, corroborando com a literatura, foram identificados efeitos diretos e indiretos das estações do ano em comunidades aquáticas (HAWKINS et al., 2003). A região da Mata Atlântica apresentou uma amplitude de temperatura entre 17,7 e 26,8°C no mês de março e 12,4 e 22,10 °C no mês de junho, enquanto a pluviosidade variou em 269 mm entre o

mês mais seco (julho) e o mês mais chuvoso (Janeiro) (INMET, 2020). Essa incidência de chuva promove a retenção de água e matéria orgânica nos tanques das bromélias, criando um micro-habitat aquático onde se estabelecem ou reestabelecem diversas comunidades aquáticas e terrestres. Isso porque a chuva pode diluir a matéria orgânica dos tanques, aumentar a disponibilidade de nutrientes, e assim, afetar o metabolismo das comunidades aquáticas (BRANDT et al., 2017).

Ao discriminar as estações seca e chuvosa, nossos resultados demonstraram uma maior relação da composição de invertebrados com o carbono orgânico dissolvido e o volume de água das bromélias, também, foi demonstrado que essa relação com o habitat pode ser fortalecida em função da identidade de cada espécie (PETERMANN, 2015). Invertebrados aquáticos que se alimentam de folhas na maioria das vezes estão correlacionados com o acúmulo espacial e temporal de detritos e selecionam o seu alimento de acordo com o teor de nutrientes e a presença de compostos secundários (RANGEL et al., 2017; BROUARD et al., 2012; MOORE et al., 2004). Dessa forma, a serapilheira de origem refratária, afeta a presença de algumas espécies, assim como, as taxas de decomposição dos microrganismos e a montagem geral de uma comunidade (RANGEL et al., 2017; MIGLIORINI et al., 2018).

A variação no grupo de ciliados foi explicada pelo nitrogênio e pela qualidade do carbono orgânico dissolvido nos tanques. As folhas ricas em nutrientes, principalmente o nitrogênio são de grande relevância para grupos de detritívoros e o aporte de folhas da vegetação circundante é variável entre os indivíduos de bromélias. (IRONS, 1988). Por outro lado, as variáveis ambientais não explicaram as variações nas comunidades bacterianas de bromélias.

A entrada de água e energia no sistema explica em média 60% da riqueza de diversos grupos de plantas e animais. As análises que não incluem essas variáveis não apresentam os principais componentes para explicar os padrões de diversidade em larga escala (HAWKINS et al., 2003). Por exemplo, em períodos de seca prolongada, a taxa de decomposição da matéria orgânica é alterada devido à redução da atividade microbiana (PEREZ et al. 2018). A qualidade e a fonte desse carbono influenciam diretamente as suas características ópticas e as taxas de degradação pelos microrganismos (AMADO et al., 2007). Ao incluir as estações do ano, a matéria orgânica dissolvida influenciou novamente as populações de ciliados e invertebrados. No período chuvoso houve um aumento da temperatura da água, da concentração de nitrogênio dissolvido e da qualidade da matéria orgânica das bromélias. Embora não tenha sido observado efeito direto dos períodos de seca e chuva nessas comunidades, esses resultados podem estar relacionados ao carbono orgânico dissolvido que,

ao ser degradado pelas bactérias, é selecionado pelos organismos tanto pelo estado de transformação através das chuvas, quanto pela fonte sazonal da qual ele foi transportado (SUHETT et al. 2006; POWERS et al. 2009). Sendo assim, em nosso trabalho a composição de invertebrados e ciliados não foi influenciada diretamente pelos efeitos de seca e chuva, mas por variáveis ambientais dependentes da chuva.

Estudos similares sugerem que períodos em que há maior acúmulo de água nos tanques de bromélias compreendem a maior densidade de invertebrados herbívoros (ROGY et al., 2019). O excesso de nutrientes nos ecossistemas aquáticos em períodos mais secos pode favorecer algumas espécies de macro e microrganismos e aumentar a dominância de pequenos grupos. Além disso, nesse período a entrada de energia no sistema, determina a frequência dos processos estocásticos, tal como, as taxas de colonização e extinção e os grandes desvios ecológicos que são fatores responsáveis pela riqueza das espécies no ecossistema (HAWKINS et al., 2003; CHASE, 2010).

