

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Rio Verde  
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação  
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação

IMPACTO DA ATIVIDADE AGRÍCOLA E DA ESTRUTURA DE  
COMUNIDADES BOTÂNICAS SOBRE A COMUNIDADE DE LIQUENS  
CORTÍCOLAS EM FRAGMENTOS DE CERRADO

Autor: Kelly Maria Zanuzzi Palharini  
Orientadora: Luciana Cristina Vitorino

Rio Verde – GO  
Fevereiro de 2020

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano - Rio Verde  
Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação  
Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação

IMPACTO DA ATIVIDADE AGRÍCOLA E DA ESTRUTURA DE  
COMUNIDADES BOTÂNICAS SOBRE A DIVERSIDADE DE LIQUENS  
CORTÍCOLAS EM FRAGMENTOS DE CERRADO

Autor: Kelly Maria Zanuzzi Palharini

Orientadora: Luciana Cristina Vitorino

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO, ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Rio Verde – Área de Concentração Conservação dos Recursos Naturais.

Rio Verde – GO  
Fevereiro de 2020

Sistema desenvolvido pelo ICMC/USP  
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Sistema Integrado de Bibliotecas - Instituto Federal Goiano**

P161i Palharini, Kelly Maria  
Impacto da atividade agrícola e da estrutura de comunidades botânicas sobre a comunidade de líquens cortícolas em fragmentos de Cerrado / Kelly Maria Palharini;orientadora Luciana Cristina Vitorino. -- , 2020.  
108 p.

Dissertação ( em Mestrado em Biodiversidade e Conservação) -- Instituto Federal Goiano, Campus , 2020.

1. Impacto. 2. Efeito de borda. 3. Parque Nacional das Emas. 4. Matriz agrícola. 5. Bioindicador. I. Vitorino, Luciana Cristina, orient. II. Título.


**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
GOIANO – CAMPUS RIO VERDE  
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E  
CONSERVAÇÃO**


**IMPACTO DA ATIVIDADE AGRÍCOLA E DA  
ESTRUTURA DE COMUNIDADES BOTÂNICAS SOBRE  
A DIVERSIDADE DE LÍQUENS CORTÍCOLAS EM  
FRAGMENTOS DE CERRADO**


Autora: Kelly Maria Zanuzzi Palharini  
Orientadora: Luciana Cristina Vitorino

*TITULAÇÃO:* Mestre em Biodiversidade e Conservação – Área de  
concentração Conservação dos Recursos Naturais.

APROVADA em 20 de fevereiro de 2020.

  
Prof.<sup>a</sup> Dr. Ueric José Borges de Souza  
*Avaliador externo*

  
Prof. Dr. Sebastião Carvalho  
Vasconcelos Filho  
*Avaliador interno*  
IF Goiano / Rio Verde

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Cristina Vitorino  
*Presidente da Banca*  
IF Goiano / Rio Verde

**TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO**

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

**Identificação da Produção Técnico-Científica**

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese  | <input type="checkbox"/> Artigo Científico              |
| <input checked="" type="checkbox"/> Dissertação                      | <input type="checkbox"/> Capítulo de Livro              |
| <input type="checkbox"/> Monografia – Especialização                 | <input type="checkbox"/> Livro                          |
| <input type="checkbox"/> TCC - Graduação                             | <input type="checkbox"/> Trabalho Apresentado em Evento |
| <input type="checkbox"/> Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ |   |

Nome Completo do Autor: Kelly Maria Zanuzzi Palharini

Matrícula: 2018102310840038

Título do Trabalho: Impacto da atividade agrícola e da estrutura de comunidades botânicas sobre a comunidade de líquens cortícolas em fragmentos de Ceerrado.

**Restrições de Acesso ao Documento**

Documento confidencial:  Não  Sim, justifique: \_\_\_\_\_

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 01/06/2020

O documento está sujeito a registro de patente?  Sim  Não

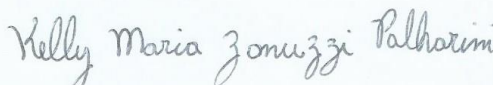
O documento pode vir a ser publicado como livro?  Sim  Não

**DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA**

O/A referido/a autor/a declara que:

- o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Rio Verde, 23 de maio de 2020.



Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:



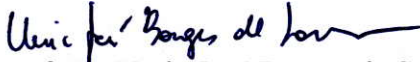
Assinatura do(a) orientador(a)



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA  
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA GOIANO  
CAMPUS RIO VERDE - GO  
DIRETORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA E INOVAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO

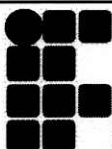
## ATA Nº 38 (TRINTA E OITO) BANCA EXAMINADORA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Aos vinte dias do mês de fevereiro do ano de dois mil e vinte, às 08:30 (oito horas e trinta minutos), reuniram-se os componentes da Banca Examinadora: Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Cristina Vitorino (orientadora), Prof. Dr. Ueric José Borges de Souza (avaliador externo) e Prof. Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos Filho (avaliador interno), sob a presidência do primeiro, em sessão pública realizada na Sala de Videoconferência do prédio da Diretoria de Pós-Graduação, Pesquisa e Inovação do IF Goiano – Campus Rio Verde, para procederem a avaliação da defesa de Dissertação, em nível de mestrado, da autoria de **Kelly Maria Zanuzzi Palharini**, discente do Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação do Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A sessão foi aberta pela presidente da Banca Examinadora, Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Cristina Vitorino, que fez a apresentação formal dos membros da Banca. A palavra, a seguir, foi concedida à autora da Dissertação para, em 30 min., proceder à apresentação de seu trabalho. Terminada a apresentação, cada membro da banca arguiu a examinada, tendo-se adotado o sistema de diálogo sequencial. Terminada a fase de arguição, procedeu-se a avaliação da defesa. Tendo-se em vista as normas que regulamentam o Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação, e procedida às correções recomendadas, a Dissertação foi **APROVADA**, considerando-se integralmente cumprido este requisito para fins de obtenção do título de **MESTRE EM BIODIVERSIDADE E CONSERVAÇÃO**, na área de concentração Conservação dos Recursos Naturais, pelo Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. A conclusão do curso dar-se-á quando da entrega na secretaria do PPGBio da versão definitiva da Dissertação, com as devidas correções. Assim sendo, a defesa perderá a validade, se não cumprida essa condição, em até 60 (sessenta) dias da sua ocorrência. A Banca Examinadora recomendou a publicação dos artigos científicos oriundos dessa Dissertação em periódicos de circulação nacional e/ou internacional, após procedida as modificações sugeridas. Cumpridas as formalidades da pauta, a presidência da mesa encerrou esta sessão de defesa de Dissertação de Mestrado, e para constar, eu, Renata Maria de Miranda Rios Resende, secretária do PPGBio, lavrei a presente Ata, que, após lida e achada conforme, será assinada pelos membros da Banca Examinadora em duas vias de igual teor.

  
Prof. Dr. Ueric José Borges de Souza  
*Avaliador externo*

  
Prof. Dr. Sebastião Carvalho Vasconcelos  
Filho  
*Avaliador interno*  
IF Goiano / Rio Verde

  
Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Luciana Cristina Vitorino  
*Presidente da Banca*  
IF Goiano / Rio Verde





## AGRADECIMENTOS

Quero agradecer, em primeiro lugar, a Deus, pela força e coragem durante toda esta longa caminhada.

Aos meus pais, Edacir e Ironice, pelos princípios, por terem papel fundamental na pessoa que me tornei, por estarem sempre a meu lado, apoiando e acreditando nos meus sonhos junto comigo.

Ao meu irmão, por toda ajuda e apoio.

Ao Eduardo, por ser personagem da minha história, me ajudando a ser uma pessoa melhor a cada dia.

Ao Arlon, pelo carinho, paciência, ajuda e por tantas vezes ter me dado força quando eu mais precisava.

À minha orientadora Luciana Cristina Vitorino, pelo apoio, paciência, compreensão, conselhos e ensinamentos de vida.

Aos meus coorientados e professores, pelo convívio e dedicação, por terem sido primordiais na execução do trabalho.

A todos os meus amigos, que, muitas vezes, mesmo distantes, trouxeram palavras de conforto e motivação.

Aos membros do Grupo de estudos pelo auxílio e aprendizado compartilhado diariamente e em nossos encontros semanais.

Ao Laboratório de Microbiologia Agrícola, pelo apoio e parceria.

Ao Programa de Biodiversidade e Conservação, pelo aprendizado, experiências e ensinamentos.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (FAPEG), pelo o apoio.

A todos os familiares e amigos que, de alguma forma, estiveram presentes nessa caminhada e torceram por mim.

Por fim, a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## BIOGRAFIA DA AUTORA

Kelly Maria Zanuzzi Palharini nasceu em Jataí, Goiás, em 04 de agosto de 1995, filha de Edacir Ângelo Palharini e Ironice Fátima Zanuzzi Palharini, agricultores, nascidos no estado do Rio Grande do Sul, morando há 31 anos em Goiás. Irmã de Douglas Zanuzzi Palharini e Tia/Madrinha de Eduardo Caetano Zanuzzi Palharini, nascidos em Jataí, Goiás. Graduada em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Goiás – Regional Jataí, concluído em abril de 2017. Teve como título de trabalho de conclusão de curso, “Uso potencial do resíduo de poda urbana na produção de painéis à base de madeira”. Fez estágio na Empresa Brasileira de Pecuária e Agricultura, na sede de Sistemas Agroflorestais, na cidade de Sinop, Mato Grosso, na área de impactos florestais e restauração de áreas degradadas. Em março de 2018, iniciou o curso de Pós-Graduação em Biodiversidade e Conservação no Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde.



## SUMARIO

	Pagina
RESUMO .....	x
ABSTRACT .....	xi
INTRODUÇÃO GERAL .....	12
1. Cerrado brasileiro .....	12
2. Matriz antrópica e estrutura da comunidade botânica .....	14
3. Comunidade liquênica .....	15
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	22
OBJETIVO GERAL.....	32
CAPÍTULO I - EFEITO DE BORDA, IMPACTO DA MATRIZ AGRÍCOLA E DA ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA SOBRE LIQUENS CORTÍCOLAS .....	33
CHAPTER I - BORDER EFFECT, IMPACT OF THE FARMING MATRIX AND OF PHYTOSOCIOLOGICAL STRUCTURE ON CORTICICOLOUS LICHENS .....	34
Abstract.....	34
1. INTRODUÇÃO .....	35
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	36
3.1 Área de amostragem .....	36
3.2 Obtenção dos dados fitossociológicos .....	39
3.3 Obtenção dos dados da comunidade liquênica.....	40
3.4 Análise estatística .....	41
3. RESULTADOS .....	42
4. DISCUSSÕES .....	53
5. CONCLUSÃO .....	57
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	57

CAPÍTULO II - LÍQUEN <i>Parmotrema tinctorum</i> COMO BIOINDICADOR DA QUALIDADE DO AR EM ÁREAS FLORESTAIS MARGEADAS POR AGRICULTURA INTENSIVA.....	64
CHAPTER II - THE <i>PARMOTREMA TINCTORUM</i> LICHEN AS AIR QUALITY BIOINDICATOR IN FOREST AREAS BORDERED BY INTENSIVE FARMING.....	65
Abstract.....	65
1. INTRODUÇÃO .....	66
2. MATERIAL E MÉTODOS .....	67
3.1 Áreas de estudo e amostragem .....	67
3.2 Avaliação dos pigmentos fotossintéticos, teor nutricional e de metais pesados .....	68
3.3 Avaliações anatômicas, concentração e alocação de alumínio nos tecidos .....	69
3.4 Análises estatísticas .....	70
3. RESULTADOS .....	70
4.1 Avaliação dos pigmentos fotossintéticos, teor nutricional e de metais pesados .....	70
4.2 Avaliações anatômicas, concentração e alocação de alumínio nos tecidos .....	76
4. DISCUSSÃO.....	81
5. CONCLUSÃO .....	83
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	84
APÊNDICES .....	89
APÊNDICES A – FIGURAS COMPLEMENTARES.....	90
APÊNDICE B – LISTA DE ESPÉCIES .....	96

## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1.** Líquen de talo crostoso com vários apotécios, GO, Brasil.

**Figura 2.** Talo folhoso sobre tronco de árvore, GO, Brasil.

**Figura 3.** Líquen fruticoso, GO, Brasil.

**Figura 4.** Líquen de talo filamentoso, GO, Brasil.

**Figura 5.** Líquen de talo dimórfico, GO, Brasil.

### Capítulo I - Efeito de borda, impacto da matriz agrícola e da estrutura fitossociológica sobre líquens cortícolas

**Figura 1.** Fragmento de Cerradão (CE) no município de Rio Verde, GO. (B) 17°19'27,5" S 51°33'25,3" W; (C) 17°20'01,6" S 51° 33' 36,58" W.

**Figura 2.** Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FESD) no município de Rio Verde, GO. (B) 17°35'18,46"S 50°47'56,60"W; (C) 17°35'23,31" S 50° 47' 51,44" W.

**Figura 3.** Fragmento de Cerrado sentido restrito (CSR) no município de Rio Verde, GO. (B) 17°31'21,10" S 50°49'31,20" W; (C) 17°31'30,1" S 50°49'29,20" W.

**Figura 4.** Fragmento de Cerrado sentido restrito no Parque nacional das Emas (PNEmas), município de Mineiros, GO. (B) 18°20'38,22" S 52°45'44,03" W; (C) 18°14'28,7" S 52°52'55,7" W.

**Figura 5.** Método de demarcação das árvores avaliadas.

**Figura 6.** Abundância de morfotipos de líquens amostrados no centro de fragmentos avaliados em diferentes fitofisionomias. PNEmas: Parque Nacional das Emas; CSR: Cerrado sentido restrito; FESD: Floresta estacional semidecidual; CE: Cerradão.

**Figura 7.** Abundância de morfotipos de líquens amostrados na borda de fragmentos avaliados em diferentes fitofisionomias. PNEmas: Parque Nacional das Emas; CSR: Cerrado sentido restrito; FESD: Floresta estacional semidecidual; CE: Cerradão.

**Figura 8.** Cobertura e riqueza do córtex dos morfotipos líquênicos, observados no centro e na borda de fragmentos avaliados em diferentes fitofisionomias, comparando três fragmentos (CE, FESD e CSR) com o observado no Parque Nacional das Emas (PNEmas). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

**Figura 9.** Com base na abundância por tipos líquênicos, riqueza, luminosidade e espécies arbóreas, foi estimado o agrupamento da distância média (UPGMA) entre as áreas de borda e centro dos quatro fragmentos de diferentes fitofisionomias estudados, em que B1 = Borda de C; C1 = Centro de C; B2 = Borda de FESD; C2 = Centro de FESD; B3 = Borda de CSR; C3 = Centro de CSR; B4 = Borda do PNEmas; e C4 = Centro do PNEmas.

## **Capítulo II - Líquen *Parmotrema tinctorum* como bioindicador da qualidade do ar em áreas florestais margeadas por agricultura intensiva**

**Figura 1.** Clorofila *a* (A), *b* (B), total (C) e razão clorofila  $a.b^{-1}$  (D), do líquen *Parmotrema tinctorum*, amostrado em áreas de Borda (B) e Centro (C) de três fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas (CE, FESD e CSR) e no PNEmas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

**Figura 2.** Clorofila *a* (A), *b* (B), total (C) e razão clorofila  $a.b^{-1}$  (D), do líquen *Parmotrema tinctorum*, amostrado em áreas de Borda (B) e Centro (C) de três fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas (CE, FESD e CSR) em

conjunto e no PNEmas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

**Figura 3.** Análise de componentes principais dos teores de macro, micronutrientes e metais pesados detectados em *Parmotrema tinctorium* amostrados em áreas de borda e centro de fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas e no PNEmas. B1: borda do fragmento CE; B2: borda do fragmento FESD; B3: borda do fragmento CSR; B4: borda do fragmento PNEmas; C1: centro do fragmento CE; C2: centro do fragmento FESD; C3: centro do fragmento CSR; C4: centro do fragmento PNEmas.

**Figura 4.** Corte transversal do talo folioso de *Parmotrema tinctorium* (Parmeliaceae), corado com azul de toluidina. A) Estrutura geral do líquen folioso heterômero, mostrando a organização em camadas, com o Córtex Superior (CS), Camada do Fotobionte (CF), Medula (M) e Córtex Inferior (CI); B) Detalhe do Córtex Superior (CS), mostrando o Epicórtex (Ep) e Fissura (F), além da Camada do Fotobionte (CF) e Medula (M); C e D) Estrutura geral com presença de Fissura (F) e Mácula (Ma), Epicórtex (Ep) e Rizina (R), além do Córtex Superior (CS), Camada do Fotobionte (CF), Medula (M) e Córtex Inferior (CI); E e F) Detalhe dos isídios em formação (I), Córtex Superior (CS), Camada do Fotobionte (CF), Medula (M) e Córtex Inferior (CI); G e H) Detalhe da Rizina (R) estruturas de fixação do líquen e Medula (M) e Córtex Inferior (CI).

**Figura 5.** Espessura das camadas anatômicas superior, medula, córtex inferior e a dimensão total, mensuradas no líquen *Parmotrema tinctorium*, amostrado em áreas de Borda (B) e Centro (C) de três fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas (C, FESD e CSR) e no PNEmas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

**Figura 6.** Espessura das camadas anatômicas superior, medula, córtex inferior e a dimensão total, mensuradas no líquen *Parmotrema tinctorium*, amostrado em áreas de Borda (B) e Centro (C) de fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas e no PNEmas. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

## Apêndices A

**Figura 1A.** Fragmento de Cerradão (CE), no município de Rio Verde, GO, margeado por agricultura intensiva.

**Figura 2A.** Visão central do fragmento Cerradão (CE), no município de Rio Verde, GO.

**Figura 3A.** Fragmento de Floresta estacional semidecidual (FESD), no município de Rio Verde, GO, margeado por agricultura intensiva.

**Figura 4A.** Visão central do fragmento de Floresta estacional semidecidual (FESD), no município de Rio Verde, GO.

**Figura 5A.** Borda do fragmento de Cerrado Sentido Restrito (CSR), no município de Rio Verde, GO.

**Figura 6A.** Visão central do fragmento Cerrado Sentido Restrito (CSR), no município de Rio Verde, GO.

**Figura 7A.** Borda do Parque Nacional das Emas (PNEmas) no município de Chapadão do Céu, GO, margeado por agricultura intensiva.

**Figura 8A.** Visão da área amostrada no centro do Parque Nacional das Emas (PNEmas), GO.

**Figura 9A.** Coleta de dados em campo. a) Dados de circunferência do caule à altura do peito (CBH) sendo coletados utilizando fita métrica. b) Medição imediata da clorofila a, b e total, utilizando-se ClorofiLOG1030<sup>®</sup>.

**Figura 10A.** Coleta de dados em campo. a) Fricções contra o córtex das árvores para a impressão da casca em papel branco b) Exemplos das versões binárias das impressões do córtex para o cálculo de da fissuração da casca (CB).

**Figura 11A.** Avaliação do pH do súber. a) Pesagem da casca das árvores em balança analítica b) 0,5 g de casca mergulhado em 5 ml de água deionizada, sendo mantidos tampados por 24 horas.

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo I - Efeito de borda, impacto da matriz agrícola e da estrutura fitossociológica sobre líquens cortícolas

**Tabela 1.** Coeficiente de correlação de Pearson <sup>®</sup> entre dados fitossociológicos (*H*, CBH, pH, CB, CT e Lum) e dados de percentual de cobertura do córtex por líquens e riqueza de morfotipos liquênicos, observados na borda e centro de fragmentos de diferentes fitofisionomias estudados. *H* = Altura; CBH = Circunferência à altura do peito; pH = pH da casca; CB = Fissura da casca; CT = Clorofila Total; Lum = Luminosidade.

**Tabela 2.** Seleção de modelos das hipóteses concorrentes para explicar o padrão de variação da cobertura total dos líquens, cobertura dos líquens na borda e no centro dos quatro fragmentos de diferentes fitofisionomias estudados. Espécie: identificação das

espécies; TC: Clorofila total; CBH: Circunferência à altura do peito; *H*: Altura; pH da casca; CB: Fissura da casca. Os modelos com  $\Delta AICc < 2$  são marcados em negrito.

**Tabela 3.** Seleção de modelos das hipóteses concorrentes para explicar o padrão de variação da riqueza total de morfotipos líquênicos, riqueza na borda e no centro dos quatro fragmentos de diferentes fitofisionomias estudados. Espécie: identificação das espécies; CT: Clorofila total; CBH: Circunferência à altura do peito; H: Altura; pH da casca; CB: Fissura da casca. Os modelos com  $\Delta AICc < 2$  são marcados em negrito.

## **Capítulo II - Líquen *Parmotrema tinctorum* como bioindicador da qualidade do ar em áreas florestais margeadas por agricultura intensiva**

**Tabela 1.** Coeficiente de correlação de Pearson (*r*) entre pigmentos fotossintéticos, metais pesados e medidas anatômicas avaliadas no líquen *Parmotrema tinctorium*, para borda, centro e total dos fragmentos estudados de diferentes fitofisionomias. CloA = Clorofila *a*; CloB = Clorofila *b*; CloT = Clorofila total; CS = Camada superior; M = Medula; CI = Camada inferior; DT = Dimensão total; As correlações significativas (*p*-valor  $< 0,05$ ) são marcados em negrito.

### **Apêndices B**

**Tabela 1B.** Espécies amostradas por família e número de cada espécie amostradas por borda e centro de cada fragmento estudado, totalizando 718 árvores amostradas. Árvores identificadas apenas a nível de gênero que apresentaram o mesmo gênero foram diferenciadas por sp1, sp2, e assim sucessivamente. Árvores identificadas apenas a nível de família foram nomeadas como não identificadas e diferenciadas por sp1, sp2, e assim sucessivamente.

## RESUMO

PALHARINI, KELLY MARIA ZANUZZI. Instituto Federal Goiano, Campus de Rio Verde, fevereiro de 2020. **Impacto da atividade agrícola e da estrutura de comunidades botânicas sobre a comunidade de líquens cortícolas em fragmentos de Cerrado.** Orientadora: Dra. Vitorino, Luciana Cristina.

Os líquens são ótimos bioindicadores de qualidade ambiental e poluição do ar, estando entre os organismos vivos mais utilizados para esse fim. As atividades conduzidas na matriz podem impactar diretamente sobre as comunidades liquênicas. Objetivou-se assim testar a existência de efeito de borda para comunidades liquênicas e o potencial do líquen *Parmotrema tinctorum* para ser utilizado como bioindicador da dispersão de poluentes, avaliando, assim, o impacto da matriz agrícola em fragmentos de Cerrado. O trabalho foi feito em fragmentos florestais margeados por agricultura intensiva, incluindo o Parque Nacional das Emas, tendo sido verificados nas árvores amostradas a frequência de diferentes morfotipos liquênicos e o percentual de cobertura por líquens totais. Foram avaliadas a concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total), a concentração de macro e micronutrientes, características anatômicas e a presença de metais pesados nos talos do líquen folhoso *Parmotrema tinctorum*. A abundância, a cobertura e a riqueza de líquens para todos os fragmentos foram maiores no centro do que sua borda. O líquen *Parmotrema tinctorum*, presente nas áreas de bordas, parece acumular nos seus tecidos quantidade maior de elementos químicos estudados que aqueles presentes nas áreas de centro. Conclui-se, assim, que existe efeito de borda para comunidades liquênicas nos fragmentos estudados e que há influência da matriz agrícola e da estrutura fitossociológica sobre a cobertura, riqueza e diversidade de morfotipos de líquens cortícolas em fragmentos de Cerrado. O líquen *Parmotrema tinctorum* mostrou potencial para ser utilizado como bioindicador da dispersão de poluentes em áreas florestais inseridas em matrizes de agricultura intensiva.

**Palavras-chave:** Impacto. Efeito de borda. Parque Nacional das Emas. Matriz agrícola. Bioindicador.



## ABSTRACT

PALHARINI, KELLY MARIA ZANUZZI. Goiano Federal Institute, Rio Verde Campus, February 2020. **Impact of farming activity and of plant community structure on the corticolous lichens diversity in forest fragments, Cerrado area (Brazilian Savannah).**

Advisor: Dr. Vitorino, Luciana Cristina.