Tendo em vista que as bromélias não foram filtros para a comunidade bacteriana, sugere-se que o efeito do ambiente nas bactérias, pode ter sido subestimado nas bromélias. Esses organismos são os mais diversos e apresentam as maiores taxas de recolonização. Frequentemente, a substituição das bactérias é tão elevada que pode passar despercebida perante as alterações ambientais. Além disso, destaca-se a importância de considerar as diferenças entre a diversidade citométrica e a diversidade genética, bem como as relações tróficas nas bromélias, visto que, a influência do ambiente na estrutura das comunidades aumenta também a partir do aumento nas taxas de colonização e extinção (STEINER & LEIBOLD, 2004; CHASE, 2010).

A seca representa um importante filtro ambiental para as espécies em diversos ecossistemas de áreas úmidas (WELLBORN et al., 1996). Em nosso trabalho, diferente dos outros grupos, a diversidade citométrica foi diretamente influenciada pelas estações do ano, sem qualquer associação com as variáveis ambientais. Além disso, foram encontrados, maiores valores de diversidade beta no período chuvoso, e diversidade alfa (H') no período seco, ou seja, no período seco, além de apresentarem ampla variação nas condições ambientais, as bromélias apresentaram alta abundância e riqueza de bactérias, porém menores diferenças na composição. Isso pode ser explicado por uma seleção de espécies ocorrida no período seco, visto que as bactérias persistentes possuem rápida capacidade de recolonização e resistência às limitações impostas pela seca (WELLBORN et al., 1996; CHASE, 2007). Diversos estudos demonstram a dificuldade em detectar os efeitos do nicho diante de uma alta frequência de eventos estocásticos. Portanto, é importante destacar que

os processos determinísticos e estocásticos, ocorrem simultaneamente no ecossistema (CHASE et al., 2011; FARJALLA et al., 2012). Sendo assim, nosso trabalho sugere que as elevadas taxas de processos estocásticos podem ter ocultado os efeitos dos processos baseados no nicho e a seleção das comunidades de bactérias, que geralmente é fortalecida nesse período. Por outro lado, durante a estação chuvosa, não houve filtragem ambiental, as bromélias foram mais homogêneas na disponibilidade dos recursos, e a diversidade citométrica regulada apenas por eventos estocásticos evidenciados com a chuva.

Estudos utilizando modelos neutros demonstram que os processos estocásticos determinam os padrões de distribuição das espécies (BELL 2001; HUBBELL 2001), ou seja, comunidades dominadas por processos estocásticos não respondem ou respondem pouco as associações com o nicho e/ ou com outras espécies. Nesse estudo o processo de dispersão não foi capaz de afetar a estrutura e composição das comunidades de ciliados e invertebrados, refutando a nossa segunda hipótese, ao explicar uma fração significativa apenas das comunidades bacterianas.

Na avaliação das variáveis espaciais, a diversidade citométrica foi influenciada tanto pelas variáveis ambientais quanto pela distância da fonte dispersora, sendo a distância a principal reguladora desse grupo. Nossos resultados indicam novamente que a diversidade citométrica é regulada por processos baseados do nicho e pela dispersão, sendo a dispersão o processo predominante.

A inclusão das estações do ano pode melhorar o poder preditivo dos modelos de diversidade citométrica. Além disso, os componentes inerentes aos índices de diversidade beta como os padrões de rotatividade espacial e os padrões de aninhamento das espécies devem ser investigados. Esses parâmetros diferem na força dos processos ecológicos e na estruturação das comunidades biológicas e essas diferenças podem refletir nas estimativas da biodiversidade (BASELGA, 2010).

Em nosso trabalho, o microzooplâncton não foi influenciado pela distância da fonte dispersora, visto que a maior parte dos ciliados encontrados podem ser endêmicos das bromélias e, portanto não apresentaram padrões de dispersão na estruturação das comunidades. As variáveis ambientais não influenciaram as comunidades de ciliados e invertebrados quando consideramos as moitas de bromélias. Esse padrão pode ser justificado pelos diferentes mecanismos de distribuição das espécies.

Macroinvertebrados da classe Insecta e Ostracoda foram abundantes na maioria das bromélias desse estudo e compartilharam o mesmo habitat. Os insetos são dispersores ativos, capazes de selecionar o habitat adequado para abrigo e reprodução, enquanto o

grupo dos Ostracodas são reconhecidos por apresentarem diferentes mecanismos de dispersão, que podem variar desde a dispersão no intestino de girinos até a resistência de ovos a dissecação, o que facilita a colonização desses grupos em diferentes ambientes (LOPEZ et al. 2002; FRANK & LOUNIBOS, 1987).

As bromélias-tanque possuem uma composição heterogênea de ciliados, que geralmente diferem de outros habitats de água doce (WIACKOWSKI & KOCERBA-SOROKA, 2017). Sendo assim, ela é composta por espécies endêmicas e exóticas, que diferem em suas características, como demonstrado nas famílias Frontoniidae, Spirotrichea, Dileptidae e Vorticilidae nesse estudo. Esses grupos apresentaram alta variação em termos de abundância e riqueza, regulados por variáveis ambientais heterogêneas, como temperatura, cobertura do dossel, tamanho do habitat e nutrientes dissolvidos, sugerindo que existem diferentes padrões de associação dos ciliados com o hábitat das bromélias. O tamanho intermediário desses indivíduos sugere que sua distribuição é influenciada tanto pelas variáveis ambientais quanto pela dispersão (FARJALLA et al., 2012; WIACKOWSKI & KOCERBA-SOROKA, 2017; FOISSNER, 2007).

A origem dos ciliados de bromélias é frequentemente explicada pela dispersão de poças d'água e musgos, assim como a adaptação a esses ambientes. Assim como outros grupos de microrganismos, a dispersão dos protozoários pode ser realizada através da água, do vento, de animais (especialmente pássaros migratórios) e da ação humana (FOISSNER et al. 2003; FOISSNER et al. 2006). Em nosso trabalho os ciliados não foram influenciados pela dispersão e sua relação com as bromélias ainda é pouco compreendida.

De acordo com a literatura, o aumento de espécies de ciliados endêmicos de bromélias neotropicais ocorre em função do número de unidades amostradas. Por sua vez, essas espécies diferem significativamente de outros habitats limnéticos (como lagos). Dessa forma, o deficit de amostragens em estudos ecológicos inviabiliza a compreensão dos padrões de distribuição desse grupo, e em conjunto, esses fatores explicam os nossos resultados (DUNTHORN et al., 2012).

5. CONCLUSÕES

Em suma, os grupos de ciliados, bactérias e invertebrados são influenciados eventualmente tanto por processos determinísticos, provenientes do habitat, quanto por

processos estocásticos, e esses processos são diretamente influenciados pelas estações do ano. A chuva modifica a qualidade dos recursos e funciona como um verdadeiro filtro para organismos maiores. Enquanto, organismos menores, como as bactérias, são predominantemente regulados por eventos aleatórios que podem ser potencializados em épocas de chuva.

Concluimos que as comunidades biológicas que vivem nas bromélias, são selecionadas a partir de um conjunto de fatores, que vão desde as características adaptativas, podendo variar no grau de tolerância, seletividade dos recursos, estações do ano e a capacidade dispersora. Para dimensionar a influência dos processos na estrutura e composição das comunidades biológicas devemos considerar todos os elementos que compõem o nicho das espécies incluindo a sua rede de interações. Por fim, as bromélias-tanque são fundamentais para a manutenção da diversidade de invertebrados, ciliados e bactérias e potenciais ferramentas para o estudo dos processos ecossistêmicos.