Lichens are excellent bioindicators of environmental quality and air pollution and are among the living organisms most used for this purpose. The activities carried out at the farming matrix can directly impact on lichen communities. This paper aimed to test the existence of a border effect on lichen communities and the potential of *Parmotrema tinctorum* lichen to be used as a pollutant dispersion bioindicator, and to evaluate the farming matrix impact on forest fragments in Cerrado area (Brazilian Savannah). This study was carried out in forest fragments bordered by intensive farming, including the Emas National Park, in the states of Goiás and Mato Grosso do Sul, Brazil. The frequency of different lichen morphotypes and the percentage of coverage by total lichens were verified in the sampled trees. The concentration of photosynthetic pigment (chlorophyll a, b, and total), the macronutrients and micronutrients, the anatomical characteristics, and the presence of heavy metals in the *Parmotrema tinctorum* lichen stems were evaluated. The lichen abundance, coverage, and richness in all forest fragments were higher at their center than at their borders. *Parmotrema tinctorum* lichen present at the border areas seems to accumulate in its tissues a greater amount of the studied chemical elements than those present at the center areas. In conclusion, there are a border effect on lichen communities and influence of the farming matrix and of the phytosociological structure on the coverage, richness, and diversity of corticolous lichen morphotypes in forest fragments in Brazilian Cerrado. *Parmotrema tinctorum* lichen showed to have potential to be used as a pollutant dispersion bioindicator in forest areas inserted in matrices of intensive farming.

**Keywords:** Bioindicator. Border effect. Emas National Park. Farming matrix. Impact.

## INTRODUÇÃO GERAL

### 1. Cerrado brasileiro

O segundo maior bioma do Brasil, ocupando originalmente em torno de 23% do território nacional, o Cerrado faz conexão com a Amazônia, Caatinga, Mata Atlântica, e Pantanal, sendo considerado a savana mais rica em biodiversidade do planeta, com alto nível de endemismo das espécies biológicas, e por seu patrimônio genético, sendo uma das 25 áreas do mundo mais ameaçadas pela pressão antrópica e pelo desenvolvimento agrícola (MYERS *et al.*, 2000; SAMPAIO *et al.*, 2015).

O desmatamento acelerado nas últimas décadas para a produção agrícola e pecuária, aliado à expansão urbana, reduziu a cobertura vegetal do Cerrado, tendo sido removida mais de 50% da vegetação original, causa, por conseguinte, da alta fragmentação (SAMPALIO *et al.*, 2015). O processo de fragmentação de habitats, no mundo e no cerrado, tem tido como causa principal a expansão de atividades humanas como agricultura, pecuária, exploração florestal, mineração, urbanização, entre outras (HANSEN *et al.*, 2013; KEENAN *et al.*, 2015).

Além disso, danos ambientais como extinção da biodiversidade, invasão de espécies exóticas, erosão dos solos, poluição de aquíferos, degradação de ecossistemas, alterações nos regimes de queimadas, desequilíbrios no ciclo do carbono e possivelmente modificações climáticas regionais, entre outros, são fruto dessas transformações no Cerrado. Mesmo sendo elevada a biodiversidade do Cerrado, geralmente ela é menosprezada, pois ainda pouco se conhece sobre esta diversidade e, o que é pior, a devastação está ocorrendo de forma tão acelerada que muitas espécies poderão ser ou já foram extintas sem ao menos terem sido conhecidas. Nesse contexto, as Unidades de Conservação são fundamentais e atualmente conseguem proteger 8,44% da paisagem natural do Cerrado: cerca de 5,50% de uso sustentável e de 2,72% de Proteção integral (BRASIL, 2019; RESENDE, 2012). O termo “Cerrado” é comumente utilizado para designar o conjunto de ecossistemas (savanas, matas, campos e matas de galeria) que ocorrem no Brasil Central, assim a característica principal do Cerrado é ter diversas fitofisionomias, que variam de acordo com as características do solo, quantidade de chuva e ocorrência de queimadas (RIBEIRO *et al.*, 1981; SAMPAIO *et al.*, 2015). A variação de fitofisionomias da vegetação, que vai desde campos com arbustos espaçados e árvores

pequenas até uma formação florestal fechada, e pelas alterações sucessionais, devidas à frequência e à intensidade de impactos antrópicos (DURIGAN *et al.*, 2002; RATTER; BRIDGEWATER; RIBEIRO, 2006), tem dificultado a separação e a classificação das fitofisionomias do Cerrado, sendo assim, objeto de estudo de diferentes autores (EITEN, 1972, 1979; COUTINHO, 1978; RIBEIRO; SILVA; BATMANIAN, 1985; RIBEIRO, 1983; RIBEIRO; WALTER, 1998, 2008; OLIVEIRA FILHO; RATTER, 2002; WALTER, 2006).

Os critérios e a classificação da fitofisionomia do bioma Cerrado mais utilizados são baseados primeiramente na fisionomia, posteriormente foram considerados aspectos do ambiente como os fatores edáficos e da composição florística. No caso de tipos fitofisionômicos em que há subtipos, o ambiente e a composição florística, nesta ordem, são os critérios de separação. São descritos onze tipos principais de vegetação para o bioma, enquadrados em formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre). Considerando também os subtipos neste sistema, são reconhecidas 25 fitofisionomias (RIBEIRO; WALTER, 2008).

As fitofisionomias, designadas de formações florestais do Cerrado, englobam os tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas, com formação de dossel contínuo, cujas características fisionômicas se aproximam do observado na Mata Atlântica. O Cerradão é uma formação florestal do bioma Cerrado com características esclerófilas, caracterizado pela predominância de espécies arbóreas e arbustivas providas de folhas duras, motivo pelo qual é incluído no limite mais alto o conceito de Cerrado sentido amplo. Nas formações savânicas do Cerrado, temos o Cerrado sentido restrito, caracterizado pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas. De acordo com a estrutura abóreo-arbustiva ou com o ambiente em que se encontra, o Cerrado sentido restrito apresenta quatro subtipos: Cerrado Denso, Cerrado Típico, Cerrado Ralo e Cerrado Rupestre (RIBEIRO; WALTER, 2008).

## 2. Matriz antrópica e estrutura da comunidade botânica

A década de 1970 marcou o início de um rápido e sistemático processo de conversão da vegetação natural do Cerrado principalmente em áreas de produção de commodities agropecuárias, passando as atividades humanas a ocupar grande parte da área total do Cerrado. A substituição de grandes áreas de vegetação natural por ecossistemas diferentes, como, por exemplo, campos agrícolas, que é a atividade mais comum na região de estudo deste trabalho, levou à criação de fragmentos isolados, imersos em uma matriz antrópica (BRASIL, 2015; FRANKLIN, 1993).

A criação de fragmentos implica a formação de uma borda florestal, definida como uma região de contato entre a área ocupada (matriz antrópica) e o fragmento de vegetação natural, promovendo alteração nos parâmetros físicos, químicos e biológicos do sistema, como disponibilidade energética e fluxo de organismos entre tais ambientes (PRIMAK; RODRIGUES, 2001; WIENS *et al.*, 1993). Não só a fragmentação, mas também restaurações de áreas degradadas, feitas em pequenos fragmentos isolados, podem não ser restaurações que integrem valor ao equilíbrio das populações, já que as espécies sofrem com a influência da matriz paisagística na qual o fragmento está inserido, funcionando como barreira de movimentação, dificultando a dispersão entre fragmentos florestais, reduzindo a variabilidade genética e o fluxo gênico, o que conseqüentemente colabora com o aumento do risco de extinção (KUPFER; MALANSON; FRANKLIN, 2006; LINDENMAYER; FRANKLIN, 2002; MURCIA, 1995; PELOROSSO *et al.*, 2016; TABARELLI *et al.*, 2010). Assim, o movimento das populações entre fragmentos é importante, visto que pode manter a diversidade das espécies, restabelecer e resgatar populações em declínio e manter redes de populações pela dinâmica de metapopulações (HANSKI, 1998; TISCHENDORF; FAHRING, 2000a, b).

Além disso, as atividades conduzidas na matriz podem impactar diretamente sobre comunidades, principalmente os mais sensíveis presentes nos fragmentos, como as comunidades liquênicas. Na atividade agrícola, são utilizadas quantidades expressivas de agrotóxicos para limitar a ocorrência de ervas daninhas ou a propagação de insetos e microrganismos patogênicos (BEKETOV *et al.*, 2013; LANDRIGAN *et al.*, 2018; MÜNZE *et al.*, 2017; STEINGRÍMSDÓTTIR; PETERSEN; FANTKE, 2018). Muitos dos agroquímicos carregam metais pesados em suas formulações, que podem ser

lixiviados para ecossistemas aquáticos ou se dispersar pela ação do vento para os fragmentos de vegetação remanescente (OUYANG *et al.*, 2018).

A expansão de paisagens modificadas pelo homem pode afetar os serviços ecossistêmicos, alterando o ciclo de nutrientes, comprometendo o microclima, a água e a qualidade do ar (HADDAD *et al.*, 2015; HARDWICK *et al.*, 2015; LAMY *et al.*, 2016; PUGH *et al.*, 2012). A alteração dos parâmetros demográficos de mortalidade e natalidade de diferentes espécies de plantas, animais e, certamente, de líquens resulta em modificações na estrutura e na dinâmica das populações, causando, assim, perda de biodiversidade (SIQUEIRA, 2012; VIANA; TABANEZ; BATISTA, 1997). Com isso, análises da estrutura do ambiente são importantes para a compreensão da dinâmica das populações e das tomadas de decisões sobre ações de manejo para fins de conservação (FELFILI; VENTUROLI, 2000; RODRIGUES 1988).

### 3. Comunidade líquênica

Os líquens são conceituados como uma associação simbiótica entre algas e/ou cianobactérias e fungos. As algas verdes e cianobactérias, por realizarem fotossíntese, são chamadas de fotobiontes (*foto* = luz; *bionte* = ser vivo), enquanto os fungos constituem os micobiontes (*mico* = fungo), juntos, eles formam o talo (AHMADJIAN, 1993). O processo de associação é denominado liquenização e ocorre em mais de 20% de todas as espécies de fungos conhecidas, representando, aproximadamente, 46% dos fungos do filo *Ascomycota* (NASH, 2008). Cerca de 95% do volume do líquen é composto por micobionte, enquanto o fotobionte varia entre 5% e 15% (MARCELLI, 2006). Para sua classificação taxonômica, o nome científico do líquen corresponde ao dado ao micobionte, de acordo com o Código Internacional de Nomenclatura Botânica (CRESPO *et al.*, 2006). Essa associação simbiótica se dá porque as algas fotossintetizam e compartilham o produto com o fungo, enquanto o fungo protege as algas de influências ambientais, incluindo a radiação UV e herbivoria por meio de pigmentos corticais e medulares compostos, produzindo uma enorme variedade de metabólitos secundários (HUNECK; YOSHIMURA, 1996).

O corpo do líquen, ou seja, o conjunto de fungo e alga, é tradicionalmente denominado de talo. E quando presentes em associação, formando um talo, quando tanto o micobionte quanto o fotobionte perdem sua identidade morfológica e anatômica, assim

só podem ser reconhecidos quando o talo é seccionado e analisado ao microscópio de luz ou eletrônico. As várias formas de talos encontradas são caracterizadas por um arranjo particular de camadas corticais e têm diferentes maneiras de adesão ao substrato (HALE, 1983).

Contudo, geralmente o micobionte e o fotobionte estão bem organizados no talo, sendo sua estrutura geral composta por um córtex superior e um córtex inferior, constituídos por hifas bem entrelaçadas e compactadas, com diferentes padrões de orientação e espessura de parede. Essas hifas normalmente contêm substâncias liquênicas específicas, como pigmentos e outras substâncias coloridas, e desempenham função de proteção. Nas espécies em que o córtex inferior está presente, podem existir estruturas de fixação do líquen ao substrato, como as rizinas, formadas por prolongamentos de hifas compactadas (PURVIS, 2000). Logo abaixo do córtex superior, está a camada de fotobiontes, bem organizados e dispersos entre as hifas do fungo, cujas trocas gasosas nesta camada de atividade fotossintética são facilitadas pelos espaços no tecido frouxo da medula subjacente. Nesta camada ocorrem o contato e as trocas entre os indivíduos da simbiose. Posteriormente, encontra-se a medula, composta por hifas com grandes espaços vazios entre si. Essa camada tem a capacidade de armazenamento de água e substâncias liquênicas e também pode apresentar depósitos de cristais de oxalato de cálcio (JAHNS, 1973; SANDERS, 2001).

As variadas relações existentes entre micobionte e fotobionte fazem com que os líquens tenham uma ampla variação na anatomia e na morfologia, (XAVIER FILHO *et al.*, 2006). Eles podem ser encontrados em ambientes luminosos (espécies heliófitas) ou sombrios (espécies umbrófitas), assim como são capazes de colonizar ambientes extremos em umidade e temperatura (LEMOS; KÄFFER; MAZZITELLI, 2007). Em algumas espécies, o talo consiste em um micélio do fungo envolvendo alguns grupos de algas espalhadas pelo substrato. Este tipo de talo simples e anatomicamente pouco estruturado é chamado homômero e é característico de alguns gêneros crostosos e de alguns líquens foliosos, em que o fotobionte é uma cianobactéria do gênero *Nostoc* (HALE, 1983). O talo da maioria dos líquens é heterômero e apresenta estrutura dividida em camadas distintas, com as células de algas restritas a uma camada particular no talo (JAHNS, 1973). Além disso, os líquens variam em sua complexidade de formas de crescimento, separados basicamente em líquens crostosos (Figura 1), foliosos (Figura 2) e fruticosos (Figura 3), com algumas variações destes tipos básicos como os talos

filamentosos (Figura 4) e dimórficos (Figura 5), entre outros (BÜDEL; SCHEIDEGGER, 2008).



**Figura 1.** Líquen de talo crostoso com vários apotécios, GO, Brasil.



**Figura 2.** Talo folhoso sobre tronco de árvore, GO, Brasil.





**Figura 3.** Líquen fruticoso, GO, Brasil.



**Figura 4.** Líquen de talo filamentoso, GO, Brasil.



**Figura 5.** Líquen de talo dimórfico, GO, Brasil.

Os líquens de talo crostoso apresentam uma estrutura dorsiventral, isto é, são bastante achatados e aderidos ao substrato, formando “crostas”, como o próprio nome indica. A razão disso é que os líquens de talo crostoso não apresentam córtex inferior, e as hifas da medula é que prendem o líquen ao substrato. Líquens com o tipo de talo folioso também apresentam estrutura dorsiventral, porém geralmente apresentam um córtex inferior e estruturas próprias de fixação, como rizinas ou tomento. Além disso, apresentam lobos (divisões mais ou menos arredondadas) ou lacínias (divisões mais alongadas) bem definidas. Os líquens de talo fruticoso são formados por ramos, que lembram pequenos arbustos, que podem ser simples, divididos, cilíndricos ou achatados. O talo pode estar crescendo de forma ereta, perpendicular ao substrato, ou pendente de rochas, troncos ou galhos de árvores ou ainda prostrado em relação ao substrato. Sua estrutura interna apresenta simétrica radial ou isolateral, prendendo-se ao substrato por um ou poucos pontos denominados, muitas vezes, como oressório. O talo filamentososo é um dos tipos mais simples de talo, constituído por fios muito finos, perceptíveis a olho nu, frouxos e entrelaçados. Um gênero bastante representativo é o *Coenogonium*,

geralmente corticícola e comum nos locais mais sombreados, sendo formado por filamentos da alga verde *Trentepohlia*, envoltos por hifas do fungo. Por fim, o talo dimórfico é a combinação entre outros dois tipos de talos. O líquen pode iniciar seu desenvolvimento com apenas um tipo de talo e, posteriormente, assumir também outro tipo de talo juntamente ou o talo primário, que pode morrer, desaparecer e permanecer apenas o talo secundário. Os tipos mais comuns de combinações de talos são os crostosos-fruticosos ou escamosos-fruticosos, característicos da família Cladoniaceae (MARCELLI, 2006; SPIELMANN, 2006; XAVIER FILHO *et al.*, 2006).

Os líquens podem colonizar árvores, madeira, rocha e solo, entre outros ambientes (MCMULLIN; ANDERSON, 2014). Muitas espécies são específicas de determinado hospedeiro, exigindo tipos específicos de rochas, solo ou espécies de árvores (BRODO; SHARNOFF; SHARNOFF, 2001; PHARO; BEATTIE, 2002). Assim, os líquens desempenham papel importante no ambiente como pioneiros na colonização de substratos, secretando ácidos que degradam rochas, formando e fertilizando os solos (HONDA; VILEGAS, 1998), acarretando ciclagem de nutrientes (MILLBANK; KERSHAW, 1969; HENRIKSSON; SIMU, 1971; RYCHERT; SKUJINS, 1974; KNOPS; NASH III; SCHLESINGER, 1996), e como alimentos e habitat para vertebrados e invertebrados (SLANSKY, 1979; HESBACHER *et al.*, 1995; PETTERSSON *et al.*, 1995), fornecendo materiais de nidificação para pássaros e esquilos (HAYWARD; ROSENRETER, 1994; HILTON *et al.*, 2004), além de influenciarem na hidrologia florestal (SILLETT; ANTOINE, 2004; VAN STAN; PYPKER, 2015). Os líquens são empregados também na indústria de cosméticos, em atividades antibióticas e antitumorais (VAN HERK; APTROOT; VAN DOBBEN, 2002).

Os líquens não têm camadas protetoras, não dependem de um sistema radicular para a absorção de nutrientes, absorvendo nutrientes dispersos no ar dependendo diretamente da disponibilidade de água e luz, eles também têm ausência de estruturas de excreção (MCMULLIN *et al.*, 2017; RAVEN *et al.*, 2001). São organismos perenes, de crescimento lento, que mantêm uma morfologia razoavelmente uniforme no tempo, não perdem as partes tão prontamente quanto as plantas vasculares, ficando mais expostos às mudanças atmosféricas, têm capacidade incomum de absorver íons e substratos em concentrações além de suas necessidades, sendo os íons de metal tipicamente absorvidos de forma passiva e extracelular, ligados reversivelmente por um mecanismo de troca iônica, com isso, os líquens são ótimos bioindicadores da poluição do ar (BOCH *et al.*,

2013; KÄFFER *et al.*, 2011; MCMULLIN *et al.*, 2017; PAOLI *et al.*, 2012; VAN DER WAT; FORBES, 2015).

Essas características fazem com que os líquens sejam ótimos bioindicadores de qualidade ambiental, estando entre os organismos vivos mais utilizados para esse fim, tanto para o monitoramento passivo, quanto ativo (NIMIS; CASTELLO; PEROTTI, 1990; GARTY, 1993; MARCELLI, 2006). Além disso, os líquens funcionam como indicadores da saúde do ambiente, conservação, perturbação e alterações ambientais (ELLIS, 2012). São indicadores úteis de heterogeneidade em um ecossistema, porque o número de micro-habitats está positivamente correlacionado com o número de espécies (MCMULLIN *et al.*, 2010). Os traços funcionais dos líquens podem ser uma forma de estudo das comunidades, visto que esses traços funcionais como o tipo de fotobionte, a forma de crescimento, as estruturas reprodutivas, a presença de pigmentos corticais e metabólitos secundários estão diretamente ligados a fatores estruturais e microclimáticos da floresta, como cobertura do dossel, idade e diâmetro das árvores, estrutura da comunidade, disponibilidade de luz, espécie e até mesmo à fissura e ao pH da casca do hospedeiro, entre outros fatores, que eles podem influenciar (CLEAVITT; DIBBLE; WERIER, 2009; LI; LIU; LI, 2013; PINHO *et al.*, 2012; PRIETO *et al.*, 2017; SPRIBILLE *et al.*, 2008).

Dentre os trabalhos realizados no Brasil, destacam-se estudos sobre a diversidade de fungos liquenizados na região sudeste (BENATTI; MARCELLI, 2007; BENATTI; MARCELLI, 2008; MARCELLI, 1997; JUNGBLUTH 2006; MARCELLI *et al.*, 2011). Na região Sul, tem sido estudada também a diversidade de líquens foliosos (ELIASARO *et al.*, 2009; ELIASARO, 2010; SPIELMANN, 2006; SPIELMANN e MARCELLI, 2008) e crostosos (KÄFFER; MAZZITELLI, 2005; KÄFFER; MARCELLI; GANADE, 2010). As modificações na paisagem das florestas e as práticas de manejo influenciam fortemente a biodiversidade, tanto em termos de composição e riqueza de espécies como no tamanho das populações. No Brasil, são poucos os estudos que abordam os efeitos ambientais em áreas florestais sobre a comunidade líquênica (KÄFFER; MAZZITELLI, 2005; CÁCERES; LÜCKING; RAMBOLD, 2008; FLEIG; GRÜNINGER, 2008; KÄFFER; GANADE; MARCELLI, 2009; MARTINS; MARCELLI, 2011; KOCH; MALUF; MARTINS, 2012).

Atualmente, estudos sobre a diversidade e ecologia de líquens no Brasil são escassos, principalmente fora das regiões Sul e Sudeste (CÁCERES, 2007). Há hoje pouquíssimos profissionais especialistas em taxonomia de líquens no país, ocorrendo uma

distribuição desigual na produção científica de acordo com os grupos estudados e as regiões visitadas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMADJIAN, V. **The Lichen Symbiosis**. John Wiley & Sons, New York. 250p. 1993.

BEKETOV, M.A. *et al.* Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.110, 2013.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Mapeamento do Uso e Cobertura do Cerrado**: Projeto Terra Class Cerrado 2013. Ministério do Meio Ambiente (MMA), Brasília, 67, 2015.

BRASIL. Ministerio do Meio Ambiente. **Cadastro Nacional de Unidades de Conservação – CNUC** (2019). Disponível em: [mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs.html](http://mma.gov.br/areas-protegidas/cadastro-nacional-de-ucs.html). Acesso 23 de Abril de 2020.

BENATTI, M.N.; MARCELLI, M.P. Gêneros de fungos liquenizados dos manguezais do Sul- Sudeste do Brasil, com enfoque no manguezal do Rio Itanhaém, Estado de São Paulo. **Acta Botanica Brasílica** 21(4): 863-878, 2007.

BENATTI, M.N.; MARCELLI, M.P. Espécies de Parmotrema (Parmeliaceae, Ascomycetes liquenizados) com máculas reticulares do litoral centrosul do Estado de São Paulo, Brasil. **Hoehnea**, 35:75-90, 2008.

BOCH, S. *et al.* Richness of lichen species, especially of threatened ones, is promoted by management methods furthering stand continuity. **PLos One**, v.8, n.1, p.1-9, 2013.

BRODO, I.M.; SHARNOFF, S.D.; SHARNOFF, S. **Lichens of North America**. Yale University Press, New Haven & London. 795p., 2001.



BÜDEL, B.; SCHEIDEGGER, C. Thallus morphology and anatomy. In: NASH, T. H. (Ed.). **Lichen Biology**. 2.ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2008.

CÁCERES, M.E.S. Corticolous crustose and microfoliose lichens of northeastern Brazil. **Libri Botanici**, 22: 1-168, 2007.

CÁCERES, M.E.; LÜCKING, R.; RAMBOLD, G. Corticolous microlichens in northeastern Brazil: habitat differentiation between coastal Mata Atlântica, Caatinga and Brejos de Altitude. **The Bryologist**, 111(1): 98–117, 2008.

CLEAVITT, N.L.; DIBBLE, A.C.; WERIER, D.A. Influence of tree composition upon epiphytic macrolichens and bryophytes in old forests of Acadia National Park, Maine. **The Bryologist**, v.112, n.3. p.467-487, 2009.

COUTINHO, L.M. O conceito de cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v.1, n.1, p.17-24, 1978.

CRESPO, A. *et al.*, Sistemática e valor dos caracteres em líquens. In: XAVIER FILHO, L. *et al.* (ed.). **Biologia de Líquens**. Âmbito Cultural Edições Ltda.: Rio de Janeiro. p.471-502. 2006.

DURIGAN, G. *et al.* Caracterização de dois estrados da vegetação em uma área de cerrado no município de Brotas, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.16, n.3, p.251-262, 2002.

EITEN, G. The cerrado vegetation of Brazil. **Botanical Review**, v.38, n.2, p.201-341, 1972.

EITEN, G. Formas fisionômicas do Cerrado. **Revista Brasileira de Botânica**, v.2, n.2, p.139-148, 1979.