6. REFERÊNCIAS

- AMADO, A. M. et al. Contrasting interactions mediate dissolved organic matter decomposition in tropical aquatic ecosystems. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 49, n. 1, p. 25-34, 2007.
- AMADO, A. M. et al. Complementary pathways of dissolved organic carbon removal pathways in clear-water Amazonian ecosystems: photochemical degradation and bacterial uptake. **FEMS Microbiology Ecology**, v. 56, n. 1, p. 8-17, 2006.
- BARBOSA, J. M. et al. Filtros ecológicos e competição: influência no padrão morfológico foliar. **Livro do curso de campo “Ecologia da Mata Atlântica”(G. Machado, 2009).**
- BASELGA, A. Partitioning the turnover and nestedness components of beta diversity. **Global ecology and biogeography**, v. 19, n. 1, p. 134-143, 2010.
- BELL, G. 2001. Neutral macroecology. *Science* 293:2413–2418.
- BENZING, D. H. **Vascular epiphytes: general biology and related biota.** Cambridge University Press, 2008.
- BENZING, D. H.; BENNETT, B. **Bromeliaceae: profile of an adaptive radiation.** Cambridge University Press, 2000.
- BISPO, P. C.; OLIVEIRA, L. G. Distribuição espacial de insetos aquáticos (Ephemeroptera, Plecoptera e Trichoptera) em córregos de cerrado do Parque Ecológico de Goiânia, Estado de Goiás. **Oecologia Brasiliensis**, v. 5, n. 1, p. 12, 1998.

- BOUVIER, T. et al. A comparative study of the cytometric characteristics of high and low nucleic-acid bacterioplankton cells from different aquatic ecosystems. **Environmental Microbiology**, v. 9, n. 8, p. 2050-2066, 2007.
- BRANDT, B. et al. Bromeliad tanks are unique habitats for microbial communities involved in methane turnover. **Plant and Soil**, v. 410, n. 1-2, p. 167-179, 2017.
- BRANDT, F. B. et al. Drying effects on archaeal community composition and methanogenesis in bromeliad tanks. **FEMS microbiology ecology**, v. 91, n. 2, p. 1-10, 2015.
- BRITO, O. S.; CARVALHO, F. A. Estrutura e diversidade arbórea da Floresta Estacional Semidecidual secundária no Jardim Botânico da Universidade Federal de Juiz de Fora. *Rodriguésia*, Rio de Janeiro, v. 65, n. 4, p. 817-830, 2014.
- BROUARD, O. et al. Understorey environments influence functional diversity in tank-bromeliad ecosystems. **Freshwater Biology**, v. 57, n. 4, p. 815-823, 2012.
- BUOSI, P. R. B et al. Multiple lines of evidence shed light on the occurrence of Paramecium (Ciliophora, Oligohymenophorea) in bromeliad tank water. **Journal of Eukaryotic Microbiology**, v. 61, n. 1, p. 2-10, 2014.
- CARRIAS, J. F. et al. A preliminary study of freshwater protozoa in tank bromeliads. **Journal of Tropical Ecology**, v. 17, n. 4, p. 611-617, 2001.
- CEREGHINO, R. et al. Ecological determinants of community structure across the trophic levels of freshwater food webs: a test using bromeliad phytotelmata. **Hydrobiologia**, v. 847, n. 2, p. 391-402, 2020.
- CESAMA. Hidrografia em Juiz de Fora. Disponível em: < <http://www.cesama.com.br/?pagina=hidrografia> > Acesso em: 10 de out. 2019.
- CHASE, J. M. Community assembly: when should history matter?. **Oecologia**, v. 136, n. 4, p. 489-498, 2003.
- CHASE, J. M. Drought mediates the importance of stochastic community assembly. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 104, n. 44, p. 17430-17434, 2007.
- CHASE, J. et al. Disentangling the importance of ecological niches from stochastic processes across scales. **Philosophical transactions of the Royal Society B: Biological sciences**, v. 366, n. 1576, p. 2351-2363, 2011.
- CHASE, J. M. Stochastic community assembly causes higher biodiversity in more productive environments. **Science**, v. 328, n. 5984, p. 1388-1391, 2010.
- CONCEIÇÃO, A. A.; PIRANI, J. R. Succession on the rocky outcrop vegetation: a rupestrian grassland scheme. In: **Ecology and Conservation of Mountaintop grasslands in Brazil**. Springer, Cham, 2016. p. 181-206.

- CONDIT, R. et al. Beta-diversity in tropical forest trees. **Science**, v. 295, n. 5555, p. 666-669, 2002.
- DA SILVA, P. T. P.; DE FARIA, A. P. G.. Biologia reprodutiva de *Aechmea blanchetiana* (baker) lb sm.(*bromeliaceae*) em um fragmento urbano de floresta atlântica do município de juiz de fora, minas gerais. *Diversidade e Gestão*, v.3, n.1, p. 63-70, 2019.
- DE BIE, T. et al. Body size and dispersal mode as key traits determining metacommunity structure of aquatic organisms. **Ecology letters**, v. 15, n. 7, p. 740-747, 2012.
- DÉZERALD, O. et al. Environmental determinants of macroinvertebrate diversity in small water bodies: insights from tank-bromeliads. **Hydrobiologia**, v. 723, n. 1, p. 77-86, 2014.
- DUARTE, A. A. et al. Seed germination of bromeliad species from the campo rupestre: thermal time requirements and response under predicted climate-change scenarios. **Flora**, v. 238, p. 119-128, 2018.
- DUARTE, G. S. C. et al. Flagellate protist abundance in phytotelmata of *Aechmea distichantha* Lem.(*Bromeliaceae*) in the upper Paraná river basin. **Acta Scientiarum. Biological Sciences**, v. 35, n. 4, p. 491-498, 2013.
- DUNTHORN, M. et al. Diversity and endemism of ciliates inhabiting Neotropical phytotelmata. **Systematics and Biodiversity**, v. 10, n. 2, p. 195-205, 2012.
- FARJALLA, V. F. et al. Ecological determinism increases with organism size. **Ecology**, v. 93, n. 7, p. 1752-1759, 2012.
- FAVRETTO, M. A. et al. Entomofauna em duas espécies de bromélias no oeste de Santa Catarina, Brasil. **EntomoBrasilis**, v. 4, n. 1, p. 10-12, 2011.
- FINLAY, B. J. Global dispersal of free-living microbial eukaryote species. **Science**, v. 296, n. 5570, p. 1061-1063, 2002.
- FOISSNER, W. et al. Diversity and geographic distribution of ciliates (Protista: Ciliophora). In: **Protist diversity and geographical distribution**. Springer, Dordrecht, 2007. p. 111-129.
- FONSECA, C. R.; CARVALHO, F. A. Aspectos florísticos e fitossociológicos da comunidade arbórea de um fragmento urbano de floresta atlântica (Juiz de Fora, MG, Brasil). **Bioscience journal**, v. 28, n. 5, 2012.
- FRANK, J. H. & LOUNIBOS, L. P. Phytotelmata: swamps or islands?. **Florida Entomologist**, p. 14-20, 1987.
- FRAZER, G. W. et al. Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. **Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies, Millbrook, New York**, v. 36, 1999.
- GASOL, J. M.; DEL GIORGIO, P.. Using flow cytometry for counting natural planktonic