ELIASARO S. *et al.* Inventário de macrolíquens epífitos sobre árvores utilizadas na arborização urbana em Curitiba, Paraná, Brasil: Subsídio para biomonitoramento urbano. **Biotemas**, v.22, n. 4, p. 1-8, 2009;

ELIASARO, S. Levantamento da flora líquênica da Ilha do Mel, Paraná. **Departamento de Botânica da Universidade Federal do Paraná**, 2010;

ELLIS, C.J. Lichen epiphyte diversity: A species, community and trait-based review. **Perspectives in Plant Ecology. Evolution and Systematics**, v.14, n.2, p.131-152, 2012.

FELFILI, J.M.; VENTUROLI, F. Tópicos em análise de vegetação. **Comunicações técnicas florestais**, v.2, n.2, p.1-25, 2000.

FLEIG, M.; GRÜNINGER, W. Líquens da Floresta com Araucária no Rio Grande do Sul. Pró-Mata: Guia de Campo 3. **University of Tübingen, Germany**. 2008.

FRANKLIN, J.F. Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscapes? **Ecological Applications**, n.3, p.202-205, 1993.

GARTY, J. **Lichens as biomonitors for heavy metal pollution**. Plants as biomonitors: Indicators for heavy metals in the terrestrial environment, p.193-257, 1993.

HADDAD, N.M. *et al.* Habitat fragmentation and its lasting impact on Earth's ecosystems. **Science Advances**, v.1, n.2, 2015.

HALE, M.E., 1983. **The Biology of Lichens**. 3<sup>a</sup> ed. Arnold Editore. London.

HANSEN, M.C. *et al.* High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change. **Science**, v.342, 2013.

HANSKI, I. Metapopulation dynamics. **Nature**, v.396, n.6706, p.41, 1998.

HARDWICK S.R. *et al.* The relationship between the leaf area index and the microclimate in tropical forests and oil palm plantations: forest disturbances cause changes in the microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, 201, 187-195, 2015.



HAYWARD, G.D.; ROSENTERER, R. Lichens as nesting material for northern flying squirrels in the northern Rocky Mountains. **J. Mammal**, v.75, n.3, p.663-673, 1994.

HENRIKSSON, E.; SIMU, B. Nitrogen fixation by lichens. **Oikos**, n.22, p.119-121, 1971.

HESBACHER, S. *et al.* Sequestration of lichen compounds by three species of terrestrial snails. **J. Chem. Ecol.**, v.21, n.2, p.233-246, 1995.

HILTON, G.M. *et al.* Using artificial nests to test importance of nesting material and nest shelter for incubation energetics. **Auk**, v.121, n.3, p.777-787, 2004.

HONDA, N.K.; VILEGAS, W. A química dos líquens. **Química Nova**, n.21, p.110-125, 1998.

HUNECK, S.; YOSHIMURA, I. **Identification of lichen substances**. Springer, Berlin. 1996.

JAHNS, H. M. Anatomy, morphology and development. *In*: The Lichens. Edited by V. Ahmadjian and M.E. Hale. **New York: Academic Press**. 1973.

JUNGBLUTH, P. **A família Parmeliaceae (fungos liquenizados) em cerrados do Estado de São Paulo, Brasil**. Dissertação de mestrado. Instituto de Botânica da Secretaria de Estado do Meio Ambiente, São Paulo, 2006.

KÄFFER, M.I.; MAZZITELLI, S.M.A. Fungos liquenizados corticícolas e terrícolas da área da sub-bacia do Sinos e Taquari-Antas, RS, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, 19: 813-817, 2005.

KÄFFER, M.I.; GANADE, G.; MARCELLI, M.P. Lichen diversity and composition in Araucaria forests and tree monocultures in southern Brazil. **Biodiversity and Conservation**, 18: 3543-3561, 2009. <https://doi.org/10.1007/s10531-009-9659-6>.

KÄFFER, M.I., MARCELLI, M.P.; GANADE, G. Distribution and composition of the lichenized mycota on a landscape mosaic from southern Brazil. **Acta Botanica Brasilica**, 24: 790-802, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000300022>.

KÄFFER, M.I. *et al.* Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. **Ecol. Indic.** n.11, p.1319-1332, 2011.

KEENAN, R.J. *et al.* Dynamics of global forest area: Results from the FAO Global Forest Resources Assessment 2015. **Forest Ecology and Management**, v.352, p.9-20, 2015.

KNOPS, J. M., NASH III, T. H., & SCHLESINGER, W. H. The influence of epiphytic lichens on the nutrient cycling of an oak woodland. **Ecological Monographs**, 66(2), 159-179, 1996.

KOCH, N.M., MALUF, R.W.; MARTINS, S.M.A. Comunidade de líquens foliosos em *Piptocarpha angustifolia* Dusén ex Malme (Asteraceae) em área de Floresta Ombrófila Mista no estado do Rio Grande do Sul, Brasil. **Iheringia, Sér. Bot.** 67: 47-57, 2012.

KUPFER, J.A.; MALANSON, G.P.; FRANKLIN, S.B. Not seeing the ocean for the islands: the mediating influence of matrix-based processes on forest fragmentation effects. **Global ecology and biogeography**, v.15, n.1, p.8-20, 2006.

LAMY, T. *et al.* Landscape structure affects the provision of multiple ecosystem services. **Environmental Research Letters**, v.1, 2016.

LANDRIGAN, P. *et al.* The lancet commission on pollution and health. **Lancet**, p.462-512. 2018.

LEMOS, A.; KÄFFER, M. I.; MAZZITELLI, S.A. Composição e diversidade de líquens corticícolos em três diferentes ambientes: Florestal, Urbano e Industrial. **Revista Brasileira de Biociências**, v.5, n.2, p.228-230, 2007.

LI, S.; LIU, W.Y.; LI, D.W. Bole epiphytic lichens as potential indicators of environmental change in subtropical forest ecosystems in southwest China. **Ecol. Indic.** n.29, p.93-104, 2013.

LINDENMAYER, D.B.; FRANKLIN, J.F. **Conserving forest biodiversity: a comprehensive multiscaled approach.** Island Press, Washington, 2002.

MARCELLI, M. P. Estudo da diversidade de espécies de fungos liquenizados do Estado de São Paulo. **BIOTA São Paulo. São Paulo, Fundação André Toselo**, 1-12, 1997.

MARCELLI, M.P. Fungos Liquenizados. *In*: XAVIER FILHO, L. *et al.* (ed.). **Biologia de Líquens.** Âmbito Cultural Edições Ltda.: Rio de Janeiro. p.471-502. 2006.

MARCELLI, M.P. *et al.* **Taxonomical novelties in Parmeliaceae.** *Bibliotheca Lichenologica*: 106: 211-224, 2011.

MARTINS, S.M.A.; MARCELLI, M.P. Specific distribution of lichens on *Dodonaea viscosa* L. in the restinga area of Itapuã State Park in Southern Brazil. **Hoehnea**, 38: 397-411, 2011.

MCMULLIN, R.T.; ANDERSON, F. **Lichens Comuns do Nordeste da América do Norte.** New York Botanical Garden Press, Bronx, N. York, 2014.

MCMULLIN, R.T. *et al.* Relationships between the structural complexity and lichen community in coniferous forests of southwestern Nova Scotia. *For. Ecol. Manage.* 260, 744–749, 2010.

MCMULLIN, R.T. *et al.* Ten years of monitoring air quality and ecological integrity using field-identifiable lichens at Kejimikujik National Park and National Historic Site in Nova Scotia, Canada. **Ecological indicators**, v.81, p.214-221, 2017.

MÜNZE, R. *et al.* Pesticides from wastewater treatment plant effluents affect invertebrate communities. **Science of the Total Environment**, v.599, p.387-399, 2017.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in ecology and evolution**, v.10, n.2, p.58-62, 1995.

MYERS, N. *et al.* Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v.403, n.6772, p.853, 2000.

NASH, T.H. **Lichen Biology**. Cambridge: University Press. 2<sup>nd</sup> ed., 2008.

NIMIS, P. L.; CASTELLO, M.; PEROTTI, M. Lichens as biomonitors of sulphur dioxide pollution in La Spezia (Northern Italy). *The Lichenologist*, v.22, n.3, p.333-344, 1990.

OLIVEIRA-FILHO, A.T.; RATTER, J.A. Vegetation physiognomies and woody flora of the Cerrado biome. *In*: OLIVEIRA, P.S.; MARQUIS, R.J. (ed.) **The cerrados of Brazil: ecology and natural history of a neotropical savanna**. New York: Columbia University, Columbia University Press, p.91-120, 2002.

OUYANG, W. *et al.* Heavy metal loss from agricultural watershed to aquatic system: A scientometrics review. **Science of the Total Environment**, v.637, p.208-220, 2018.

PAOLI, L. *et al.* Long-term biological monitoring of environmental quality around a solid waste landfill assessed with lichens. **Environmental pollution**, v.161, p.70-75, 2012.

PELOROSSO, R. *et al.* Evaluation of Ecosystem Services related to Bio-Energy Landscape Connectivity (BELC) for land use decision making across different planning scales. **Ecological indicators**, v.61, p.114-129, 2016.

PETTERSSON, R.B. *et al.* Invertebrate communities in boreal forest canopies as influenced by forestry and lichens with implications for passerine birds. **Biol. Conserv.**, v.74, n.1, p.57-63, 1995.

PINHO, P. *et al.* Lichen functional groups as ecological indicators of the effects of land-use in Mediterranean ecosystems. **Ecol. Indic.**, n.15, p.36-42, 2012.

PRIMAK, R.B.; RODRIGUES, E. **Biologia da Conservação**. Londrina, Midiograf. 2001.

PRIETO, M. *et al.* Phylogenetic and functional structure of lichen communities under contrasting environmental conditions. **J. Veg. Sci.**, n. 28, p.871-881, 2017.

PUGH, T.A.M. *et al.* Effectiveness of green infrastructure for improvement of air quality in urban street canyons. **Environmental science & technology**, v.46, n.14, p.7692-7699, 2012.

PURVIS, W. **Lichens**. Washington: Smithsonian Institution Press, 2000.

RATTER, J.A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, F. Biodiversity patterns of the woody vegetation of the Brazilian Cerrado. *In*: PENNINGTON; R.T.; LEWIS, G.P.; RATTER, J.A. (ed.) **Neotropical savannas and seasonally dry forests: plant diversity, biogeography and conservation**. London, Taylor e Francis, p.31-66, 2006.

RESENDE, N. D. Cerrado: Ecologia, Biodiversidade e Preservação. **Revista Brasileira de Educação e Cultura. São Gotardo, Minas Gerais**, 2012.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofitofisionomia do Bioma Cerrado. *In*: SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. (ed.) **Cerrado: ambiente e flora**. Brasília: Embrapa, p.89-166, 1998.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. As principais fitofisionomias do bioma Cerrado. **Cerrado: ecologia e flora**. Planaltina, DF, EMBRAPA-CPAC, p.152-202, 2008.

RIBEIRO, J.F. *et al.* Os principais tipos fitofisionômicos da região dos Cerrados. Brasília: Embrapa, (**Boletim de Pesquisa**, 21), 28p. 1983.

RIBEIRO, J.F.; SILVA, J.C.S.; BATMANIAN, G.J. Fitossociologia de tipos fisionômicos de cerrado em Planaltina, DF. **Revista Brasileira de Botânica**, v.8, n.2, p.131-142, 1985.

RIBEIRO, J.F. *et al.* Aspectos fenológicos de espécies nativas do Cerrado. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE BOTANICA, Teresina, PI: Anais. Teresina: Sociedade Botânica do Brasil, 32, p.181-198, 1981.

RODRIGUES, R.R. Métodos fitossociológicos mais usados. **Casa da Agricultura**, v.10, n.1, p.20-24, 1988.

SAMPAIO, A.B. *et al.* Guia de restauração do Cerrado: v.1: semeadura direta. Embrapa Cerrados - **Livros técnicos (INFOTECA-E)**, 2015.

SANDERS, W.B. Lichens: the interface between Mycology and Plant Morphology. **BioScience**, 51 (12): 1025-1035, 2001.

SILLETT, S.C.; ANTOINE, M.E. Líquenes e briófitas em dosséis florestais. **Dosséis florestais**, p.151-174. 2004.

SIQUEIRA, M. N. **Avaliação geocológica do processo de fragmentação dos remanescentes de cerrado na sub-bacia do rio das Garças (MT)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Humanas) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 136 f. 2012.

SPIELMANN, A.A. Checklist of lichens and lichenicolous fungi of Rio Grande do Sul (Brazil). **Caderno de Pesquisa, Série Biologia**. 18: 7-125, 2006.

SPIELMANN, A.A.; MARCELLI, M.P. Parmeliaceae (Ascomycota liquenizados) nos barrancos e peraus da encosta da Serra Geral, Vale do rio Pardo, Rio Grande do Sul, Brasil. I. Introdução e chave para gêneros. **Iheringia, Série Botânica**, 63: 159-169, 2008.

SPRIBILLE, T. *et al.* Lichens on dead wood: species substrate relationships in the epiphytic lichen floras of the Pacific Northwest and Fennoscandia. **Ecography**, v.31, n.6, p.741-750, 2008.

STEINGRÍMSDÓTTIR, M.M.; PETERSEN, A.; FANTKE, P. A screening framework for pesticide substitution in agriculture. **Journal of Cleaner Production**, v.192, 2018.

TABARELLI, M. *et al.* Prospects for biodiversity conservation in the Atlantic Forest: lessons from aging human-modified landscapes. **Biological Conservation**, v.143, n.10, p.2328-2340, 2010.

TISCHENDORF, L.; FAHRIG, L. How should we measure landscape connectivity? **Landscape ecology**, v.15, n.7, p.633-641, 2000a.

TISCHENDORF, L.; FAHRIG, L. On the usage and measurement of landscape connectivity. **Oikos**, v.90, n.1, p.7-19, 2000b.

VAN DER WAT, L.; FORBES, P.B.C. Lichens as biomonitors for organic air pollutants. **Trac Trends in Analytical Chemistry**, v.64, p.165-172, 2015.

VAN HERK, C.M.; APTROOT, A.; VAN DOBBEN, H.F. Long-term monitoring in the Netherlands suggests that lichens respond to global warming. **The Lichenologist**, v.34, n.2, p.141-154. 2002.

VAN STAN, J.T.; PYPKER, T.G. A review and evaluation of forest canopy epiphyte roles in the partitioning and chemical alteration of precipitation. **Sci. Total Environ**, n.536, p.813-824, 2015.

VIANA, V. M; TABANEZ, A. A. J; BATISTA, J. L. F. Dynamics and restoration of forest fragments in the Brazilian Atlantic moist forest. In: **Tropical forest remnants: ecology, management, and conservation of fragmented communities**, 1997.

XAVIER FILHO, L. *et al.* Biologia de liquens. Rio de Janeiro, RJ. Âmbito Cultural, 2006, 624 p. changes in microclimate. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.201, p.187-195, 2015.

WALTER, B.M.T. **Fitofitofisionomias do Bioma Cerrado**: síntese terminológica e relações florísticas. 2006. 389f. Tese (Doutorado em Ecologia) - Universidade de Brasília, Brasília, 2006.

WIENS, J.A. *et al.* Ecological mechanisms and landscape ecology. **Oikos**, n.66, p.369-380. 1993.



## OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho foi verificar a existência de efeito de borda para comunidades liquênicas e avaliar o impacto da matriz agrícola e da estrutura fitossociológica sobre os líquens cortícolas em fragmentos de Cerrado.

# CAPÍTULO I - EFEITO DE BORDA, IMPACTO DA MATRIZ AGRÍCOLA E DA ESTRUTURA FITOSSOCIOLÓGICA SOBRE LIQUENS CORTÍCOLAS

## Resumo

Em ambientes florestais, a fragmentação tem sido o principal fator de alterações na comunidade liquênica, e com o efeito de borda, principalmente nas bordas dos fragmentos, podem ocorrer perda de diversidade liquênica e/ou dominância de espécies mais resistentes a ambientes perturbados ou poluídos. A estrutura dos substratos é outro fator que pode influenciar na presença de líquens cortícolas. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é testar a existência de efeito de borda para comunidades liquênicas e avaliar o impacto da matriz agrícola e da estrutura fitossociológica sobre a cobertura, riqueza e diversidade de formas de crescimento de líquens cortícolas em fragmentos de Cerrado. A abundância de líquens para todos os fragmentos foi superior no centro do que na sua borda, não tendo ocorrido morfotipos considerados altamente sensíveis a perturbações nas áreas de borda, deixando este efeito evidente. Os fatores estudados pH, CB e CBH e luminosidade influenciaram no percentual de cobertura e riqueza liquênica. Conclui-se que há efeito de borda para comunidades liquênicas nos fragmentos estudados e influência da matriz agrícola e da estrutura fitossociológica sobre a cobertura, riqueza e diversidade de morfotipos de líquens cortícolas em fragmentos de Cerrado. Por consequência, os líquens podem ser utilizados como bioindicadores, inclusive para identificação do efeito de borda, e vários fatores do ambiente podem influenciar na cobertura e riqueza liquênica, alterando a dinâmica da comunidade desses seres vivos.

**Palavras-chave:** Matriz agrícola. Agricultura intensiva. Efeito de borda. Cerrado. Líquens cortícolas.

# CHAPTER I - BORDER EFFECT, IMPACT OF THE FARMING MATRIX AND OF PHYTOSOCIOLOGICAL STRUCTURE ON CORTICICOLOUS LICHENS

## Abstract

In forest environments, fragmentation has been the main changing factor in the lichen community with the border effect, especially at the fragment borders, and lichen diversity loss and/or species dominance more resistant to disturbed or polluted environments may occur. The substrate structure is another factor that can influence the presence of corticolous lichens. Thus, this paper aimed to test the existence of border effect on lichen communities and to evaluate the farming matrix impact and the phytosociological structure on the coverage, richness, and diversity on corticolous lichen growth forms in forest fragments in Cerrado (Brazilian Savannah). The lichen abundance in all forest fragments was higher at their center than at their border, and there was no occurrence of morphotypes considered highly sensitive to disturbances at the border areas, making the border effect evident. The pH, CB, and CBH factors studied, and luminosity influenced the percentage of coverage and lichen richness. It is concluded that there is a border effect on lichen communities in the studied fragments, and that the farming matrix and the phytosociological structure influence on the coverage, richness, and diversity of corticolous lichen morphotypes in forest fragments in Brazilian Cerrado. Thus, lichens can be used as bioindicators, including the ability to identify the border effect, and many environmental factors can influence the coverage and lichen richness, changing the community dynamics of these living organisms.

**Keywords:** Border effect. Cerrado (Brazilian Savannah). Corticolous lichens. Farming matrix. Intensive farming.

## 1. INTRODUÇÃO

As características morfológicas, anatômicas e fisiológicas dos líquens fazem com que eles sejam organismos sensíveis a qualquer alteração sofrida no ambiente (LUBEK *et al.*, 2018). Em ambientes florestais, a fragmentação tem sido o principal fator de alterações na comunidade liquênica, já no ambiente urbano e industrial, a poluição atmosférica é um dos principais fatores modificadores da diversidade e da vitalidade dos líquens. (LEMOS; KAFFER; MARTINS, 2007; WERTH, 2001; WILL-WOLF *et al.*, 2002).

A fragmentação florestal é a separação de grandes áreas florestais em pequenas áreas, separadas por matrizes distintas da original, como, por exemplo, a matriz agrícola, sendo uma das principais causas da perda de biodiversidade e de alterações físicas, químicas e biológicas no ambiente (MURCIA, 1995). Entre os fenômenos biológicos de impacto associados à fragmentação florestal, o efeito de borda tem sido um dos mais importantes (EWERS; DIDHAM, 2006; 2008). Com isso, principalmente nas bordas dos fragmentos, pode ocorrer perda de diversidade liquênica e/ou haver dominância de espécies mais resistentes a ambientes perturbados ou poluídos (BRUNIALTI; GIORDANI, 2003; JÜRIADO; PAAL; LIIRA, 2003).

O efeito de borda pode ter dois níveis. O primeiro é o efeito abiótico, que corresponde a mudanças nas condições ambientais, como temperatura e umidade, aumento da intensidade de luz, maior incidência de ventos. O segundo é o efeito biológico direto e indireto, que corresponde a alterações na abundância e na distribuição de espécies, causadas diretamente por alterações físicas próximas à borda e por mudanças nas interações entre as espécies, como predação, parasitismo, competição, herbivoria e dispersão de sementes, comprometendo, assim, a dinâmica e a biodiversidade do ambiente (DUPUCH; FORTIN, 2013; MURCIA, 1995).

A estrutura dos substratos é outro fator como os níveis de umidade, textura, pH, espécies de árvores e as características do ambiente (luz, conservação, perturbação e alterações ambientais) que pode influenciar na presença de líquens cortícolas. (CLEAVITT; DIBBLE; WERIER, 2009; MARCELLI, 1996; SPRIBILLE *et al.*, 2008). Ranius *et al.* (2008) afirmam que a composição de líquens cortícolas pode ser alterada diante do fator fissura da casca, visto que alguns líquens preferem córtex mais velhos e fissurados, enquanto outros buscam córtex mais novos e lisos, evidenciando também a

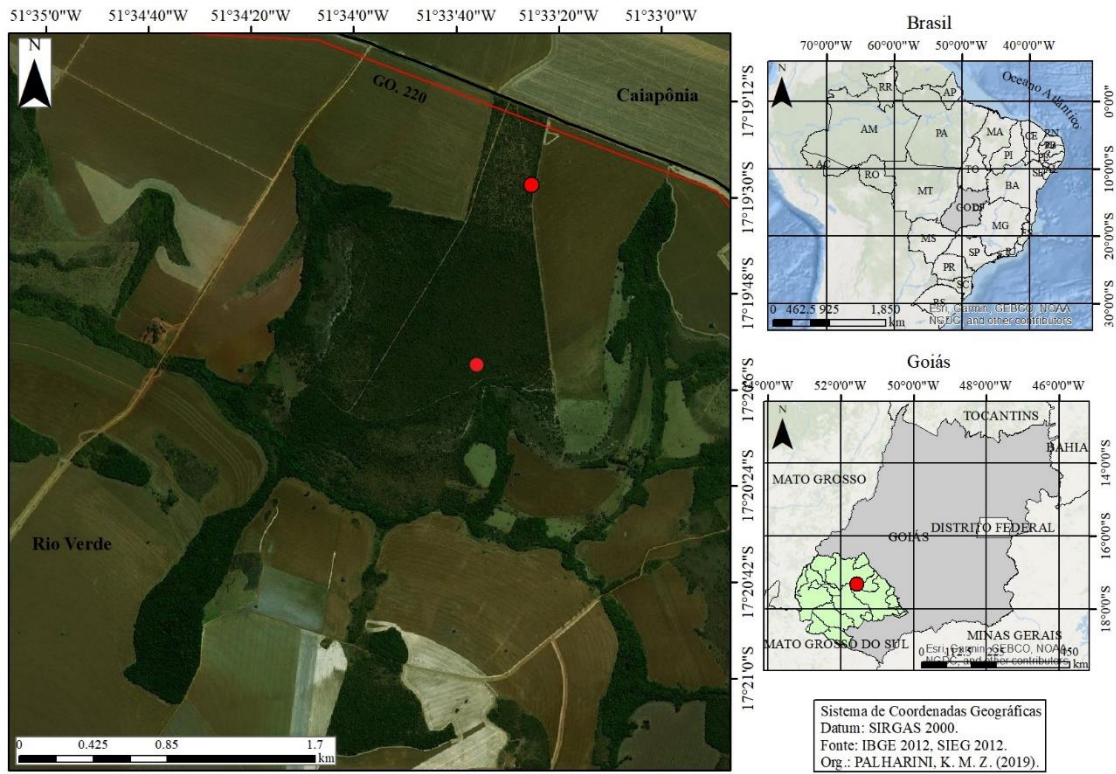
interferência da idade das plantas. A idade das plantas utilizadas como substrato para os líquens interfere na comunidade liquênica, pois árvores mais velhas tendem a ter uma área de superfície maior para colonização por um número maior de espécies e comunidades únicas de líquenes (KANTVILAS; MINCHIN, 1989; MCMULLIN *et al.*, 2008; RANIUS *et al.*, 2008).