- bacteria and understanding the structure of planktonic bacterial communities. **Scientia Marina**, v. 64, n. 2, p. 197-224, 2000.
- GUZMAN, L. M. et al. A precipitation gradient drives change in macroinvertebrate composition and interactions within bromeliads. **PloS one**, v. 13, n. 11, 2018.
- HAUBRICH, C. S. et al. Bottom-up regulation of bacterial growth in tropical phytotelm bromeliads. **Hydrobiologia**, v. 632, n. 1, p. 347-353, 2009.
- HAWKINS, B. A. et al. Energy, water, and broad-scale geographic patterns of species richness. **Ecology**, v. 84, n. 12, p. 3105-3117, 2003.
- HUBBELL, S. P. 2001. The unified neutral theory of biodiversity and biogeography. Princeton University Press, Princeton, New Jersey, USA.
- INMET – INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/>> Acesso em: 10 de out. 2019
- IRONS III, J. G. Life history patterns and trophic ecology of Trichoptera in two Alaskan (USA) subarctic streams. **Canadian Journal of Zoology**, v. 66, n. 6, p. 1258-1265, 1988.
- KRAFT, N. J. B et al. Community assembly, coexistence and the environmental filtering metaphor. **Functional ecology**, v. 29, n. 5, p. 592-599, 2015.
- KRAFT, N. J. et al. Disentangling the drivers of β diversity along latitudinal and elevational gradients. **Science**, v. 333, n. 6050, p. 1755-1758, 2011.
- KRATINA, P. et al. Environmental control of the microfaunal community structure in tropical bromeliads. **Ecology and evolution**, v. 7, n. 5, p. 1627-1634, 2017.
- LANGENHEDER, S. & RAGNARSSON, H. The role of environmental and spatial factors for the composition of aquatic bacterial communities. **Ecology**, v. 88, n. 9, p. 2154-2161, 2007.
- LEGAULT, G. et al. Demographic stochasticity alters expected outcomes in experimental and simulated non- neutral communities. **Oikos**, v. 128, n. 12, p. 1704-1715, 2019.
- LI, W. Cytometric diversity in marine ultraphytoplankton. *Limnology and Oceanography*, Wiley Online Library, v. 42, n. 5, p. 874–880, 1997.
- LOPEZ, L. C. S. et al. Bromeliad ostracods pass through amphibian (*Scinaxax perpusillus*) and mammalian guts alive. **Hydrobiologia**, v. 485, n. 1-3, p. 209-211, 2002.
- LOUCA, S. et al. High taxonomic variability despite stable functional structure across microbial communities. **Nature Ecology & Evolution**, v. 1, n. 1, p. 1-12, 2016.
- LOUCA, S. et al. Functional structure of the bromeliad tank microbiome is strongly shaped by local geochemical conditions. **Environmental microbiology**, v. 19, n. 8, p. 3132-3151, 2017.

MIGLIORINI, G. H et al. Leaf litter traits drive community structure and functioning in a natural aquatic microcosm. **Freshwater Biology**, v. 63, n. 4, p. 341-352, 2018.

MOORE, J. C. et al. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. **Ecology letters**, v. 7, n. 7, p. 584-600, 2004.

OSPINA-BAUTISTA, F. et al. Estructura y composición de la comunidad de macro invertebrados acuáticos asociados a *Tillandsia turneri* Baker (Bromeliaceae) en un bosque alto andino colombiano. **Acta zoológica mexicana**, v. 20, n. 1, p. 153-166, 2004.

PEREIRA, A. R. et al. Comportamento germinativo de espécies epífitas e rupícolas de Bromeliaceae do Parque Estadual do Ibitipoca, Minas Gerais, Brasil. **Brazilian Journal of Botany**, v. 32, n. 4, p. 827-838, 2009.

PEREZ, H. R. et al. Simulated drought regimes reveal community resilience and hydrological thresholds for altered decomposition. **Oecologia**, v. 187, n. 1, p. 267-279, 2018.

PETERMANN, J. et al. Resources alter the structure and increase stochasticity in bromeliad microfauna communities. **PloS one**, v. 10, n. 3, 2015.

PETERMANN, J. S. et al. Dominant predators mediate the impact of habitat size on trophic structure in bromeliad invertebrate communities. **Ecology**, v. 96, n. 2, p. 428-439, 2015.

POLIS, G. A. Why are parts of the world green? Multiple factors control productivity and the distribution of biomass. **Oikos**, p. 3-15, 1999.

POWERS, J. S. et al. Diversity and structure of regenerating tropical dry forests in Costa Rica: Geographic patterns and environmental drivers. **Forest Ecology and Management**, v. 258, n. 6, p. 959-970, 2009.