Com isso, percebemos que essas interações citadas acima, que ocorrem nos fragmentos florestais, pela fragmentação e pelo efeito de borda, necessitam ser mais bem estudadas para poderem auxiliar no monitoramento ambiental e no manejo da biodiversidade de fragmentos florestais (ALIGNIER; DECONCHAT, 2013; DUPUCH; FORTIN, 2013; HARPER *et al.*, 2005; MURCIA, 1995). Este trabalho testou a existência de efeito de borda para comunidades liquênicas e avaliar o impacto da matriz agrícola e da estrutura fitossociológica sobre a cobertura, riqueza e diversidade de formas de crescimento de líquens cortícolas em fragmentos de Cerrado.

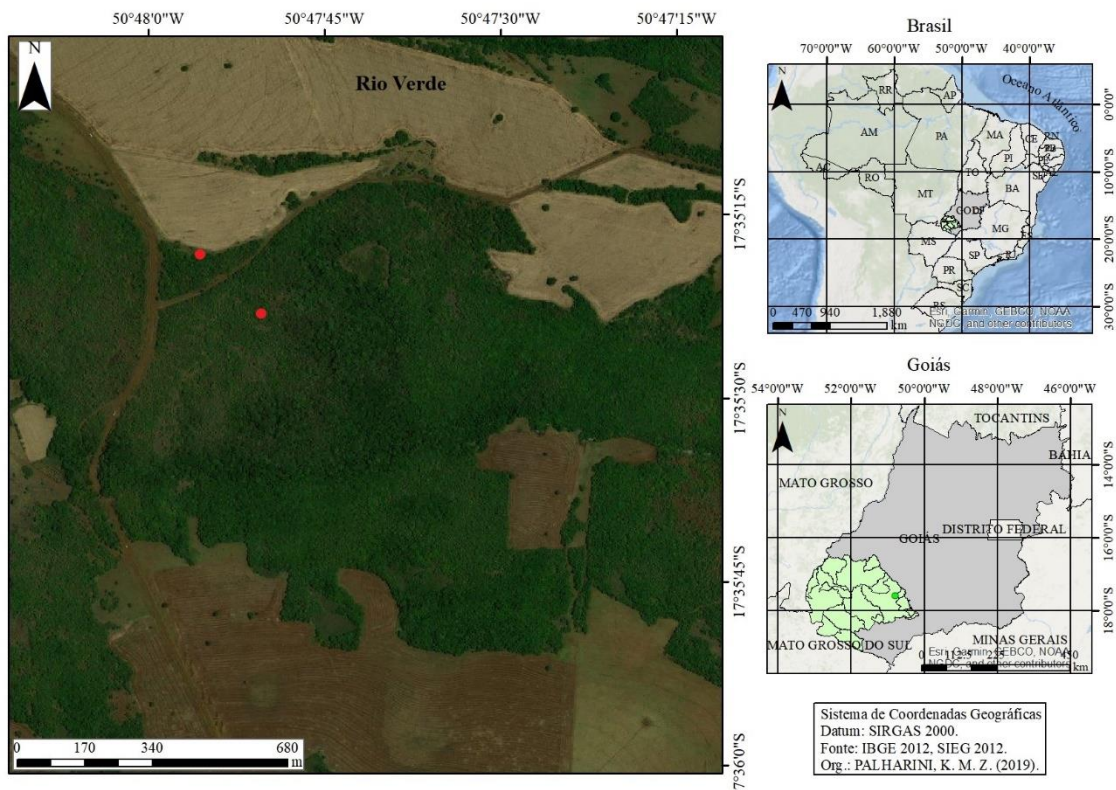
## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Área de amostragem

A amostragem foi feita em quatro fragmentos vegetacionais, três na zona rural do município de Rio Verde, com as coordenadas da Borda (B) 17°19'27,5" S 51°33'25,3" W; Centro (C) 17°20'01,6" S 51°33'36,58" W (Figura 1 – CE), Borda (B) 17°35'18,46" S 50°47'56,60" W; Centro (C) 17°35'23,31" S 50°47'51,44" W (Figura 2 – FESD) e Borda (B) 17°31'21,10" S 50°49'31,20" W; Centro (C) 17°31'30,1" S 50°49'29,20" W (Figura 3 – CSR), e no Parque Nacional das Emas, Borda (B): 18°20'38,22" S 52°45'44,03" W; Centro (C): 18°14'28,7" S 52°52'55,7" W (Figura 4 – PNEmas), todos localizados na região sudoeste do estado de Goiás. Foram selecionados fragmentos com histórico de serem margeados por agricultura intensiva por mais de 10 anos corridos, tendo essa margem pelo menos 500 m de extensão, em linha reta, medida depois da borda do fragmento.

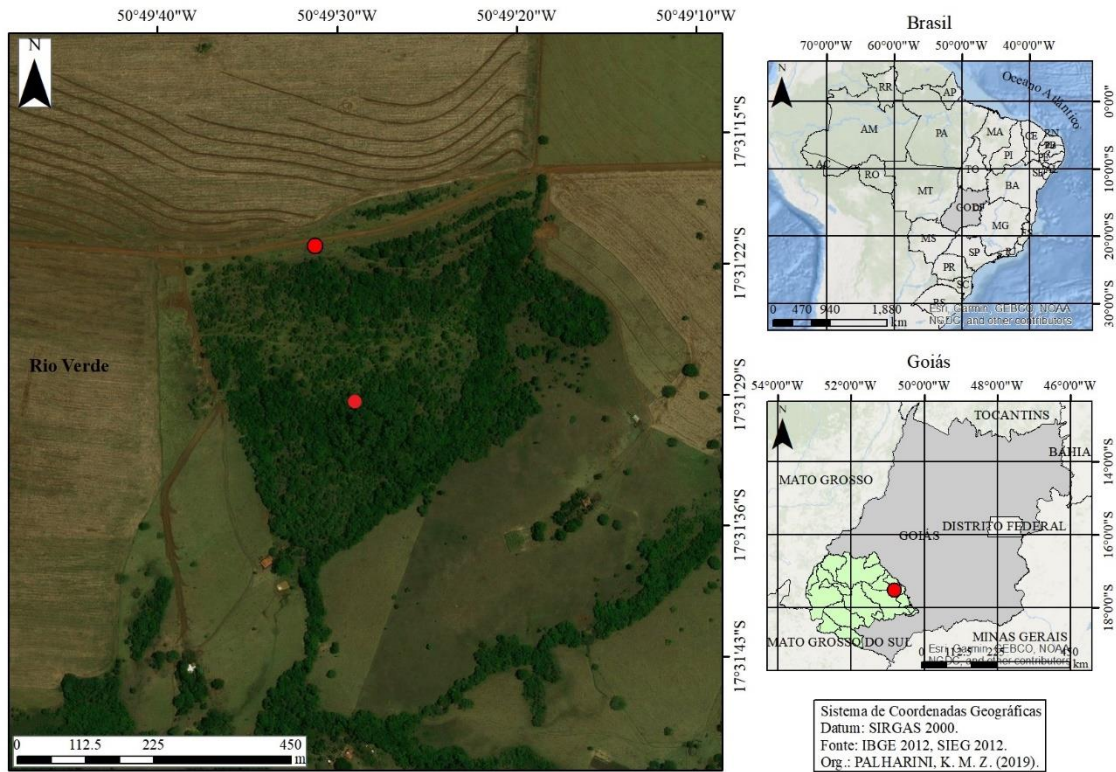


**Figura 1.** Fragmento de Cerradão (CE) no município de Rio Verde, GO. (B)  $17^{\circ}19'27,5''$  S  $51^{\circ}33'25,3''$  W; (C)  $17^{\circ}20'01,6''$  S  $51^{\circ}33'36,58''$  W.

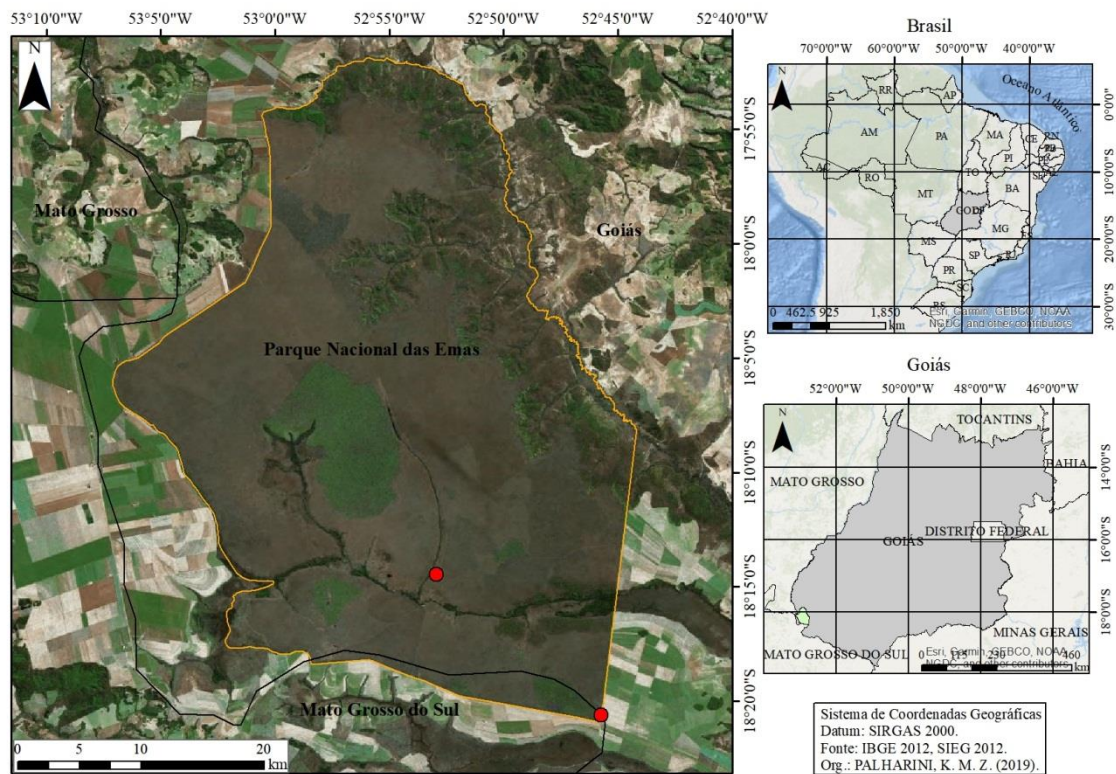


**Figura 2.** Fragmento de Floresta Estacional Semidecidual (FESD) no município de Rio Verde, GO. (B)  $17^{\circ}35'18,46''$  S  $50^{\circ}47'56,60''$  W; (C)  $17^{\circ}35'23,31''$  S  $50^{\circ}47'51,44''$  W.





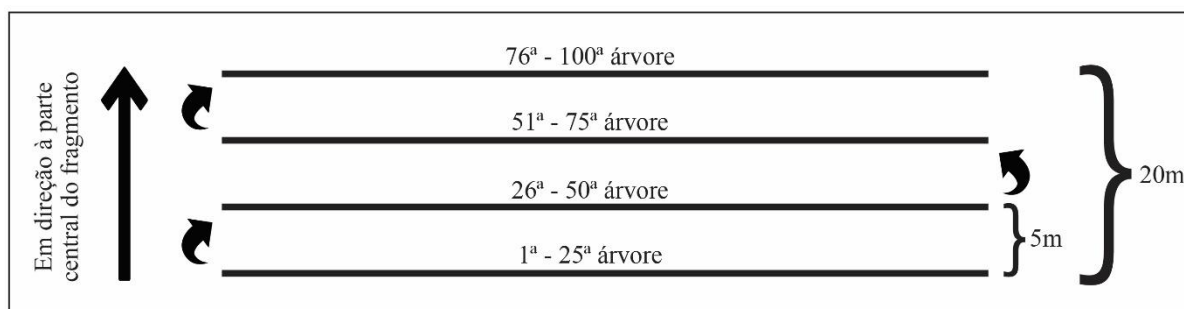
**Figura 3.** Fragmento de Cerrado sentido restrito (CSR) no município de Rio Verde, GO. (B)  $17^{\circ}31'21,10''$  S  $50^{\circ}49'31,20''$  W; (C)  $17^{\circ}31'30,1''$  S  $50^{\circ}49'29,20''$  W.



**Figura 4.** Fragmento de Cerrado sentido restrito no Parque nacional das Emas (PNEmas), município de Mineiros, GO. (B)  $18^{\circ}20'38,22''$  S  $52^{\circ}45'44,03''$  W; (C)  $18^{\circ}14'28,7''$  S  $52^{\circ}52'55,7''$  W.

## 2.2 Obtenção dos dados fitossociológicos

Em cada fragmento, 200 árvores foram demarcadas com placas de alumínio para controle de identificação, 100 árvores demarcadas ao centro e 100 na borda do fragmento. A demarcação (Figura 5) foi feita aleatoriamente, seguindo sempre em linha reta da 1ª até a 25ª árvore, em seguida, a 5 m de distância da 25ª árvore, em direção à parte central do fragmento, e seguindo em sentido contrário à primeira linha de marcação, tendo sido demarcadas as árvores de 26ª até a 50ª. A partir dessa linha, foi estabelecida outra, em sentido contrário e, assim, sucessivamente, até ser atingida a 100ª árvore.



**Figura 5.** Método de demarcação das árvores avaliadas.

Para cada árvore amostrada, foram coletados dados de altura ( $H$ ) em metros, circunferência do caule à altura do peito (CBH) em cm e o índice das clorofilas  $a$ ,  $b$  e total (TC) das folhas de cada árvore, considerando para critério de amostragem somente árvores que a 30 cm do solo tinham circunferência maior do que 10 cm. A  $H$  foi estimada visualmente, utilizando como parâmetro de comparação, uma estaca de altura conhecida. Os dados de CBH foram coletados utilizando fita métrica, e o índice dos pigmentos foliares total foi determinado por medidor portátil do tipo ClorofiLOG1030® (Falker®, Porto Alegre, RS, Brasil), sendo expresso como índice de clorofila Falker (ICF). A identificação das espécies vegetais foi feita em campo quando possível, quando não, as amostras foram coletadas com o auxílio de um podão e prensadas em exsiccatas para posterior identificação. A identificação foi feita por meio de bibliografia especializada (JUNIOR, 2012; JUNIOR E PEREIRA, 2012; KUHLMANN, 2018) e consulta a botânicos. Foi utilizado o sistema de classificação APG IV (2016), e os nomes científicos conferidos de acordo com a base de dados da Flora do Brasil (<http://floradobrasil.jbrj.gov.br>).

Além disso, foram avaliados o pH e o grau de fissuração das cascas (CB) das árvores. Para avaliação do pH, para cada árvore, foi obtida uma amostra de,



aproximadamente, 5 x 2,5 cm de casca, garantindo-se que apenas a camada superficial mais externa seria removida (KRICKE, 2002). Posteriormente, as amostras de casca foram quebradas manualmente em pedaços de, aproximadamente, 0,5 x 0,5 cm, sendo removidos os resíduos de líquen ou seiva de cada amostra. Posteriormente, 0,5 g de cada casca foram tratados com 5 ml de água deionizada, segundo metodologia de Kricke (2002). Para evitar que o CO<sub>2</sub> atmosférico fosse dissolvido em água, as amostras permaneceram tampadas por 24 horas. Posteriormente, elas foram filtradas, e a medição do pH feita no líquido filtrado com o auxílio de um pHmetro de bancada.

Para avaliar os efeitos da fissuração da casca (CB) na composição da comunidade de líquens, o grau de fissuração foi estimado utilizando as impressões da casca em papel branco pressionado contra a casca. Neste papel, foi friccionado um carvão ao longo de uma seção de 5 cm x 7 cm. As fissuras da casca foram amostradas no caule, em áreas com o mínimo de resíduo líquênico e seiva. Posteriormente, foi utilizado o software de tratamento de imagens ImageJ (National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) (FERREIRA E RASBAND, 2010) para estimar o percentual da área da casca correspondente à fissura. Para isso, os papéis utilizados na impressão das fissuras foram digitalizados para 5 x 5 cm (25 cm<sup>2</sup>), sendo esta área retirada do centro da fricção para padronizar a área friccionada avaliada. Na área friccionada obtida, a cor foi transformada em preto binário e calculada a porcentagem de pixels brancos em cm<sup>2</sup>, sendo está a porcentagem da casca correspondente à fissura.

Em cada fragmento analisado, no centro e borda, foi verificada a intensidade luminosa (Lum), utilizando luxímetro digital MLM-1011 Mimipa®. Os dados foram obtidos em cinco pontos escolhidos aleatoriamente dentro da área amostrada.

### 2.3 Obtenção dos dados da comunidade líquênica

Foram verificados nas árvores amostradas a frequência de diferentes morfotipos líquênicos e o percentual de cobertura por líquens totais. Foram considerados os morfotipos líquênicos crostoso, folioso, fruticoso, dimórfico e filamentoso. A cobertura dos líquens foi estimada em termos percentuais de recobrimento dos sets e, posteriormente, obtida a média de cobertura para cada tronco. O percentual de cobertura do córtex por líquens foi estimado visualmente dentro de três sets de 10 cm × 15 cm localizadas em três alturas (0-50 cm, 51-150 cm, 151-200 cm), posicionados na árvore em direção à borda do fragmento. Os dados de frequência dos morfotipos líquênicos

foram utilizados para estimar a abundância, a riqueza e a diversidade de Shannon-Weaver destes tipos nas diferentes áreas avaliadas. O índice de diversidade de Shannon-Wiener foi estimado pela fórmula:

$$H' = - \sum_{i=1}^S pi \ln(pi)$$

Em que:

$pi$  = abundância relativa de cada morfotipo liquênico, calculada da seguinte forma:  $ni/N$

$ni$  = O número dos indivíduos em cada morfotipo; ou seja, a abundância de cada morfotipo.

$N$  = O número total de todos os indivíduos:  $\sum_{i=1}^S ni$

$S$  = O número de morfotipos, chamado também de riqueza.

### 3.4 Análise estatística

Foram feitas comparações centro X borda de cada fragmento avaliado e Fragmentos (CE, FESD e CSR) X Parque Nacional das Emas (PNEmas), utilizando os dados de cobertura do córtex por líquens e riqueza de morfotipos liquênicos. Para isso, os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), e as médias, comparadas pelo teste Tukey ao nível de 5% de significância.

Os dados obtidos para Centro e Borda dos fragmentos para as variáveis de estrutura fitossociológica (H, CBH, pH, CB, CT e Lum) e de estrutura das comunidades liquênicas (cobertura e riqueza) foram avaliados pelo coeficiente de correlação de Pearson ®, sendo a força da relação analisada pelos valores de r e da significância da interação a 5% de probabilidade.

Foi avaliado o efeito dos dados de estrutura fitossociológica bem como do tipo de espécie vegetal sobre a cobertura e riqueza de líquens, usando *Generalized Linear Mixed Models* – GLMM. Utilizamos como variáveis explanatórias Espécie, CBH, H, pH, CT e CB. Foram construídas vários modelos com a combinação destas variáveis, além de um modelo nulo para verificar se efeitos aleatórios também poderiam explicar as variáveis de resposta. As variáveis de estrutura fitossociológica foram ajustadas

como fatores aleatórios, e a espécie, considerada fator fixo. As análises foram feitas utilizando *MCMCglmm package* (HADFIELD, 2010), implementado no R versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019). Para selecionar qual modelo melhor explica a variação

observada nos parâmetros liquênicos dos fragmentos, foram utilizados o *Akaike Information Criteria* (AIC) e o Delta AICci ( $\Delta AIC_{ci}$ , em que *i* representa cada modelo), calculado como a diferença entre o AICc para o modelo *i* e o menor AICc observado, em que o modelo com o menor AICc (AIC corrigido pelo tamanho da amostra e número de parâmetros) foi considerado o mais plausível para explicar os padrões observados (BURNHAM e ANDERSON, 2002). Determinamos também o peso da evidência de Akaike ( $wAIC_{ci}$ ), representando a contribuição relativa do modelo *i* para explicar o padrão observado, dado um conjunto de modelos concorrentes. Modelos com  $\Delta AIC_{ci} < 2$  foram considerados igualmente plausíveis para explicar o padrão observado (BURNHAM e ANDERSON, 2002).

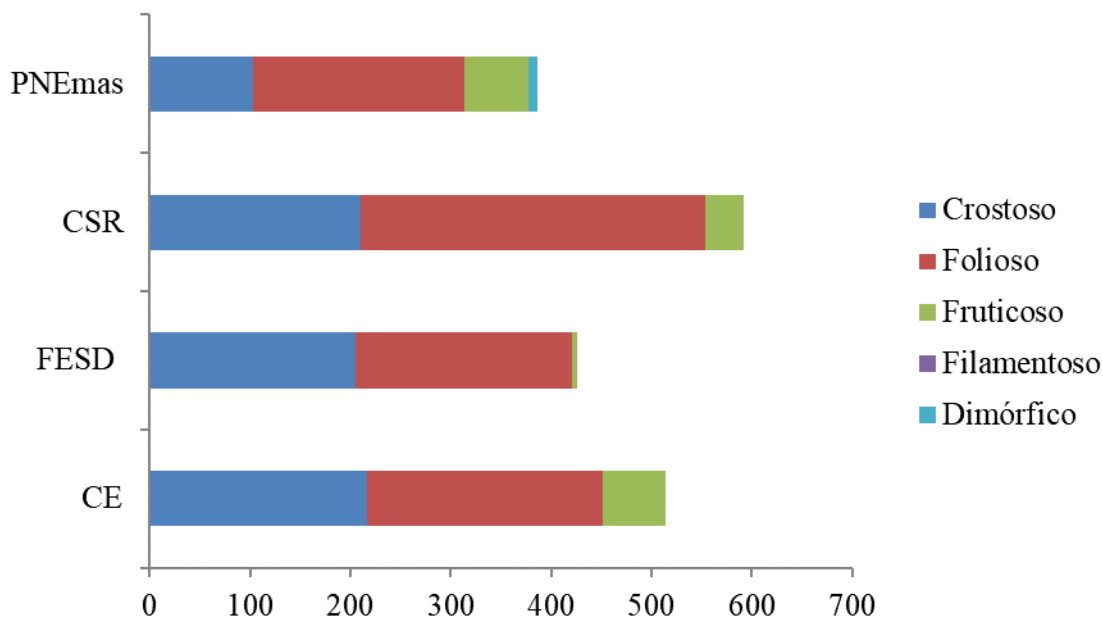
Para explicar as semelhanças ou diferenças entre as áreas, com base na abundância por tipos liquênicos, riqueza, luminosidade e tipos de espécies arbóreas, foi estimada uma matriz de similaridade, utilizando para cálculo do índice de similaridade o coeficiente de correlação de Pearson ®. Os valores de *r* foram transformados por  $d = (1 - r) * 100$  para gerar os valores de distância (*d*). Um dendrograma foi então gerado, utilizando o método do grupo de pares não ponderados com média aritmética (UPGMA), sendo o ajuste entre a matriz de distâncias e o dendrograma estimado pelo coeficiente de correlação cofenética (SOKAL e ROHLF, 1962). Esta análise foi conduzida por meio do software DendroUPGMA (2002) disponível em <http://genomes.urv.cat/UPGMA/index.phpD-UPGMA>.

### 3. RESULTADOS

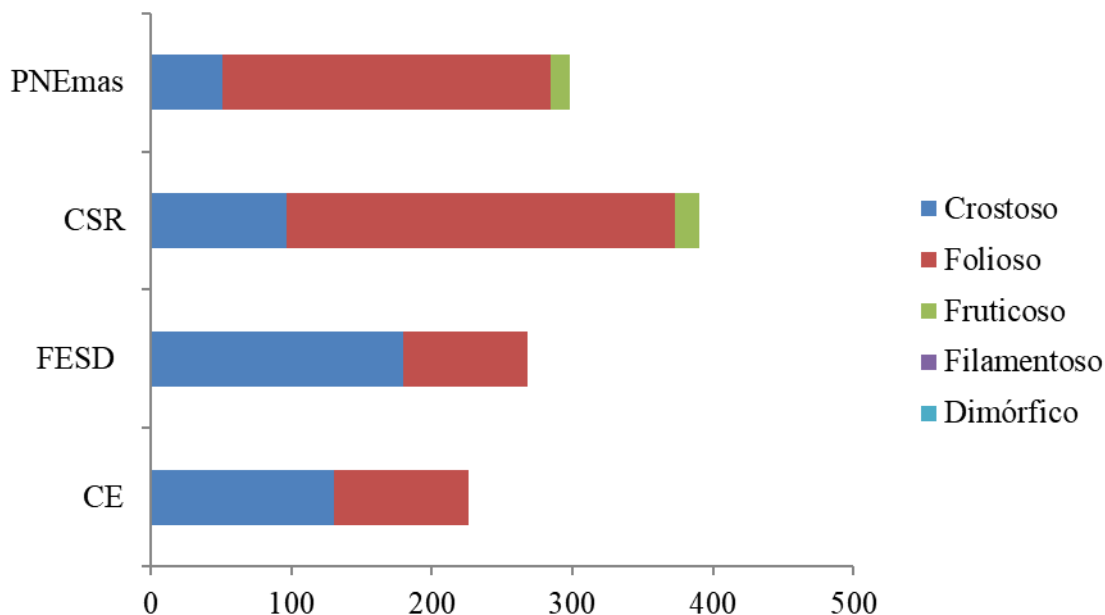
Nos dados de abundância dos morfotipos liquênicos (crostoso, folioso, fruticoso, filamentosos e dimórfico) para o centro dos fragmentos avaliados (Figura 6), o fragmento de cerrado sentido restrito (CSR) foi o que mostrou maior abundância total, com 592 indivíduos, seguido do fragmento de Cerradão (CE), Floresta estacional semidecidual (FESD) e, por último, pelo Parque Nacional das Emas (PNEmas), com, respectivamente, 514, 426 e 386 indivíduos, totalizando 1.918 indivíduos no centro dos fragmentos.

Quando se observa a abundância por morfotipos liquênicos (Figura 6), podemos perceber que, entre os morfotipos estudados, o folioso foi o mais encontrado no Centro de todos os fragmentos estudados, sendo o fragmento CSR o que apresentou maior abundância desse morfotipo (344 indivíduos) em comparação com os outros fragmentos. O fragmento de Cerradão (CE) foi o que apresentou maior número do morfotipo crostoso

(217 indivíduos). Já para o morfotipo fruticoso, o Centro do PNEMas foi o que teve maior abundância para esse morfotipo (64 indivíduos), assim como foi o único fragmento em que o morfotipo dimórfico pôde ser amostrado no Centro (8 indivíduos). O morfotipo filamentososo não foi observado em nenhum dos fragmentos estudados.



**Figura 6.** Abundância de morfotipos de líquens amostrados no centro de fragmentos avaliados em diferentes fitofisionomias. PNEMas: Parque Nacional das Emas; CSR: Cerrado sentido restrito; FESD: Floresta estacional semidecidual; CE: Cerradão.



**Figura 7.** Abundância de morfotipos de líquens amostrados na borda de fragmentos avaliados em diferentes fitofisionomias. PNEMas: Parque Nacional das Emas; CSR: Cerrado sentido restrito; FESD: Floresta estacional semidecidual; CE: Cerradão.

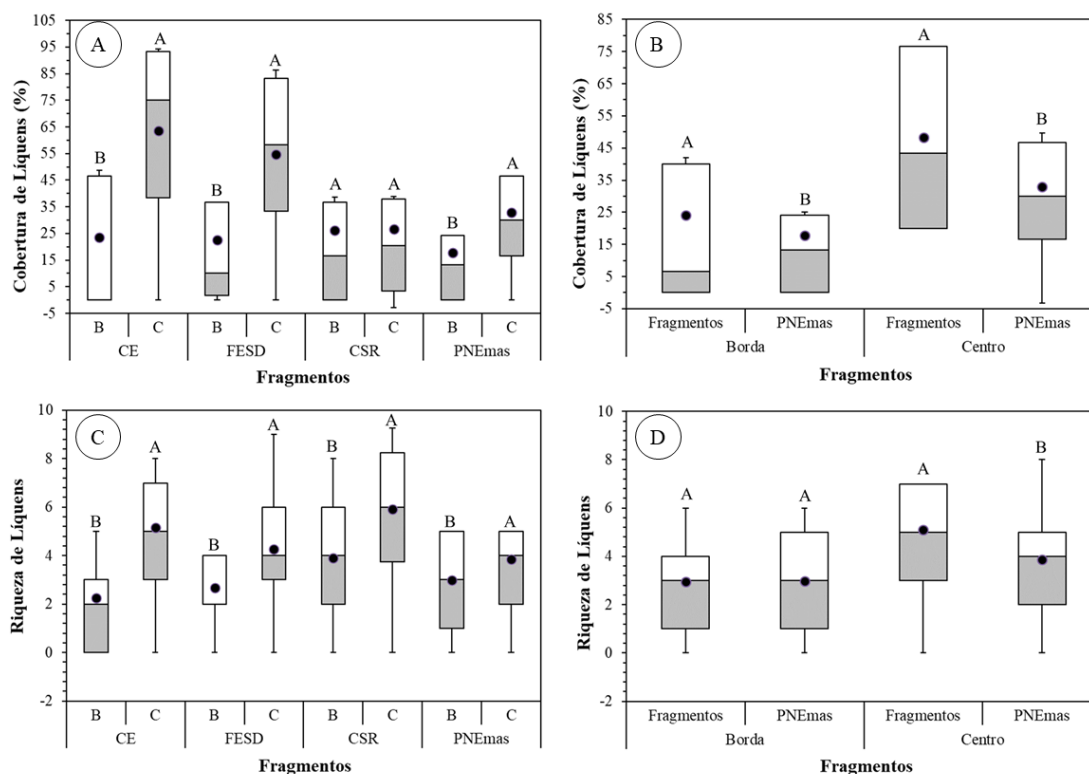
Com relação à borda dos fragmentos, Figura 7, CSR continuou sendo o que apresentou o maior número de abundância total de morfotipos de líquens (390 indivíduos), contudo, esta abundância foi consideravelmente inferior à observada no centro deste fragmento (592 indivíduos). Na borda do fragmento CSR, foi observada maior abundância dos morfotipos folioso e fruticoso em comparação com a borda dos outros fragmentos. Em relação ao morfotipo crostoso, o fragmento de FESD foi o que apresentou maior abundância na borda. Nos fragmentos FESD e CE, não foram amostrados líquens fruticulosos na sua borda. Os líquens filamentosos e dimórficos não foram amostrados em nenhuma das bordas dos fragmentos estudados.

O índice de diversidade de Shannon-Weaver total, para todos os fragmentos estudados, foi  $H' = 0,889$ , e quando calculado separadamente para a borda e o centro dos fragmentos, foi de  $H' = 0,775$  e  $H' = 0,943$ , respectivamente. Estes dados confirmam nossa hipótese de efeito de borda e perturbação destas áreas por poluentes advindos da atividade agrícola do entorno, o que impacta diretamente na diversidade do bioindicador. O índice de diversidade também foi calculado para cada fragmento separadamente. O fragmento CE teve o maior índice de diversidade entre os fragmentos, sendo  $H' = 0,924$ , seguido dos fragmentos PNEmas, CSR e FESD, que apresentaram os índices  $H' = 0,723$ ,  $H' = 0,815$  e  $H' = 0,915$ , respectivamente.

Quanto à análise de cobertura líquênica (Figura 8A) nos caules avaliados na Borda e Centro de cada fragmento, o fragmento CSR foi o único, para o qual não foi observada diferença estatística entre as médias da borda e centro (26,13% e 26,61%, respectivamente; p-valor: 0,8992), sendo que em todos os outros fragmentos a média da cobertura foi superior no centro. O valor médio para o fragmento CE de borda foi de 23,58%, enquanto para o centro, foi de 63,82% (p-valor < 0,0001); para o fragmento FESD, a média da borda foi 22,64% e de 54,60% para o centro (p-valor < 0,0001); e para o PNEmas a média para a borda foi de 17,80% e para o centro, de 32,88% (p-valor < 0,0001).

As médias de riqueza líquênica para o fragmento CE, na borda e no centro, foram, respectivamente, de 2,26 e 5,14 (p-valor < 0,0001) morfotipos líquênicos por árvore amostrada. A borda do fragmento FESD teve média de riqueza líquênica de 2,68, e o centro, de 4,26 (p-valor < 0,0001). Para o fragmento CSR, a média para borda e centro foi, respectivamente, de 3,90 e de 5,92 morfotipos líquênicos. Por fim, as médias para borda e centro do fragmento PNEmas foram 2,98 e 3,86 (p-valor = 0,0060), respectivamente. Dessa forma, para média de riqueza líquênica (Figura 8C), todos os fragmentos tiveram

média para centro superior estatisticamente à média da borda.



**Figura 8.** Cobertura e riqueza do córtex dos morfotipos líquênicos, observados no centro e na borda de fragmentos avaliados em diferentes fitofisionomias, comparando três fragmentos (CE, FESD e CSR) com o observado no Parque Nacional das Emas (PNEMas). Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Quando analisada conjuntamente a cobertura líquênica dos fragmentos CE, FESD e CSR em comparação com o PNEMas (Figura 8B), para a borda, os fragmentos tiveram média de 24,12% e o PNEMas, média de cobertura de 17,80% ( $p$ -valor=0,0492) e para o centro, 48,34% e 32,88% ( $p$ -valor<0,0001), respectivamente, assim, os fragmentos em conjunto apresentaram média de cobertura líquênica estatisticamente superior à média do PNEMas.

Para a riqueza líquênica dos fragmentos (CE, FESD e CSR), em relação ao PNEMas (Figura 8D), a borda não apresentou diferença estatística entre eles (2,95 e 2,98,  $p$ -valor=0,8973, respectivamente). Já para o centro, os fragmentos apresentaram média de riqueza líquênica de 5,11 e o PNEMas, de 3,86 ( $p$ -valor<0,0001) morfotipos líquênicos por árvore amostrada, sendo assim, a média dos fragmentos foi superior estatisticamente à média do PNEMas para o centro.

A análise de correlação (Tabela 1) entre as variáveis de estrutura fitossociológica e o percentual de cobertura líquênica bem como a riqueza de morfotipos mostrou que nas áreas de Borda, CBH se correlaciona positivamente com a cobertura e também com a riqueza ( $r = 0,127$ ;  $p = 0,033^*$ ;  $r = 0,175$ ;  $p = 0,003^{**}$ , respectivamente), de forma que, tal como o esperado, árvores com maior CBH tendem a abrigar mais morfotipos líquênicos e a ser também mais cobertas. O pH da casca também se correlacionou com o percentual de cobertura e com a riqueza, só que negativamente ( $r = -0,158$ ;  $p = 0,008^{**}$ ;  $r = -0,179$ ;  $p = 0,003^{**}$ ; respectivamente). Assim, cascas com pHs mais baixos tendem a abrigar mais líquens. Por outro lado, na borda, também foi observada correlação negativa entre o percentual de fissura da casca e a riqueza de morfotipos líquênicos ( $r = -0,170$ ;  $p = 0,004^{**}$ ), dessa forma, cascas muito fisurradas parecem inadequadas para o estabelecimento e também para a propagação de morfotipos de líquens.

**Tabela 1.** Coeficiente de correlação de Pearson  $\otimes$  entre dados fitossociológicos ( $H$ , CBH, pH, CB, CT e Lum) e dados de percentual de cobertura do córtex por líquens e riqueza de morfotipos líquênicos, observados na borda e centro de fragmentos de diferentes fitofisionomias estudados.  $H$  = Altura; CBH = Circunferência à altura do peito; pH = pH da casca; CB = Fissura da casca; CT = Clorofila Total; Lum = Luminosidade.

Correlações	Borda		Centro		Total	
	r	p-valor	r	p-valor	r	p-valor
<b>CBH x Cobertura</b>	<b>0,127</b>	<b>0,033*</b>	-0,013	0,821	-0,009	0,825
$H$ x Cobertura	0,060	0,318	-0,012	0,838	-0,010	0,809
<b>Ph x Cobertura</b>	<b>-0,158</b>	<b>0,008**</b>	<b>-0,115</b>	<b>0,043*</b>	<b>-0,140</b>	<b>0,001**</b>
<b>CT x Cobertura</b>	-0,078	0,192	<b>-0,187</b>	<b>0,001**</b>	<b>-0,148</b>	<b>0,001**</b>
CB x Cobertura	-0,025	0,670	-0,062	0,278	0,038	0,361
<b>Lum x Cobertura</b>	-0,414	0,069	-0,291	0,214	<b>-0,519</b>	<b>0,001**</b>
<b>CBH x Riqueza</b>	<b>0,175</b>	<b>0,003**</b>	<b>0,142</b>	<b>0,012*</b>	0,068	0,097
$H$ x Riqueza	0,037	0,537	<b>0,171</b>	<b>0,002**</b>	0,077	0,061
<b>pH x Riqueza</b>	<b>-0,179</b>	<b>0,003**</b>	0,093	0,100	-0,029	0,488
<b>CT x Riqueza</b>	-0,030	0,621	<b>-0,183</b>	<b>0,001**</b>	<b>-0,128</b>	<b>0,002**</b>
<b>CB x Riqueza</b>	<b>-0,170</b>	<b>0,004**</b>	<b>-0,152</b>	<b>0,007**</b>	-0,055	0,178
<b>Lum x Riqueza</b>	-0,380	0,098	<b>-0,476</b>	<b>0,034*</b>	<b>-0,598</b>	<b>0,005**</b>

Valores de p-valor maiores de 0,05 indicam não representatividade. \*Significativo a 0,05 e \*\*Significativo a 0,01 %.

No centro dos fragmentos estudados, Tabela 1, foi mantida a correlação positiva entre CBH e riqueza ( $r = 0,142$ ;  $p = 0,012^*$ ) e a correlação negativa entre pH e cobertura ( $r = -0,115$ ,  $p = 0,043^*$ ), sendo observada também correlação positiva entre H e riqueza ( $r = 0,171$ ,  $p = 0,002^{**}$ ), assim, houve tendência de os troncos de árvores mais altas estarem com mais morfotipos liquênicos. Ainda no centro, foi verificada correlação negativa entre fissura e cobertura e entre Lum e cobertura ( $r = -0,152$ ,  $p = 0,007^{**}$ ;  $r = -0,476$ ,  $p = 0,034^*$ , respectivamente), de forma que, nas áreas com menores intensidades luminosas, os troncos das árvores apareciam sempre mais cobertos por líquens. Quando analisamos os dados de borda e centro em conjunto, verificamos que foram mantidas as correlações negativas entre pH e cobertura ( $r = -0,140$ ,  $p = 0,001^{**}$ ), entre Lum e cobertura ( $r = -0,519$ ,  $p = 0,001^{**}$ ) e também entre Lum e riqueza ( $r = -0,598$ ,  $p = 0,005^{**}$ ).

Entre os diferentes modelos testados por meio de GLMM, o modelo que incluiu todas as variáveis testadas (Espécie+CT+CBH+H+pH+CB) é o mais plausível para explicar as variações encontradas no percentual de cobertura total de líquens nos fragmentos. Dessa forma, todas as variáveis são importantes, de alguma forma, para definir a cobertura total. O mesmo modelo foi o mais explicativo para cobertura na borda dos fragmentos. Já para o centro deles, o modelo em que se obteve o menor valor de  $\Delta AICc$  foi o construído apenas com a variável Espécies, indicando que, nesta área, algumas espécies vegetais se mostram mais propensas à instalação e colonização de morfotipos liquênicos que outras. Nesta área, o modelo Espécie+CT+CAP+H+pH+F é o segundo modelo mais representativo. Podemos observar na Tabela 2 que, de modo geral, os modelos mais representativos foram aqueles em que a variável CB estava presente, isso para a cobertura total, borda e centro.

**Tabela 2.** Seleção de modelos das hipóteses concorrentes para explicar o padrão de variação da cobertura total dos líquens, cobertura dos líquens na borda e no centro dos quatro fragmentos de diferentes fitofisionomias estudados. Espécie: identificação das espécies; TC: Clorofila total; CBH: Circunferência à altura do peito; H: Altura; pH da casca; CB: Fissura da casca. Os modelos com  $\Delta AICc < 2$  são marcados em negrito.

Model	$\Delta AICc$	wAIC	k	$\beta$	p-value
<b>Cobertura total</b>					
<b>Espécie+CT+CBH+H+pH+CB</b>	<b>0,0</b>	<b>1,0</b>	<b>9,0</b>	<b>0,1727</b>	<b>&lt;0,001 ***</b>
Espécie+CT+CB	12,1	0,0	6,0	0,1000	<0,001***



Espécie+CBH+CB	14,6	<0,001	6,0	0,1014	<0,001***
Espécie+pH+CB	15,1	<0,001	6,0	-0,0166	<0,001***
Espécie+H+CB	17,6	<0,001	6,0	0,0257	<0,001***
Espécie+CB	19,4	<0,001	5,0	-0,0264	<0,001***
Espécie+CT+CBH	45,6	<0,001	6,0	-0,0632	<0,001***
Espécie+CBH+pH	51,2	<0,001	6,0	-0,2577	<0,001***
Espécie+CBH+H	51,9	<0,001	6,0	-0,3173	<0,001***
Espécie+CBH	55,5	<0,001	5,0	-0,2529	<0,001***
Espécie+CT+H	56,3	<0,001	6,0	-0,2043	0,0044**
Espécie+CT+pH	56,4	<0,001	6,0	-0,3756	0,0197*
Espécie+CT	60,8	<0,001	5,0	-0,3798	0,0051**
Espécie+H+pH	62,1	<0,001	6,0	-0,3817	0,1889
Espécie+H	66,5	<0,001	5,0	0,0903	0,06916
Espécie+pH	66,9	<0,001	5,0	-0,5812	0,9855
Espécie	71,3	<0,001	4,0	-0,5831	-
<b>Borda</b>					
<b>Espécie+CT+CBH+H+pH+CB</b>	<b>0,0</b>	<b>0,9845</b>	<b>9,0</b>	<b>0,1119</b>	<b>0,1161</b>
Espécie+pH+CB	10,8	0,0045	6,0	0,2575	0,0529
Espécie+H+CB	11,1	0,0038	6,0	0,07919	0,0161*
Espécie+CT+CB	12,5	0,0019	6,0	0,3047	0,0536
Espécie+CBH+CB	13,0	0,0015	6,0	0,2503	0,0343*
Espécie+H+pH	13,7	0,0011	6,0	0,8233	0,2949
Espécie+CT+pH	14,2	<0,001	6,0	1,014	0,6127
Espécie+CT+H	15,1	<0,001	6,0	0,8754	0,2484
Espécie+CBH+pH	15,9	<0,001	6,0	0,9873	0,7215
Espécie+CB	16,0	<0,001	5,0	0,2565	0,0177*
Espécie+CBH+H	16,6	<0,001	6,0	0,7969	0,3417
Espécie+CT+CBH	17,1	<0,001	6,0	1,036	0,5359
Espécie+pH	18,2	<0,001	5,0	0,967	0,6318
Espécie+H	19,0	<0,001	5,0	0,8278	0,1503
Espécie+CT	19,4	<0,001	5,0	1,015	0,3770
Espécie+CBH	21,0	<0,001	5,0	0,9874	0,4951
Espécie	23,3	<0,001	4,0	0,9667	-

<b>Centro</b>					
<b>Espécie</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>4,0</b>	<b>0,9667</b>	<b>&lt;0,001***</b>
Espécie+CT+CBH+H+pH+CB	268,7	<0,001	9,0	-6.675	<0,001***
Espécie+CT+CB	281,8	<0,001	6,0	-6.552	<0,001***
Espécie+pH+CB	284,1	<0,001	6,0	-6.243	<0,001***
Espécie+CBH+CB	285,7	<0,001	6,0	-6.077	<0,001***
Espécie+H+CB	287,2	<0,001	6,0	-5.865	<0,001***
Espécie+CB	290,1	<0,001	5,0	-6.153	0,0018 **
Espécie+CT+CBH	294,4	<0,001	6,0	-6.319	0,0087 **
Espécie+CBH+pH	296,1	<0,001	6,0	-5.999	0,0677
Espécie+CT+pH	298,7	<0,001	6,0	-6.511	0,0126 *
Espécie+CBH+H	298,9	<0,001	6,0	-6.127	0,0320 *
Espécie+CT+H	299,9	<0,001	6,0	-5.892	0,0994
Espécie+H+pH	300,7	<0,001	6,0	-5.537	0,0036 **
Espécie+CBH	301,9	<0,001	5,0	-5.909	0,0384 *
Espécie+CT	304,6	<0,001	5,0	1.015	0,2902
Espécie+pH	306,3	<0,001	5,0	-6,1	0,0819
Espécie+H	307,2	<0,001	5,0	-5.468	-

Valores de p-valor maiores de 0,05 indicam não representatividade. \*Significativo a 0,05, \*\*Significativo a 0,01 % e \*\*\*Significativo a 0,001 %.

Os mesmos modelos foram testados agora para riqueza total, riqueza da borda e centro dos fragmentos estudados (Tabela 3). Os modelos que apresentaram valor de  $\Delta AICc < 2$  podem ser considerados indiferentes entre eles. Dessa forma, para riqueza total, oito modelos observados são plausíveis para explicar as variações encontradas, sendo eles: Espécie, Espécie+CB, Espécie+pH, Espécie+pH+CB, Espécie+CT, Espécie+H+CB, Espécie+CT+CB, Espécie+CBH+CB e Espécie+CT+pH. Já os modelos que explicam a variação observada nos dados de riqueza na borda dos fragmentos estudados são: Espécie+CBH+pH e Espécie+CBH, Espécie+CBH+CB e Espécie+CBH+CB. Para riqueza no centro dos fragmentos, os modelos mais admissíveis para explicar as variações encontradas são: Espécie+PH, Espécie+CT+PH, Espécie, Espécie+CT, Espécie+H+pH e Espécie+CBH+pH. Pode-se observar que, além das

espécies, o fator estudado pH e CB apareceu em quase todos os modelos mais explicativos, isso para a cobertura total, borda e centro.

**Tabela 3.** Seleção de modelos das hipóteses concorrentes para explicar o padrão de variação da riqueza total de morfotipos líquênicos, riqueza na borda e no centro dos quatro fragmentos de diferentes fitofisionomias estudados. Espécie: identificação das espécies; CT: Clorofila total; CBH: Circunferência à altura do peito; H: Altura; pH da casca; CB: Fissura da casca. Os modelos com  $\Delta AICc < 2$  são marcados em negrito.