PROPS, R. et al. Measuring the biodiversity of microbial communities by flow cytometry. **Methods in Ecology and Evolution**, v. 7, n. 11, p. 1376-1385, 2016.

QIAN, H.; RICKLEFS, R. E.; WHITE, P. S. Beta diversity of angiosperms in temperate floras of eastern Asia and eastern North America. **Ecology Letters**, v. 8, n. 1, p. 15-22, 2005.

QUIROGA, M. V. et al. Bacterioplankton morphotypes structure and cytometric fingerprint rely on environmental conditions in a sub-Antarctic peatland. **Hydrobiologia**, v. 787, n. 1, p. 255-268, 2017.

Rabelo, M.; Magalhães, B. 2011. Preservação e Planejamento de Conservação da Mata do Krambeck. *Revista Geográfica de América Central* 47: 1-13.

RAMOS, G. J. P. et al. Cyanobacteria from bromeliad phytotelmata: new records, morphological diversity, and ecological aspects from northeastern Brazil. **Nova Hedwigia**, v. 108, n. 1-2, p. 51-72, 2019.

RANGEL, J. V. et al. Assessing the role of canopy cover on the colonization of

phytotelmata by aquatic invertebrates: an experiment with the tank-bromeliad *Aechmea lingulata*. **Journal of limnology**, v. 76, n. 2, 2017.

RICKLEFS, R. E.; RELYEA, R. A. **A Economia da Natureza**. 7^a. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 636, 2016.

ROCHA, C. F. D. et al. Bromeliads: biodiversity amplifiers. **Journal of the Bromeliad Society**, v. 50, n. 2, p. 81-83, 2000.

ROGY, P. et al. Complex indirect effects of epiphytic bromeliads on the invertebrate food webs of their support tree. **Biotropica**, v. 51, n. 4, p. 549-561, 2019.

ROMERO, G. Q.; SRIVASTAVA, D. S. Food-web composition affects cross-ecosystem interactions and subsidies. **Journal of Animal Ecology**, v. 79, n. 5, p. 1122-1131, 2010.

SEGOVIA, B. T. et al. Growth and cytometric diversity of bacterial assemblages under different top-down control regimes by using a size-fractionation approach. *Journal of Plankton Research*, 2018.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. *Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Fanerógamas nativas e exóticas no Brasil, baseado em APG III*. 2012.

STEINER, C. F.; LEIBOLD, M. A. Cyclic assembly trajectories and scale-dependent productivity-diversity relationships. **Ecology**, v. 85, n. 1, p. 107-113, 2004.

STROME, D. J.; MILLER, M. C. Photolytic changes in dissolved humic substances: With figures and 2 tables in the text. **Internationale Vereinigung für theoretische und angewandte Limnologie: Verhandlungen**, v. 20, n. 2, p. 1248-1254, 1978.

SUHETT, A. L. et al. O papel da foto-degradação do carbono orgânico dissolvido (cod) nos ecossistemas. **Oecologia Brasiliensis**, v. 10, n. 2, p. 6, 2006.

SULEIMAN, M. et al. Potential N₂O Emissions from the Tanks of Bromeliads Suggest an Additional Source of N₂O in the Neotropics. **Microbial ecology**, v. 73, n. 4, p. 751-754, 2017.

WANDERLEY, B. M. S. et al. flowDiv: a new pipeline for analyzing flow cytometric diversity. *BMC bioinformatics*, v. 20, n. 1, p. 274, 2019.

WELLBORN, G. A. et al. Mechanisms creating community structure across a freshwater habitat gradient. **Annual review of ecology and systematics**, v. 27, n. 1, p. 337-363, 1996.

WIACKOWSKI, K.; KOCERBA-SOROKA, W. Selective predation by a harpacticoid copepod on ciliates in phytotelmata: a laboratory experiment. **Hydrobiologia**, v. 790, n. 1, p. 13-22, 2017.