<b>Modelo</b>	<b><math>\Delta AICc</math></b>	<b>wAIC</b>	<b>k</b>	<b><math>\beta</math></b>	<b>p-value</b>
<b>Riqueza total</b>					
<b>Espécie</b>	<b>0</b>	<b>0,1517</b>	<b>4</b>	<b>0,1061</b>	<b>-</b>
<b>Espécie+CB</b>	<b>0,2</b>	<b>0,1352</b>	<b>5</b>	<b>0,1185</b>	<b>0,0550</b>
<b>Espécie+pH</b>	<b>0,7</b>	<b>0,1072</b>	<b>5</b>	<b>0,106</b>	<b>0,8900</b>
<b>Espécie+pH+CB</b>	<b>0,9</b>	<b>0,0954</b>	<b>6</b>	<b>0,1185</b>	<b>0,1574</b>
<b>Espécie+CT</b>	<b>1,2</b>	<b>0,0845</b>	<b>5</b>	<b>0,0927</b>	<b>0,2818</b>
<b>Espécie+H+CB</b>	<b>1,6</b>	<b>0,0691</b>	<b>6</b>	<b>0,09888</b>	<b>0,0548</b>
<b>Espécie+CT+CB</b>	<b>1,8</b>	<b>0,0629</b>	<b>6</b>	<b>0,107</b>	<b>0,1068</b>
<b>Espécie+CBH+CB</b>	<b>1,8</b>	<b>0,0622</b>	<b>6</b>	<b>0,0816</b>	<b>0,0531</b>
<b>Espécie+CT+pH</b>	<b>1,9</b>	<b>0,0595</b>	<b>6</b>	<b>0,0927</b>	<b>0,5564</b>
Espécie+H	2,3	0,0484	5	0,09031	0,2713
Espécie+H+pH	2,9	0,0351	6	0,08992	0,5300
Espécie+CBH	3,1	0,0319	5	0,08441	0,4011
Espécie+CBH+pH	3,8	0,0225	6	0,08445	0,6982
Espécie+CT+CBH	4,2	0,0184	6	0,06959	0,3805
Espécie+CBH+H	5,5	0,0099	6	0,08773	0,5425
Espécie+CT+CBH+H+pH+CB	6,4	0,0062	9	0,07281	0,2121
Espécie+CT+H	3679,1	<0,001	6	-4.621	1,0000
<b>Borda</b>					
<b>Espécie+CBH+pH</b>	<b>0</b>	<b>0,3218</b>	<b>6</b>	<b>-0,3532</b>	<b>0,0005619 ***</b>
<b>Espécie+CBH</b>	<b>0,2</b>	<b>0,2928</b>	<b>5</b>	<b>-0,3514</b>	<b>0,0001304 ***</b>
<b>Espécie+CBH+CB</b>	<b>1,8</b>	<b>0,1293</b>	<b>6</b>	<b>-0,3218</b>	<b>0,0002799 ***</b>
<b>Espécie+CT+CBH</b>	<b>1,9</b>	<b>0,1237</b>	<b>6</b>	<b>-0,3599</b>	<b>0,000619 ***</b>
Espécie+CBH+H	2,5	0,093	6	-0,35156	0,0006633 ***
Espécie+CT+CBH+H+pH+CB	5,7	0,0189	9	-0,32168	0,004984 **

Espécie+H+pH	7,7	0,0069	6	-0,2886	0,03383 *
Espécie+H	8,7	0,0042	5	-0,2878	0,01761 *
Espécie+H+CB	9,2	0,0033	6	-0,2513	0,01426 *
Espécie+pH	10,9	0,0014	5	-0,3799	0,4
Espécie+pH+CB	11	0,0013	6	-0,3363	0,1
Espécie	11,5	0,001	4	-0,3767	-
Espécie+CB	11,6	<0,001	5	-0,3331	0,06831
Espécie+CT+PH	12,6	<0,001	6	-0,3887	0,6
Espécie+CT	13,2	<0,001	5	-0,3849	0,7
Espécie+CT+CB	13,4	<0,001	6	-0,33432	0,2
Espécie+CT+H	1792,1	<0,001	6	2.117	1,0

---

**Centro**

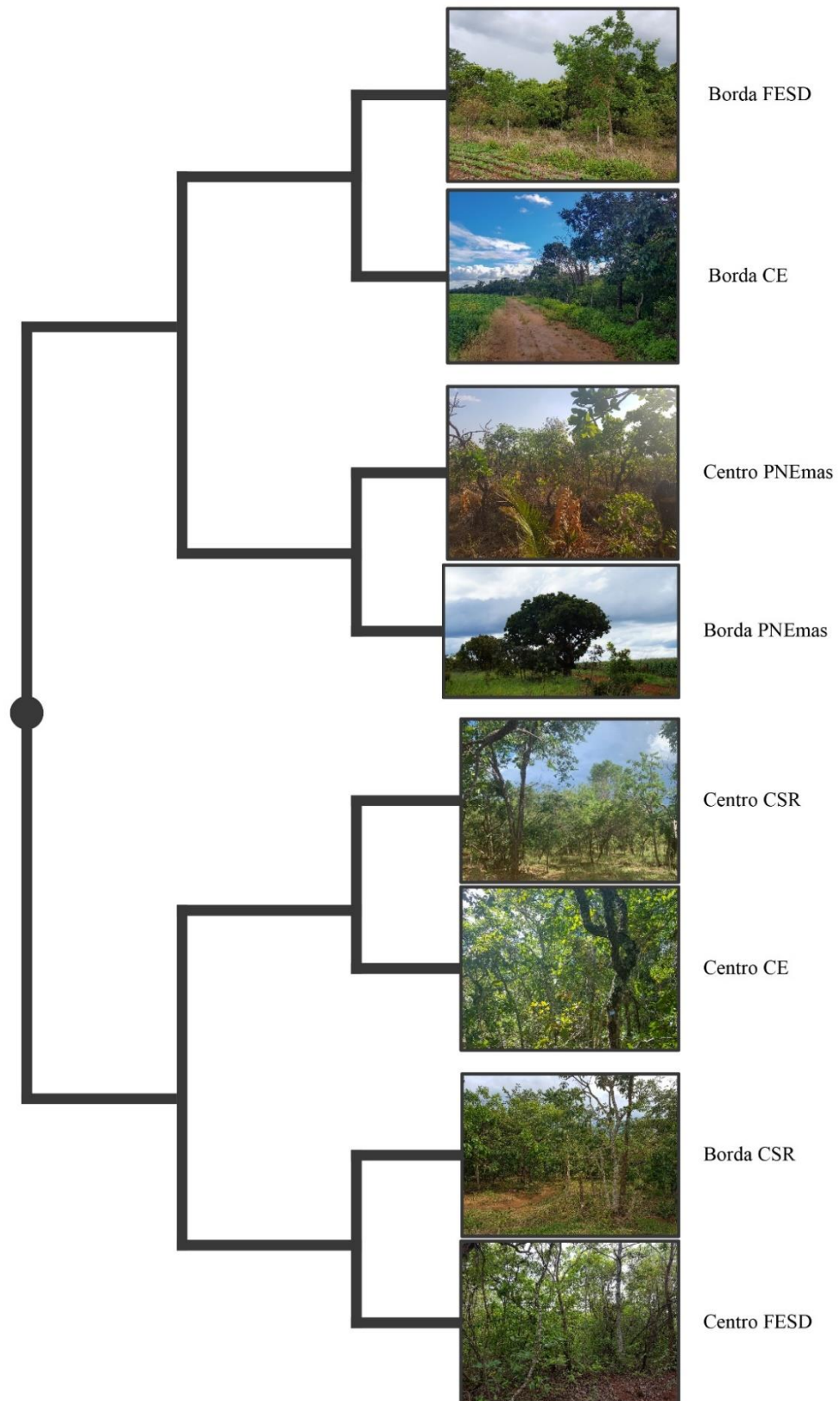

---

<b>Espécie+pH</b>	<b>0</b>	<b>0,1934</b>	<b>5</b>	<b>0,3165</b>	<b>0,3194</b>
<b>Espécie+CT+pH</b>	<b>0,7</b>	<b>0,135</b>	<b>6</b>	<b>0,2984</b>	<b>0,4002</b>
<b>Espécie</b>	<b>0,8</b>	<b>0,1272</b>	<b>4</b>	<b>0,3349</b>	<b>-</b>
<b>Espécie+CT</b>	<b>1,6</b>	<b>0,0882</b>	<b>5</b>	<b>0,3172</b>	<b>0,3656</b>
<b>Espécie+H+pH</b>	<b>1,6</b>	<b>0,0865</b>	<b>6</b>	<b>0,3418</b>	<b>0,3232</b>
<b>Espécie+CBH+pH</b>	<b>1,9</b>	<b>0,0737</b>	<b>6</b>	<b>0,3274</b>	<b>0,3501</b>
Espécie+H	2,2	0,0651	5	0,3599	0,212
Espécie+CBH	2,8	0,0475	5	0,3458	0,3022
Espécie+pH+CB	2,9	0,0444	6	0,31308	0,6019
Espécie+CT+CBH	3,5	0,0332	6	0,3284	0,3869
Espécie+CB	3,8	0,0293	5	0,33105	0,8638
Espécie+CBH+H	4,5	0,0208	6	0,35862	0,4497
Espécie+CT+CB	4,5	0,0205	6	0,3121	0,6476
Espécie+H+CB	5	0,0162	6	0,35237	0,4235
Espécie+CBH+F	5,4	0,0131	6	0,3354	0,508
Espécie+CT+CBH+H+pH+CB	7	0,0059	9	0,3097	0,6081
Espécie+CT+H	1874,6	<0,001	6	4.075	1

---

Valores de p-valor maiores de 0,05 indicam não representatividade. \*Significativo a 0,05,

\*\*Significativo a 0,01 % e \*\*\*Significativo a 0,001 %.



**Figura 9.** Com base na abundância por tipos liquênicos, riqueza, luminosidade e espécies arbóreas, foi estimado o agrupamento da distância média (UPGMA) entre as áreas de borda e centro dos quatro fragmentos de diferentes fitofisionomias estudados, em que B1 = Borda de C; C1 = Centro de C; B2 = Borda de FESD; C2 = Centro de FESD; B3 = Borda de CSR; C3 = Centro de CSR; B4 = Borda do PNEmas; e C4 = Centro do PNEmas.

O dendrograma (Figura 9) revelou um cluster formado pelas áreas que constituem a borda de CE, a borda de FESD, o centro de CSR e o centro de CE, contudo, neste cluster, as duas primeiras, que são áreas de borda, são mais semelhantes entre si, em decorrência de todas as características fitossociológicas e líquênicas avaliadas, o mesmo sendo observado para as duas últimas. Por outro lado, um outro cluster foi formado com as áreas borda do PNEmas, centro do PNEmas, borda de CSR e centro de FESD. Assim, as áreas analisadas no PNEmas são mais semelhantes entre si do que com quaisquer outras áreas, e a presença de a borda de CSR fazer parte deste cluster é explicada pelo tipo de formação vegetal desta área, semelhante à encontrada no PNEmas.

#### 4. DISCUSSÕES

A maior abundância de morfotipos líquênicos no centro dos fragmentos bem como a não ocorrência de morfotipos altamente sensíveis a perturbações nas áreas de borda confirmam nossa hipótese de efeito de borda provocado pela dispersão de poluentes de matrizes agrícolas para fragmentos vegetacionais inseridos nessa matriz, de forma que espécies localizadas mais próximas da matriz tendem a ser mais afetadas que espécies localizadas mais ao centro dos fragmentos.

Os poucos trabalhos que existem sobre abundância de líquens mostram que muitos tipos de líquens podem sofrer extinção local, assim acabam sendo restritos aos ecossistemas com baixos regimes de perturbações (WILL-WOLF *et al.*, 2002). Outros tipos podem sofrer perda de diversidade e ser dominados por espécies mais resistentes a ambientes perturbados (JÜRIADO; PAAL; LIIRA, 2003, BRUNIALTI e GIORDANI, 2003). Com isso, apesar de o fragmento CSR apresentar maior abundância de líquens, tanto para o centro quanto para a borda, em relação aos outros fragmentos estudados, é importante avaliarmos também a abundância dos tipos líquênicos separadamente, visto que, pelo fato de alguns tipos serem mais resistentes a locais impactados, eles podem se apresentar em maior número por não haver competição com outros tipos líquênicos e por se adaptarem ao ambiente em que estão inseridos.

Em ordem crescente, os líquens crostosos, foliosos, fruticosos, dimórficos e filamentosos são considerados menos resistentes a impactos (MAZZITELLI *et al.*, 2006), sendo assim, a presença ou o maior número dos morfotipos dimórfico e fruticoso pode indicar que a área central do PNEmas é um ambiente menos impactado que o centro dos outros fragmentos avaliados. Também no centro dos fragmentos, pode-se perceber que o

morfotipo folioso foi o mais encontrado na parte central de todos os fragmentos estudados. Outros autores também relatam maior frequência do morfotipo folioso em áreas de Cerrado Sentido Restrito e de Florestas na região sul do país, dentro do bioma Pampa (COSTA; MINEO, 2013; COSTA, 2018; LEMOS; KAFFER; MARTINS, 2007; 2010, KÄFFER; MARCELLI; GANADE, 2010; KAFFER, 2015).

Na borda dos fragmentos, foi observado um padrão de competição entre os morfotipos crostosos e folhosos, sendo que a alta frequência dos primeiros incorre em baixa frequência do segundo e vice-versa. Assim, se um destes morfotipos liquênicos se instalar pioneiramente em troncos, ele tende a se espalhar rapidamente por estes mesmos troncos, afetando a instalação de outro morfotipo. Também na borda do fragmento CSR, foi observada maior abundância dos morfotipos folioso e fruticoso. Isso pode indicar que este fragmento tem um ambiente mais propenso para a colonização desses morfotipos liquênicos. Já em relação ao morfotipo crostoso, o fragmento de FESD foi o que apresentou maior abundância na borda. O fato de o líquen crostoso ser o mais abundante nestes fragmentos pode estar relacionado com a fitofisionomia, estrutura e dinâmica da floresta e com o nível de impacto (ELLIS; COPPINS, 2010; HEDENÅS; ERICSON, 2004; MCMULLIN *et al.*, 2010; ROGERS; RYEL, 2008; SVOBODA; PEKSA; VESELÁ, 2010), já que na borda deste fragmento não foram amostrados líquens fruticosos, filamentosos e/ou dimórficos. Com isso, podemos considerar que, apesar de o PNEmas não ter a maior abundância total de líquens, foi o único fragmento que apresentou o tipo liquênico dimórfico e o que teve maior abundância do tipo fruticoso, ambos considerados sensíveis a locais impactados.

Os resultados do índice de diversidade de Shannon-Weaver para todos os fragmentos, separados em borda e centro, confirmam nossa hipótese de efeito de borda e a perturbação destas áreas por poluentes advindos da atividade agrícola do entorno, o que impacta diretamente na diversidade do bioindicador. Quanto ao índice de diversidade calculado para cada fragmento separadamente, esperava-se que PNEmas apresentasse maior índice de diversidade que os outros fragmentos, por ser uma unidade de conservação, em que a proteção da biodiversidade é o foco principal, contudo o alto impacto observado na área de borda deste fragmento acabou por reduzir essa diversidade a índices similares aos de uma área não protegida. O PNEmas se encontra no meio de uma matriz extensivamente agrícola, dessa forma, a intensa retirada da vegetação circundante ao PNEmas, causada pela grande expansão agrícola presente no sudoeste goiano, tem ameaçado sua biota e seu equilíbrio ecossistêmico (FRANÇA; RAMOS

NETO; SETZER, 2007; SOARES; SANTOS; SILVA, 2016; VIDOLIN; BRAGA, 2004). Associado a isso, sucessivos incêndios atingem as áreas de borda do parque, comprometendo a diversidade liquênica nos troncos de uma vegetação que, muitas vezes, rebrota.

Quanto à análise do percentual de cobertura liquênica nos caules avaliados na borda e centro de cada fragmento, o único fragmento em que não foi observada diferença estatística entre borda e centro foi CSR, sendo que em todos os outros a cobertura foi sempre superior no centro dos fragmentos. Isso possivelmente ocorre neste fragmento por não haver diferença em relação a impactos estruturais entre a borda e o centro. Para a riqueza dos morfotipos liquênicos, o centro de todos os fragmentos se apresentou estatisticamente superior, sendo este padrão condizente com a existência de efeito de borda.

Quando analisados conjuntamente a borda e o centro dos fragmentos (CSR, C e FESD) em comparação com o PNEmas, os fragmentos em conjunto apresentaram média de cobertura e de riqueza estatisticamente superior, com exceção apenas para a riqueza dos morfotipos liquênicos na borda. Estes dados são coerentes com os observados para abundância, tendo sido a abundância dos morfotipos liquênicos no PNEmas também inferior à observada em outros fragmentos. A alta luminosidade no PNEmas pode ser o fator que influencia pelo fato de a cobertura e a riqueza dos morfotipos liquênicos serem estatisticamente inferiores, pois quando avaliada a correlação entre luminosidade, cobertura e riqueza, ocorre correlação negativa. Outro fator é que centro do PNEmas apresenta o maior número de morfotipos liquênicos observados e alta diversidade, o que aumenta a competição entre estes morfotipos por espaço, luz e outros recursos. Os líquens produzem compostos orgânicos alelopáticos que inibem o estabelecimento ou o desenvolvimento de outros organismos, incluindo outros líquens, na vizinhança (PEREIRA *et al.*, 2006).

A estrutura dos substratos é outro fator que pode influenciar a presença de líquens cortícolas, incluindo textura, pH, espécies de árvores e características do ambiente como luz, conservação, perturbação e alterações ambientais (CLEAVITT; DIBBLE; WERIER, 2009; GUSTAFSSON; ERIKSSON, 1995; HALE, 1957; MARCELLI, 1996). Com isso, tanto na borda quanto no centro, o pH das cascas se correlacionou negativamente com o percentual de cobertura e a riqueza, assim, cascas com pHs mais baixos tendem a abrigar mais líquens. Também foi observada correlação negativa entre o percentual de fissura da casca e a riqueza de morfotipos liquênicos, por consequência, cascas muito fissuradas



parecem inadequadas para o estabelecimento e também para a propagação de morfotipos de líquens. Por outro lado, a CBH se correlaciona positivamente com a cobertura e também com a riqueza. McDonald *et al.*, (2017) mostraram em seu estudo que o substrato dos líquens desempenha importante papel na determinação da composição da comunidade líquênica, sendo esta comunidade também afetada pelo CBH e pelas espécies arbóreas. Fritz, Brunet e Caldiz (2009), Kantvilas e Minchin (1989) e Ranius *et al.*, (2008) atestam a existência de correlação entre CBH e CB com a composição de líquens nos troncos. Além disso, outros fatores como idade da planta suporte, profundidade da fissura, espessura da casca e retenção de água podem influenciar na estruturação da comunidade líquênica, (BOUDREAULT; GAUTHIER; BERGERON, 2000; CLEAVITT; DIBBLE; WERIER, 2009; HAUCK *et al.*, 2000; LEVIA; WUBBENA, 2006; MCMULLIN *et al.*, 2008; RANIUS *et al.*, 2008).

Segundo Ranius *et al.* (2008), as fissuras das cascas podem moldar a composição da comunidade de líquens. A idade da árvore hospedeira também interfere na colonização, algumas espécies preferindo casca velha fissurada e outras, casca lisa de árvores jovens. Além disso, árvores mais velhas costumam ser maiores e ter uma área de superfície maior para colonização, costumeiramente habitadas por um número maior de espécies e comunidades únicas de líquens (KANTVILAS; MINCHIN, 1989; MCMULLIN *et al.*, 2008). Como os nichos de líquens são altamente específicos, mesmo pequenas variações nos arredores do ambiente podem causar mudanças na composição das espécies (PHARO; BEATTIE, 2002; RANIUS *et al.*, 2008).

Coerente com as correlações observadas, os modelos GLMM para percentual de riqueza líquênica demonstraram que, além das espécies, os fatores pH, CB e CBH apareceram em quase todos os modelos mais explicativos. Isso confirma o apresentado por outros autores como Fritz, Brunet e Caldiz (2009), McDonald *et al.* (2017), Spribille *et al.* (2008) e Wolseley e James (2000), que mostraram que o pH, CB do substrato, CBH e espécies influenciam diretamente o crescimento e a riqueza dos líquens.

O modelo que incluiu todas as variáveis testadas é o mais plausível para explicar as variações encontradas no percentual de cobertura total e cobertura líquênica das bordas. Dessa forma, todas as variáveis são importantes de alguma forma para definir a cobertura total. Já para o centro, o modelo em que se obteve o menor valor de  $\Delta AICc$  foi o construído apenas com a variável espécies, indicando que, nesta área, algumas espécies vegetais se mostram mais propensas à instalação e colonização de morfotipos líquênicos que outras.

## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se que existe efeito de borda para comunidades liquênicas nos fragmentos estudados, tendo a abundância de líquens para todos os fragmentos sido superior no centro do que na borda, não tendo havido ocorrência de morfotipos considerados altamente sensíveis a perturbações nas áreas de borda. Além disso, os resultados do índice de diversidade de Shannon-Weaver para todos os fragmentos, separados em borda e centro, foram superiores no centro em relação à borda, deixando evidente o efeito de borda em relação à comunidade liquênica.

Por fim, comprovou-se influência da matriz agrícola e da estrutura fitossociológica sobre a cobertura, riqueza e diversidade de morfotipos de líquens cortícolas em fragmentos de Cerrado, pois vários fatores estudados se correlacionaram, negativa ou positivamente, com a riqueza e a cobertura liquênica. CB, pH e luminosidade se correlacionaram negativamente com o porcentual de cobertura e riqueza. Já CBH se correlacionou positivamente.

Dessa forma, percebe-se que a comunidade liquênica pode ser utilizada como bioindicador, inclusive para identificação do efeito de borda, e que vários fatores do ambiente, como pH do córtex das árvores, luminosidade, CBH, CB, entre outros, podem influenciar na cobertura e na riqueza liquênica, alterando a dinâmica da comunidade desses seres vivos, podendo indicar alteração na dinâmica do fragmento inteiro. Além disso, correlacionar esses fatores com a comunidade liquênica é importante para entender mais como essa classe de indivíduos se comporta.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIGNIER, A.; DECONCHAT, M. Patterns of forest vegetation responses to edge effect as revealed by a continuous approach. **Annals of Forest Science**, INRA and Springer-Verlag France, 2013.

APG - ANGIOSPERM PHYLOGENY GROUP, An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG IV.

**Botanical Journal of the Linnean Society**, 181: 1-20, 2016.  
<https://doi.org/10.1111/boj.12385>.

BOUDREAU, C., GAUTHIER, S., BERGERON, Y. Epiphytic lichens and bryophytes on *Populus tremuloides* along a chronosequence in the southwestern boreal forest of Québec, Canada. **The Bryologist**, 103, 725–738. 2000.

BRUNIALTI, G.; GIORDANI, P. Variability of lichen diversity in a climatically heterogeneous area (Liguria, NW Italy). **Lichenologist**, 35: 55-69, 2003.

BURNHAM, K. P.; ANDERSON, D. R. A practical information-theoretic approach. **Model selection and multimodel inference**, 2nd ed. Springer, New York, 2002.

CLEAVITT, N.L.; DIBBLE, A.C.; WERIER, D.A. Influence of tree composition upon epiphytic macrolichens and bryophytes in old forests of Acadia National Park, Maine. **The Bryologist**, v. 112, n. 3. p. 467-487, 2009.

COSTA, W. R. **Utilização de líquens no monitoramento ativo e passivo da poluição atmosférica**. 2018. 61f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal do Triângulo Mineiro, 2018.

COSTA, W. R.; MINEO, M. F.; Os líquens como bioindicadores de poluição atmosférica no município de Uberaba, Minas Gerais. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 13, n. 13, p. 2690- 2700, 2013. 2700.  
<https://doi.org/10.5902/223611708657>.

DUPUCH, A; FORTIN, D. The extent of edge effects increases during post-harvesting forest succession. **Biological Conservation**, v. 162, p. 9-16, 2013.

ELLIS, C. J.; COPPINS, B. J. Integrating multiple landscape-scale drivers in the lichen epiphyte response: climatic setting, pollution regime and woodland spatial-temporal structure. **Diversity and Distributions**, 16(1), 43-52. 2010.

EWERS, R. M.; DIDHAM, R.K. Confounding factors in the detection of species responses to habitat fragmentation. **Biol. Rev.**, n. 81, p. 117-142, 2006.

EWERS, R.M.; DIDHAM, R.K. Pervasive impact of large-scale edge effects on a beetle community. **Proc. Natl. Acad. Sci.**, n. 105, p. 5426-5429, 2008.

FERREIRA, T.; RASBAND, W. **O ImageJ Guia do Usuário-Version 1.43**, 2010. Disponível em: <http://rsbweb.nih.gov/ij/docs/user-guide.pdf> (Acessado em fevereiro de 2019)

FRANÇA, H.; RAMOS NETO, M. B.; SETZER, A. O fogo no Parque Nacional das Emas. MMA, **Ministério do Meio Ambiente**, 2007.

FRITZ, O.; BRUNET, J.; CALDIZ, M. Interacting effects of tree characteristics on the occurrence of rare epiphytes in a Swedish boreal forest. **The Bryologist**, 112, 488–505, 2009.

HADFIELD, J. D. *et al.* MCMC methods for multi-response generalized linear mixed models: the MCMCglmm R package. **Journal of Statistical Software**, v. 33, n. 2, p. 1-22, 2010. <https://doi.org/10.18637/jss.v033.i02>.

HALE, M. E. Lectures notes Lichenology. West Virginia University, **Morgantown**, 1957.

HARPER, K.A. *et al.* Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscapes. **Conservation Biology**, n. 19, p. 768-782, 2005.

HAUCK, M. Ecology of epiphytic lichens in a montane spruce forest: influence of forest dieback and forest management on chemical habitat conditions. **Dissertationes Botanicae**, 327: 1-232, 2000.

HEDENÅS, H., ERICSON, L. Species occurrence at the stand level cannot be understood without considering the landscape context: cyanolichens on aspen in boreal Sweden. **Biological Conservation**, 141, 710–718, 2008.

JÜRIADO, I.; PAAL, J.; LIIRA, J. Epiphytic and epixylic lichen species diversity in Estonian natural forests. **Biodiversity and Conservation**, 12: 1587-1607, 2003. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7\\_14](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_14).

KÄFFER, M.I., MARCELLI, M.P.; GANADE, G. Distribution and composition of the lichenized mycota on a landscape mosaic from southern Brazil. **Acta Botanica Brasílica**, 24: 790-802, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0102-33062010000300022>.

KÄFFER, M. I. *et al.*, Composição da comunidade liquênica em floresta ribeirinha na APA do Ibirapuitã, RS, Brasil. **Hoehnea**, 42(2), 273-288, (2015).

KANTVILAS, G., MINCHIN, P.R., An analysis of epiphytic lichen communities in Tasmanian cool temperate rainforest. **Vegetation**, 84, 99–112, 1989.

KRICKE, R. Measuring Bark pH. *In* Monitoring with Lichens - Monitoring Lichens. **Kluwer Academic Publishers**, Netherlands, p. 333-336, 2002. [https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7\\_30](https://doi.org/10.1007/978-94-010-0423-7_30).

KUHLMANN, M. **Frutos e sementes do Cerrado: espécies atrativas para a fauna**. Vol. 1, Brasília, 464p. 2018.

LEMOS, A.; KÄFFER, M. I.; MARTINS, S. A. Composição e diversidade de líquens corticícolos em três diferentes ambientes: Florestal, Urbano e Industrial. **Revista Brasileira de Biociências**, 5(2), 228-230, 2007.

LEVIA, D.F.; WUBBENA, N.P. Vertical variation of bark water storage capacity of *Pinus strobus* L. (Eastern white pine) in southern Illinois. **Northeast Nat**, 13(1): 131–137, 2006.

ŁUBEK, A. *et al.* Changes in the epiphytic lichen biota of Białowieża Primeval Forest are not explained by climate warming. **Science of the Total Environment**, 643, 468-478, 2018.

MARCELLI, M. Biodiversity assessment in lichenized fungi: the necessary naive roll makers. *In*: BICUDO, C.E.; MENEZES, N.A. (ed.) **A first approach**, São Paulo: CNPq: 326, 1996.

MAZZITELLI, S. M. A. *et al.* Utilização de líquens no biomonitoramento da qualidade do ar, *in*: XAVIER FILHO, L., LEGAZ, M. E., CÓRDOBA, C. V., PEREIRA, E. C. (Eds.) **Biologia de Líquens**, RJ, pp 101-143, 2006.

MCDONALD, L. The effects of bark quality on corticolous lichen community composition in urban parks of southern Ontario. **Botany**, 95(12): 1141–1149, 2017. <https://doi.org/10.1139/cjb-2017-0113>

MCMULLIN, R. T. *et al.*, Lichens of coniferous old-growth forests of southwestern Nova Scotia, Canada: diversity and present status. **The Bryologist**, 111(4), 620-637, 2008.

MCMULLIN, R. T. *et al.* Relationships between the structural complexity and lichen community in coniferous forests of southwestern Nova Scotia. **For. Ecol. Manage.** 260, 744–749, 2010.

MURCIA, C. Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. **Trends in ecology and evolution**, v. 10, n. 2, p. 58-62, 1995.

PEREIRA T. S. *et al.* Evaluation of mutagenic activity in supply water at three sites in the state of Rio Grande do Sul, Brazil, **Mutat. Res.** 629, 71–80, 2007.

PHARO, E. J.; BEATTIE, A. J. The association between substrate variability and bryophyte and lichen diversity in eastern Australian forests. **Bryologist**, 105(1): 11–26, 2002.

R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Available online: <https://www.R-project.org/>. (accessed on 30 January 2020)

RANIUS, T. *et al.* The influence of tree age and microhabitat quality on the occurrence of crustose lichens associated with old oaks. **Journal of Vegetation Science**, v. 19, n. 5, p. 653-662, 2008. <https://doi.org/10.3170/2008-8-18433>.

ROGERS, P.C., RYEL, R.J. Lichen community change in response to succession in aspen forests of the southern Rocky Mountains. **For. Ecol. Manage.** 256, 1760 – 1770, 2008.

SILVA JÚNIOR, M. C.; PEREIRA, B. D. S. **100 árvores do cerrado - Matas de Galeria: guia de campo**. Brasília, Ed. Rede de Sementes do Cerrado. 2009.

SILVA JÚNIOR, M. C. **100 árvores do cerrado sentido restrito: guia de campo**. Rede de sementes do cerrado. 2012.

SOARES, D., SANTOS, A. C., SILVA, E. B. (2016). Análise das classificações supervisionada e não supervisionada com o uso de imagens Landsat 5 TM e RapidEye, e suas contribuições para o mapeamento do uso e cobertura do solo no Parque Nacional das Emas. **Revista Brasileira de Geomática**, 4(2), 2016.

SOKAL, R. R.; ROHLF, F. J. The comparison of dendrograms by objective methods. **Taxonomy**, Berlin, v.11, n.1, p.30-40, 1962. <https://doi.org/10.2307/1217208>.

SPRIBILLE, T. *et al.* Lichens on dead wood: species substrate relationships in the epiphytic lichen floras of the Pacific Northwest and Fennoscandia. **Ecography**, v. 31, n. 6, p. 741-750, 2008.

SVOBODA, D., PEKSA, O., VESELÁ, J. Epiphytic lichen diversity in central European oak forests: Assessment of the effects of natural environmental factors and human influences. **Environ. Pollut.** 158, 812-819, 2010.

VIDOLIN, G. P.; BRAGA, F. G. Ocorrência e uso da área por carnívoros silvestres no Parque Estadual do Cerrado, Jaguariaíva, Paraná. **Cadernos da Biodiversidade**, v. 4, n. 2, p. 29-36, 2004.

WERTH, S. Key factors for epiphytic macrolichen vegetation in deciduous forests of Troms county, northern Norway: human impact, substrate, climate or spatial variation? **Cand. Scient**, Thesis, University of Tromsø, 2001.

WILL-WOLF, S. *et al.* Monitoring biodiversity and ecosystem function: Forests. *In*: NIMIS, P.L.; SCHEIDEGGER, C.; WOLSELEY, P.A. (ed.). **Monitoring with lichens – Monitoring lichens**, p. 203-222, 2002.

WOLSELEY, P., JAMES, P. Factors affecting changes in species of *Lobaria* in sites across Britain 1986–1998. **For. Snow Landsc. Res.** 75: 319–33, 2000.



## CAPÍTULO II - LÍQUEN *Parmotrema tinctorum* COMO BIOINDICADOR DA QUALIDADE DO AR EM ÁREAS FLORESTAIS MARGEADAS POR AGRICULTURA INTENSIVA

### Resumo

Os poluentes podem afetar os líquens de diversas formas: inibindo o crescimento e desenvolvimento do talo, alterando processos metabólicos e provocando mudanças anatômicas e morfofisiológicas. Este trabalho teve por objetivo avaliar o potencial de *Parmotrema tinctorum* como bioindicador da dispersão de poluentes em áreas inseridas em matrizes de agricultura intensiva. Para avaliar o impacto da dispersão atmosférica de agroquímicos sobre as comunidades liquênicas, foram avaliadas a concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total), a concentração de macro e micronutrientes bem como de metais pesados nos talos e as características anatômicas. Os líquens *P. tinctorum* presentes nas áreas de borda acumularam nos seus tecidos uma quantidade maior de elementos químicos estudados que aqueles presentes nas áreas de centro, e as porcentagens de alumínio (Al) nos tecidos do líquen *P. tinctorum* na borda dos fragmentos foram superiores às detectadas no líquen coletado no seu centro. Conclui-se que o líquen *Parmotrema tinctorum* tem potencial para ser utilizado como bioindicador da dispersão de poluentes em áreas florestais inseridas em matrizes de agricultura intensiva.

**Palavras-chave:** Bioindicador. *Parmotrema tinctorum*. Líquen. Efeito de Borda. Poluentes agrícolas.

## CHAPTER II - THE *PARMOTREMA TINCTORUM* LICHEN AS AIR QUALITY BIOINDICATOR IN FOREST AREAS BORDERED BY INTENSIVE FARMING

### Abstract

Pollutants can affect lichens in many ways, inhibiting stem growth and development, altering metabolic processes, and causing anatomical and morphophysiological changes. This paper aimed to evaluate the *Parmotrema tinctorum* potential as a pollutant dispersion bioindicator in areas inserted in intensive farming matrices. To evaluate the agrochemicals atmospheric dispersion impact on lichen communities, the concentration of photosynthetic pigments (chlorophyll a, b, and total), macronutrients, micronutrients, and heavy metals in the stems, and the anatomical characteristics were evaluated. *Parmotrema tinctorum* lichens present in the border areas accumulated a greater amount of the studied chemical elements in their tissues than those present in the fragment center areas, and the aluminum percentages (Al) in *the P. tinctorium* lichen tissues in the fragment border were higher than those found in the lichen collected in the fragment center. It is concluded that the *Parmotrema tinctorum* lichen has shown to have potential to be used as a pollutant dispersion bioindicator in forest areas inserted in intensive farming matrices.

**Keywords:** *Parmotrema tinctorum* Agricultural pollutants. Bioindicator. Border effect. Lichen.

## 1. INTRODUÇÃO

Parmeliaceae é uma das maiores famílias de fungos liquenizados, compreendendo cerca de 83 gêneros e, aproximadamente, 2.726 espécies no mundo (KIRK *et al.*, 2001; THELL *et al.*, 2012). No Brasil, é a família com a maior diversidade e a maior dominância de espécies na paisagem liquênica, tendo sido mencionados 19 gêneros e 275 espécies de Parmeliaceae (MARCELLI, 1998; MARTINS; MARCELLI, 2011). Essa família é composta por líquens foliosos que apresentam variações no tamanho, espessura e no grau de relacionamento com o substrato. A estrutura destes líquens é heterômera, com fotobionte trebouxioide, córtex superior e inferior, rizinas, cílios presentes ou ausentes, apotécios lecanorinos, ascósporos simples, hialinos e elipsoides, picnídios imersos e conídios de diversas formas (FLEIG, 1997; KIRK *et al.*, 2001).

Apesar da grande diversidade de Parmeliaceae no Brasil, a quantidade de trabalhos realizados ou em andamento ainda é pequena para que toda a diversidade de fungos liquenizados seja abordada (CANÊZ; MARCELLI, 2006). O gênero *Parmotrema* compreende cerca de 350 espécies no mundo, sendo um gênero bastante abundante no Brasil, onde se conhecem 94 espécies, sendo o gênero de líquens foliosos o mais utilizado em trabalhos de pesquisa pela facilidade de identificação das espécies deste gênero (KAFFER, 2011; MARCELLI, 2004). Este gênero é caracterizado pelo talo amarelo esverdeado e córtex com alta concentração de ácido úsnico, lobos largos de ápice arredondado, ausência de pseudocifelas, rizinas comumente simples, podendo ou não ter cílios marginais. (NASH III; ELIX, 2002).

O líquen *Parmotrema tinctorum* já foi referenciado como bioindicador para poluentes em trabalhos em áreas urbanas, rurais e industriais, indicando alumínio, chumbo e outros metais pesados (e.g. ASSMANN; CAPELLESSO; DARIVA, 2017; KÄFFER *et al.*, 2012; PORTO *et al.*, 2018; ZULAINI *et al.*, 2019). Esta espécie é amplamente distribuída no mundo e apresenta grande variação morfológica, especialmente com relação às características dos isídios. É uma espécie que apresenta talo foliáceo, com cor variando de cinza-metálico a cinza-esverdeado ou oliva quando úmido, sendo as margens dos talos inteiras ou subcrenadas, sem cílios, com córtex superior liso, podendo apresentar-se rugoso ou com rachaduras, com isídios nas cristas ou nas fissuras, variando de granulares a cilíndricos. Apresenta medula branca, córtex inferior escurecido, variando do castanho ao preto, com rizinas esparsas.

Os pesticidas são usados para proteger a produção agrícola de organismos praga e melhorar o rendimento das culturas, levando metais pesados na sua formulação, indo os resíduos muito além de suas áreas alvo (GROENENDIJK; VAN DER KOLK; TRAVIS, 1994). O uso de pesticidas também causa impactos negativos no homem e no meio ambiente (FANTKE; FRIEDRICH; JOLLIET, 2012; DAMALAS; ELEFTHEROHORINOS, 2011; LANDRIGAN *et al.*, 2018). Trabalhos de biomonitoramento sugerem que a aplicação de pesticidas pode afetar o metabolismo normal dos líquens em crescimento perto das áreas de cultivo (CARRERA E CARRERAS, 2011), podendo afetá-los de diversas formas, como, por exemplo, inibindo o crescimento e desenvolvimento do talo, a vitalidade do fotobionte, alterando processos metabólicos e provocando mudanças anatômicas e morfofisiológicas (KÄFFER *et al.*, 2012; KOCH *et al.*, 2016; MARQUES *et al.*, 2005; NASH III, 2008; VIANA *et al.*, 2015). No entanto, há carência de dados sobre o efeito da dispersão de poluentes agrícolas como herbicidas, fungicidas e inseticidas sobre líquens que ocorrem em fragmentos de vegetação inseridos em áreas de agricultura intensiva, havendo muito poucos estudos sobre os possíveis efeitos (ALSTRUP, 1991; BROWN, 1992; KULARATNE; FREITAS, 2013; NEWMASER; BELL; VITT, 1999; PORTO *et al.*, 2018; TRETACH *et al.*, 2007; VAN DOBBEN; BAKKER, 1996; VIANA *et al.*, 2015; ZULAINI *et al.*, 2019).

Desta forma trabalho visa avaliar o potencial de *Parmotrema tinctorum* para ser utilizado como bioindicador da dispersão de poluentes em áreas inseridas em matrizes de agricultura intensiva. Avaliar a concentração de metais pesados nos talos de *Parmotrema tinctorum* amostrados em fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas, correlacionando com a constituição anatômica dos talos.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Áreas de estudo e amostragem

A amostragem foi feita em quatro fragmentos vegetacionais, sendo três na zona rural do município de Rio Verde, com as coordenadas da Borda (B) 17°19'27,5" S 51°33'25,3" W e Centro (C) 17°20'01,6" S 51° 33' 36,58" W, com uma fitofisionomia de Cerradão (CE), outro com as coordenadas de Borda (B) 17°35'18,46"S 50°47'56,60"W e Centro (C) 17°35'23,31" S 50° 47' 51,44" W de uma Floresta Estacional Semidecidual

(FESD) e, por fim, coordenadas de Borda (B) 17°31'21,10" S 50°49'31,20" W e Centro (C) 17°31'30,1" S 50°49'29,20" W de um fragmento de Cerrado sentido restrito (CSR). O quarto fragmento foi utilizado como controle, o Parque Nacional das Emas (PNEmas), com fitofisionomia de Cerrado sentido restrito, com as coordenadas da Borda (B) 18°20'38,22" S 52°45'44,03" W e Centro (C) 18°14'28,7" S 52°52'55,7" W, todos localizados na região sudoeste do estado de Goiás. Foram selecionados fragmentos com histórico de serem margeados por agricultura intensiva por mais de 10 anos corridos, tendo essa margem pelo menos 500 m de extensão, em linha reta, medida depois da borda do fragmento.

Para avaliar o impacto da dispersão atmosférica de agroquímicos sobre as comunidades liquênicas, foram avaliadas a concentração de pigmentos fotossintéticos (clorofila a, b e total), a concentração de macro e micronutrientes bem como de metais pesados nos talos e as características anatômicas. Estas avaliações foram feitas utilizando a espécie de líquen folhoso *Parmotrema tinctorum*, com utilização já comprovada para bioindicação (e.g. KÄFFER, 2012). Para isso, em cada fragmento, foram demarcadas 200 árvores com placas de alumínio para controle de identificação: 100 árvores foram demarcadas ao centro e 100, na borda do fragmento. A demarcação foi feita aleatoriamente, seguindo sempre em linha reta da 1ª até a 25ª árvore, em seguida, a 5 m de distância da 25ª árvore (em direção à parte central do fragmento), seguindo em sentido contrário à primeira linha de marcação, foram demarcadas as árvores de 26ª a 50ª, a partir dessa linha foi estabelecida outra, em sentido contrário, e assim sucessivamente, até ser atingida a 100ª árvore. Entre estas 100 árvores, foram coletadas 10 amostras aleatórias deste líquen nos troncos das árvores amostradas: 5 amostras no centro e 5 na borda. De cada amostra, 20 mg foram destinados à quantificação dos pigmentos fotossintéticos, 20 mg para avaliações anatômicas e 2 g foram destinados à determinação das concentrações de nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), chumbo (Pb), cromo (Cr), cádmio (Cd), zinco (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), manganês (Mn), ferro (Fe) e alumínio (Al).

### 3.2 Avaliação dos pigmentos fotossintéticos, teor nutricional e de metais pesados

Nos líquens, a alta concentração de substâncias ácidas pode aumentar o índice de feofitização da clorofila, para evitar este efeito, os talos foram previamente lavados em acetona 100% saturada com CaCO<sub>3</sub>. A extração dos pigmentos cloroplastídicos foi feita

em solução de extração, constituída de DMSO e Polivinilpolipirrolidona (PVP) a 2,5 mg/ml. Os talos foram cobertos com 5 ml da solução de extração, e os frascos selados e cobertos com papel alumínio, mantidos a 65°C, no escuro, por 40 min. O espectro de absorção foi medido em espectrofotômetro para os comprimentos de onda 665 e 648 nm, com calibração contra o branco contendo apenas solução de extração. A turbidez foi verificada a 750 nm. Nos casos em que o valor foi superior a 0,01 DO, o extrato foi centrifugado (2000 g) por 90 segundos e o sobrenadante, reavaliado. A quantificação dos pigmentos foi feita com base no trabalho e na metodologia de Lichtenthaler e Wellburn (1983). Para a determinação dos macronutrientes, os talos foram secos e avaliados segundo a metodologia de Malavolta, Vitti, e Oliveira (1997) para a determinação do teor dos macronutrientes (nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg) e enxofre (S), bem como dos micronutrientes Zinco (Zn), cobre (Cu), manganês (Mn) e ferro (Fe). O teor dos metais pesados chumbo (Pb), cromo (Cr), cádmio (Cd), níquel (Ni) e alumínio (Al) foi determinado segundo Malavolta *et al.* (1997).

### 3.3 Avaliações anatômicas, concentração e alocação de alumínio nos tecidos

Para a avaliação anatômica, a análise da presença e a localização do alumínio nos tecidos de *Parmotrema tinctorum*, foram feitos cortes histológicos em 10 amostras de cada fragmento (5 para borda e 5 para centro). Os cortes foram incluídos em historresina, passando pelas etapas de fixação (FAA<sub>50</sub>), desidratação (álcool 70%, 80%, 90%, 96% e 100%, 2 horas para cada troca), pré-infiltração (álcool 100% + resina líquida), infiltração (resina líquida + pó ativador) e polimerização. Os cortes transversais foram feitos em micrótomo rotativo com espessura de 5 µm. Posteriormente, as lâminas foram montadas, sendo 10 lâminas para cada fragmento: 5 da borda e 5 do centro de cada fragmento. Estas lâminas foram coradas com azul de toluidina e permeabilizadas com bálsamo do Canadá para serem utilizadas para a descrição anatômica de *P. tinctorum*.

Outras 40 amostras provenientes da mesma blocagem foram preparadas com chrome azurol S, para verificar a presença de alumínio e sua localização na estrutura anatômica geral do líquen estudado. O chrome azurol S foi preparado a 0,5%, 0,5 g de chrome azurol S e 5,0 g de acetato de sódio, completando o volume para 100 mL com água destilada. Os cortes foram submetidos a essa solução por 60 minutos (KUKACHKA; MILLER, 1980).

### 3.4 Análises estatísticas

Os dados quantitativos obtidos para a concentração dos pigmentos fotossintéticos e espessura dos tecidos anatômicos para borda e centro foram comparados entre si, dentro de cada fragmento, a fim de se verificar efeito de borda para *P. tinctorum*. Foram também comparadas as observações feitas nos fragmentos (CE, FESD, CSR) X PNEmas. Também foi comparada a porcentagem de presença e ausência de alumínio em cada área, no seu centro e na sua borda, e fragmentos X fragmento controle. As comparações foram feitas por anova e, quando necessário, seguidas de teste Tukey a 0,05 de significância. Os valores obtidos para macro (N, P, K, Ca, Mg e S), micronutrientes (Zn, Cu, Mn e Fe) e metais pesados (Pb, Cr, Cd, Ni e Al) foram avaliados por meio de uma matriz de correlação e combinados em uma análise de componentes principais (PCA). Como estas variáveis foram medidas em diferentes unidades, foi feita uma PCA de correlação, construída utilizando os dados padronizados para ter média 0 e desvio padrão 1. O número de componentes foi escolhido em função dos autovalores ( $>1.0$ ) e da variância explicada (acima de 80%). Alternativamente, a relação entre a concentração de metais pesados e as concentrações de pigmentos fotossintéticos bem como as medidas anatômicas observadas foram testadas pelo coeficiente de correlação de Pearson, sendo a força da relação analisada pelos valores de  $r$  e da significância da interação a 5% de probabilidade. Os testes estatísticos foram feitos em ambiente R, versão 3.6.1 (R CORE TEAM, 2019).

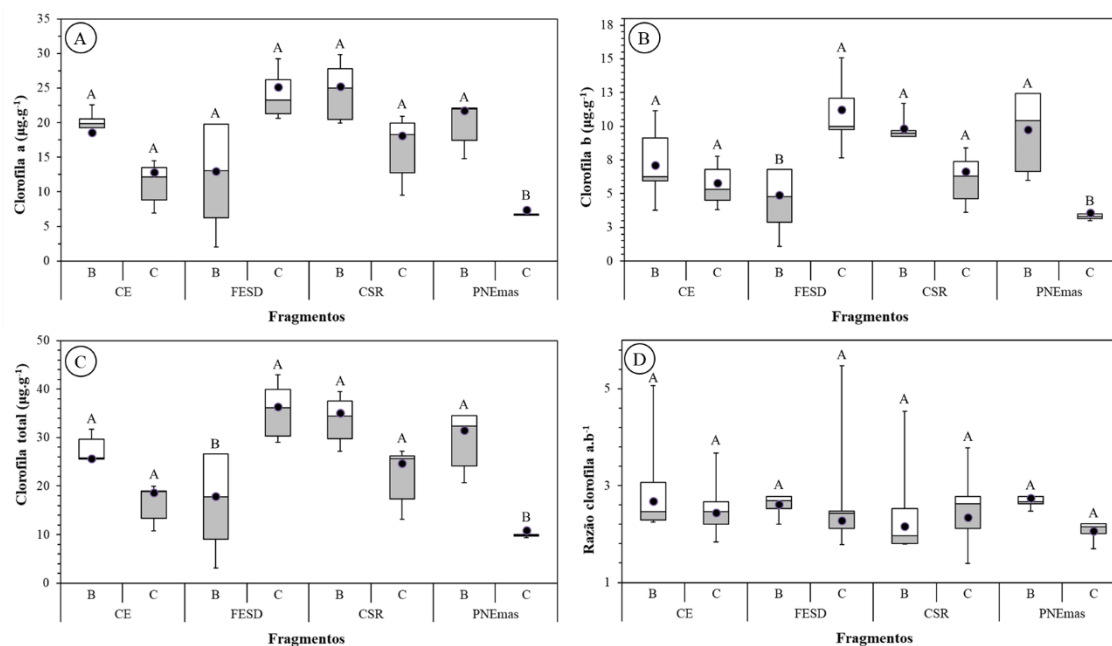
## 3. RESULTADOS

### 4.1 Avaliação dos pigmentos fotossintéticos, teor nutricional e de metais pesados

Quando avaliadas as médias de clorofilas  $a$ ,  $b$ , total e razão clorofila  $a.b^{-1}$  no talo de *P. tinctorum*, a média da clorofila  $a$  foi estatisticamente diferente entre a borda e o centro apenas nas amostras do PNEmas, sendo as médias observadas para a borda deste fragmento ( $21,74\mu\text{g.g}^{-1}$ ) superiores às observadas para o centro ( $7,37\mu\text{g.g}^{-1}$ ) (Figura 1A). Estes dados refletem a diferença verificada para os dados de CS entre borda e centro de PNEmas, sendo esperado que onde o córtex fosse maior, ou seja, com maior potencial para abrigar o fotobionte, maior seria o conteúdo de clorofila  $a$ .

Para clorofila  $b$  (Figura 1B) nos fragmentos CE e CSR, não foi observada diferença

entre as médias de centro e borda ( $5,78 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $7,10 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ;  $6,63 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $9,81 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente), enquanto no fragmento FESD, a média observada para essa clorofila no centro,  $11,23 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , foi superior à verificada na borda,  $4,89 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . No fragmento PNEMas, comportamento oposto foi verificado, tendo a média da borda,  $9,76 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , sido superior à do centro,  $3,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . O mesmo padrão da clorofila *b* foi verificado para clorofila total, Figura 1C, cujos fragmentos CE e CSR não apresentaram diferença estatística entre centro e borda ( $18,64 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $25,64 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ;  $24,73 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $35,06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente), enquanto no fragmento FESD, a média observada para essa clorofila total no centro, de  $36,36 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , foi superior à verificada na borda, de  $17,85 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . No fragmento PNEMas, foi verificado comportamento oposto, tendo a média de borda,  $31,49 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , sido superior à média do centro,  $10,93 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Quando avaliadas as médias da razão clorofila  $a\cdot b^{-1}$ , nenhum dos fragmentos apresentou diferença estatística entre borda e centro (Figura 1D).

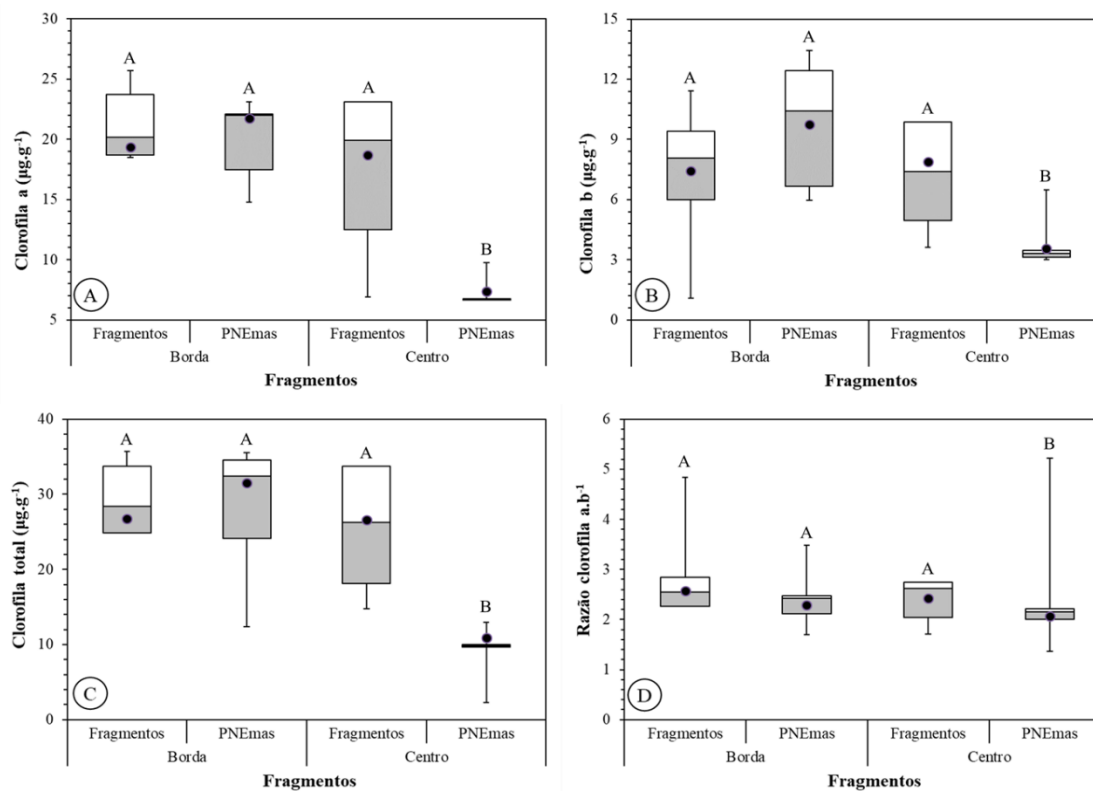


**Figura 1.** Clorofila *a* (A), *b* (B), total (C) e razão clorofila  $a\cdot b^{-1}$  (D), do líquen *Parmotrema tinctorum*, amostrado em áreas de Borda (B) e Centro (C) de três fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas (CE, FESD e CSR) e no PNEMas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Quando comparados borda e centro de todos os fragmentos com o PNEMas, foi verificado um padrão para os dados de clorofilas *a*, *b*, total e razão clorofila  $a\cdot b^{-1}$ , ou seja, foram observadas diferenças somente para os dados de centro, em que o observado para



os fragmentos ( $18,70 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $7,88 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $26,58 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $2,42 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente) foi sempre superior ao verificado para o PNEMas ( $7,37 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $3,56 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,  $10,93 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  e  $2,06 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente) (Figura 2).

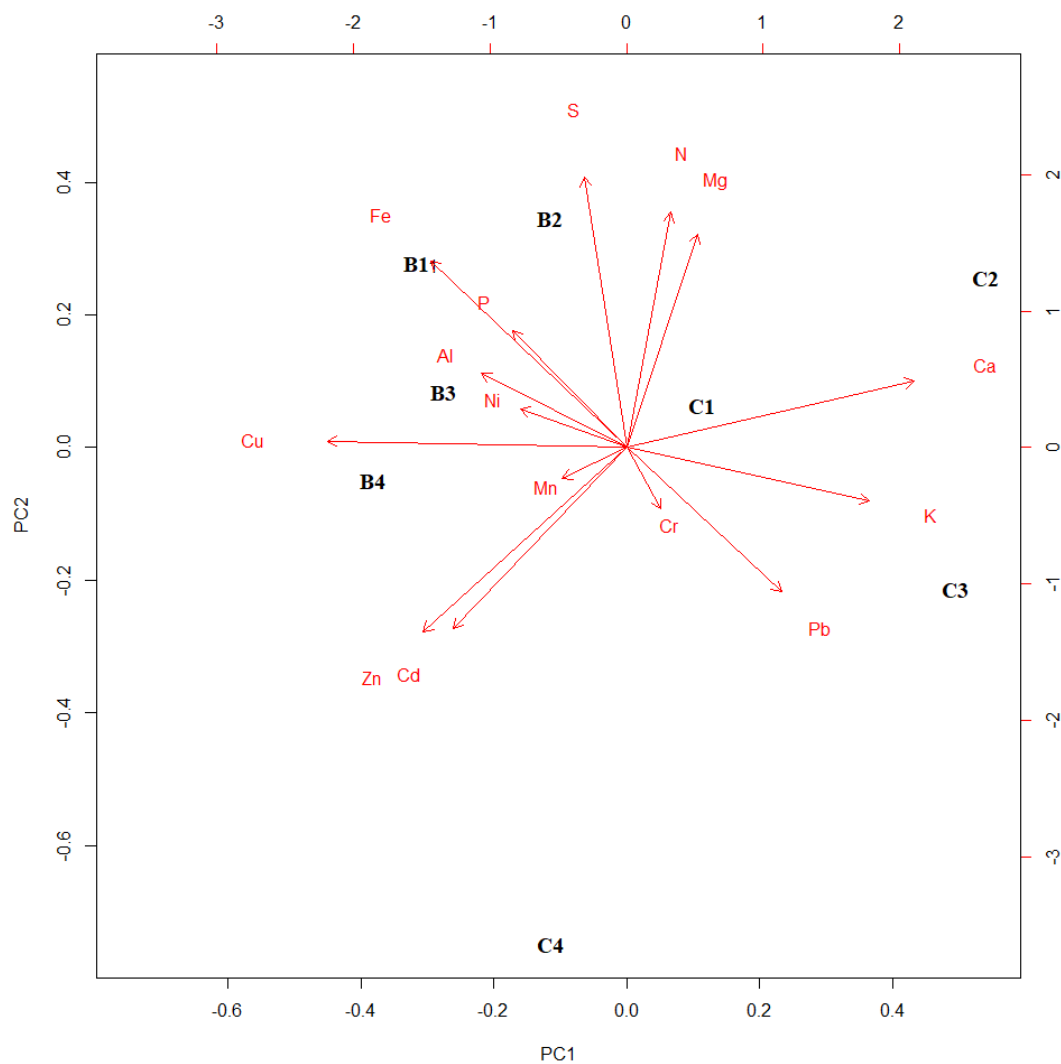


**Figura 2.** Clorofila a (A), b (B), total (C) e razão clorofila a.b<sup>-1</sup> (D), do líquen *Parmotrema tinctorum*, amostrado em áreas de Borda (B) e Centro (C) de três fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas (CE, FESD e CSR) em conjunto e no PNEMas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Todos os elementos analisados (N, P, K, Ca, Mg, S, Pb, Cr, Cd, Zn, Cu, Ni, Mn, Fe, Al) foram encontrados nos tecidos do *P. tinctorum*. A análise de PCA revelou três grupos distintos: o primeiro grupo composto pela borda de todos os fragmentos, o segundo composto pelo centro dos fragmentos CE, FESD e CSR e o último composto pelo centro do PNEMas (Figura 3). Desse modo, as altas concentrações de Fe, Cu, Zn, Cd e Al foram as principais responsáveis por determinar as diferenças entre as bordas dos fragmentos e os centros.

As diferenças observadas entre os centros dos fragmentos CE, FESD e CSR e as outras áreas são devidas também às semelhanças nos teores de K e Ca nos talos. Quanto ao centro de PNEMas, trata-se da área mais diversa, com baixíssimos teores de nutrientes

como N, Mg e S, mas com altos teores de Cd e Pb, mostrando que esta área, apesar de alocada no centro de um grande fragmento de Cerrado, área declarada há muitos anos como área protegida, não está totalmente livre da incidência de poluentes atmosféricos advindos das áreas agrícolas do entorno.



**Figura 3.** Análise de componentes principais dos teores de macro, micronutrientes e metais pesados detectados em *Parmotrema tinctorium* amostrados em áreas de borda e centro de fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas e no PNEMas. B1: borda do fragmento CE; B2: borda do fragmento FESD; B3: borda do fragmento CSR; B4: borda do fragmento PNEMas; C1: centro do fragmento CE; C2: centro do fragmento FESD; C3: centro do fragmento CSR; C4: centro do fragmento PNEMas.

A análise de correlação (Tabela 1) entre as variáveis pigmentos fotossintéticos, metais pesados e medidas anatômicas mostrou que nas áreas de borda, a Clorofila *a* (CloA) e a Clorofila total (CT) se correlacionam positivamente com as variáveis camada inferior (CI) ( $r = 0,525$ ;  $p = 0,021^*$ ;  $r = 0,558$ ;  $p = 0,013^*$ , respectivamente) e metal

pesado níquel (Ni) ( $r = 0,484$ ;  $p = 0,036^*$ ;  $r = 0,501$ ;  $p = 0,029^*$ , respectivamente). Já a Clorofila *b* se correlacionou positivamente apenas com a variável Camada inferior (CI) ( $r = 0,603$ ;  $p = 0,006^{**}$ ). Ainda nas áreas de borda, Camada superior (CS) x Alumínio (Al), Medula (M) x Al, CI x Al e Dimensão total x Al se correlacionaram positivamente entre si ( $r = 0,841$ ;  $p = 0,007^{**}$ ;  $r = 0,911$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $r = 0,801$ ;  $p = 0,038^*$ ;  $r = 0,906$ ;  $p < 0,001^{***}$ , respectivamente). A CI se correlacionou positivamente com os metais pesados chumbo (Pb) e Ni ( $r = 0,536$ ;  $p = 0,018^*$ ;  $r = 0,589$ ;  $p = 0,008^{**}$ , respectivamente) e negativamente com o cromo (Cr) ( $r = -0,502$ ;  $p = 0,029^*$ , respectivamente).

**Tabela 1.** Coeficiente de correlação de Pearson ( $r$ ) entre pigmentos fotossintéticos, metais pesados e medidas anatômicas avaliadas no líquen *Parmotrema tinctorium*, para borda, centro e total dos fragmentos estudados de diferentes fitofisionomias. CloA = Clorofila *a*; CloB = Clorofila *b*; CloT = Clorofila total; CS = Camada superior; M = Medula; CI = Camada inferior; DT = Dimensão total; As correlações significativas ( $p$ -valor  $< 0,05$ ) são marcados em negrito.

Correlação	Borda		Centro		Total	
	$r$	$p$ -valor	$r$	$p$ -valor	$r$	$p$ -valor
<b>CloA X CS</b>	-0,008	0,975	<b>0,677</b>	<b>0,001**</b>	0,219	0,181
<b>CloA X M</b>	0,042	0,865	0,767	0,079	<b>0,332</b>	<b>0,039*</b>
<b>CloA X CI</b>	<b>0,525</b>	<b>0,021*</b>	<b>0,624</b>	<b>0,003**</b>	<b>0,525</b>	<b>0,001**</b>
<b>CloA X DT</b>	0,040	0,870	<b>0,751</b>	<b>&lt;0,001***</b>	0,307	0,057
CloA X Al	0,276	0,252	-0,178	0,452	0,059	0,721
CloA X Pb	0,417	0,076	-0,411	0,072	-0,271	0,095
<b>CloA X Ni</b>	<b>0,501</b>	<b>0,029*</b>	<b>0,633</b>	<b>0,003**</b>	<b>0,457</b>	<b>0,003**</b>
CloA X Cr	-0,249	0,303	-0,068	0,775	-0,167	0,309
<b>CloA X Cd</b>	0,114	0,643	<b>-0,657</b>	<b>0,002*</b>	-0,291	0,072
<b>CloB X CS</b>	0,165	0,499	<b>0,567</b>	<b>0,009**</b>	0,268	0,099
<b>CloB X M</b>	0,220	0,366	<b>0,727</b>	<b>&lt;0,001***</b>	<b>0,408</b>	<b>0,010*</b>
<b>CloB X CI</b>	<b>0,603</b>	<b>0,006**</b>	<b>0,715</b>	<b>&lt;0,001***</b>	<b>0,602</b>	<b>0,050*</b>
<b>CloB X DT</b>	0,218	0,370	<b>0,686</b>	<b>&lt;0,001***</b>	<b>0,373</b>	<b>0,019*</b>
CloB X Al	0,434	0,063	-0,106	0,656	0,132	0,422
CloB X Pb	0,387	0,102	-0,282	0,228	-0,175	0,286
<b>CloB X Ni</b>	0,419	0,074	<b>0,520</b>	<b>0,019*</b>	<b>0,374</b>	<b>0,019*</b>
CloB X Cr	0,174	0,475	-0,077	0,747	-0,186	0,258
<b>CloB X Cd</b>	0,174	0,475	<b>-0,679</b>	<b>0,001**</b>	-0,309	0,056

<b>CloT X CS</b>	0,045	0,855	<b>0,664</b>	<b>0,001**</b>	0,239	0,143
<b>CloT X M</b>	0,097	0,692	0,779	0,052	<b>0,363</b>	<b>0,023*</b>
<b>CloT X CI</b>	<b>0,558</b>	<b>0,013*</b>	0,672	0,754	<b>0,561</b>	<b>&lt;0,001***</b>
<b>CloT X DT</b>	0,096	0,697	<b>0,754</b>	<b>&lt;0,001***</b>	<b>0,335</b>	<b>0,037*</b>
CloT X Al	0,329	0,168	-0,162	0,496	0,083	0,617
CloT X Pb	0,414	0,078	-0,384	0,095	-0,249	0,127
<b>CloT X Ni</b>	<b>0,484</b>	<b>0,036*</b>	<b>0,618</b>	<b>0,004**</b>	<b>0,443</b>	<b>0,005**</b>
CloT X Cr	-0,262	0,279	-0,073	0,759	-0,177	0,282
<b>CloT X Cd</b>	0,134	0,584	<b>-0,684</b>	<b>0,001*</b>	-0,304	0,060
<b>CS X Al</b>	<b>0,841</b>	<b>0,007**</b>	-0,405	0,077	<b>0,424</b>	<b>0,007**</b>
<b>CS X Pb</b>	-0,343	0,150	<b>-0,793</b>	<b>0,031*</b>	<b>-0,544</b>	<b>&lt;0,001***</b>
<b>CS X Ni</b>	-0,435	0,062	<b>0,968</b>	<b>&lt;0,001***</b>	-0,095	0,566
CS X Cr	-0,351	0,141	-0,022	0,927	-0,262	0,107
<b>CS X Cd</b>	0,106	0,667	<b>-0,600</b>	<b>0,005**</b>	0,059	0,722
<b>M X Al</b>	<b>0,911</b>	<b>&lt;0,001***</b>	-0,418	0,067	0,287	0,077
<b>M X Pb</b>	-0,125	0,610	<b>-0,678</b>	<b>0,001**</b>	<b>-0,328</b>	<b>0,041*</b>
<b>M X Ni</b>	-0,413	0,079	<b>0,893</b>	<b>&lt;0,001***</b>	-0,171	0,298
M X Cr	-0,178	0,466	0,092	0,699	-0,103	0,533
<b>M X Cd</b>	0,352	0,140	<b>-0,711</b>	<b>&lt;0,001***</b>	-0,077	0,641
<b>CI X Al</b>	<b>0,801</b>	<b>0,038*</b>	-0,059	0,806	0,049	0,769
<b>CI X Pb</b>	<b>0,536</b>	<b>0,018*</b>	-0,092	0,701	-0,064	0,701
<b>CI X Ni</b>	<b>0,589</b>	<b>0,008**</b>	0,359	0,120	0,175	0,286
<b>CI X Cr</b>	<b>-0,502</b>	<b>0,029*</b>	0,003	0,988	-0,077	0,643
<b>CI X Cd</b>	0,268	0,267	<b>-0,745</b>	<b>&lt;0,001***</b>	<b>-0,563</b>	<b>&lt;0,001***</b>
<b>DT X Al</b>	<b>0,906</b>	<b>&lt;0,001***</b>	-0,438	0,053	-0,022	0,892
<b>DT X Pb</b>	-0,171	0,483	<b>-0,741</b>	<b>&lt;0,001***</b>	-0,402	0,011
<b>DT X Ni</b>	-0,404	0,086	<b>0,942</b>	<b>&lt;0,001***</b>	-0,135	0,412
DT X Cr	-0,236	0,331	0,073	0,760	-0,157	0,338
<b>DT X Cd</b>	0,290	0,229	<b>-0,678</b>	<b>0,001**</b>	-0,022	0,892

Valores de p-valor maiores de 0,05 indicam não representatividade.

No Centro dos fragmentos, Tabela 1, a Clorofila *a* se correlacionou positivamente com as variáveis CS, CI, DT e Ni ( $r = 0,677$ ;  $p = 0,001^{**}$ ;  $r = 0,624$ ;  $p = 0,003^{**}$ ;  $r = 0,751$ ;  $p = <0,001^{***}$ ;  $r = 0,633$ ;  $p = 0,003^{**}$ , respectivamente) e negativamente com

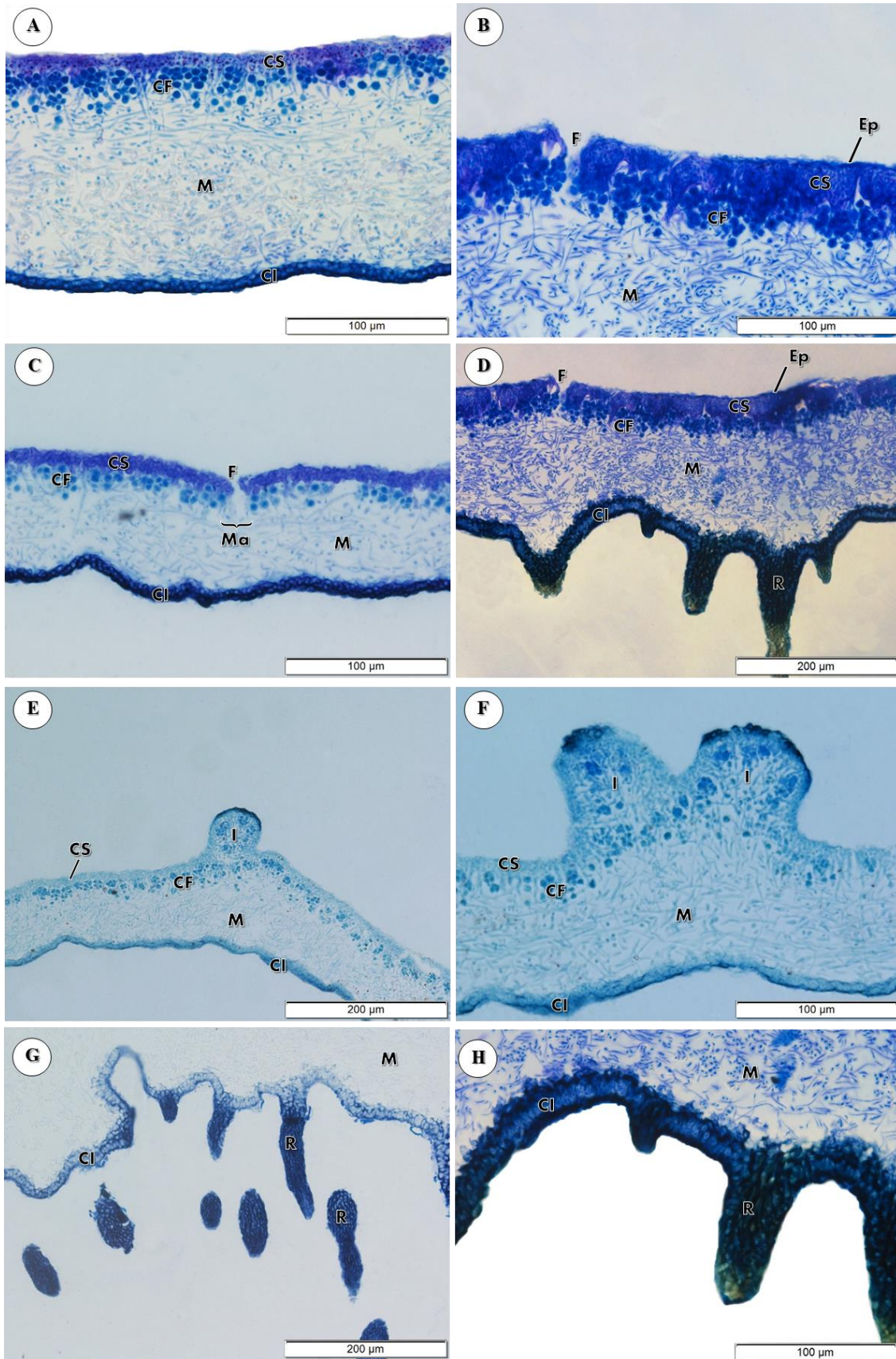
cádmio (Cd) ( $r = -0,657$ ;  $p = 0,002^*$ , respectivamente). A Clorofila *b* se correlacionou positivamente com todas as medidas anatômicas (CS, M, CI, DT) e Ni ( $r = 0,567$ ;  $p = 0,009^{**}$ ;  $r = 0,727$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $r = 0,715$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $r = 0,686$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $r = 0,520$ ;  $p = 0,019^*$ , respectivamente) e negativamente com o Cd ( $r = -0,679$ ;  $p = 0,001^{**}$ ). A clorofila total se correlacionou positivamente com CS, DT e Ni ( $r = 0,664$ ;  $p = 0,001^{**}$ ;  $r = 0,754$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $r = 0,618$ ;  $p = 0,004^{**}$ , respectivamente) e negativamente com o metal pesado Cd ( $r = -0,684$ ;  $p = 0,001^*$ ). Ainda para o centro dos fragmentos estudados, a CS ( $r = -0,793$ ;  $p = 0,031^*$ ;  $r = -0,600$ ;  $p = 0,005^{**}$ ), M ( $r = -0,678$ ;  $p = 0,001^{**}$ ;  $r = -0,711$ ;  $p < 0,001^{***}$ ) e DT ( $r = -0,741$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $r = -0,678$ ;  $p = 0,001^{**}$ ) se correlacionaram negativamente com Pb e Cd e positivamente com Ni ( $r = 0,968$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $r = 0,893$ ;  $p < 0,001^{***}$ ;  $r = 0,942$ ;  $p < 0,001^{***}$ , respectivamente). A CI se correlacionou negativamente apenas com o metal pesado Cd ( $r = -0,745$ ;  $p < 0,001^{***}$ ).

Para a área total dos fragmentos, ou seja, borda e centro avaliados juntos, todas as variáveis que se correlacionaram entre si para borda e/ou centro foram mantidas para o total. Foram observadas duas correlações positivas não existentes para borda e centro, M x CloA e CloT ( $r = 0,332$ ;  $p = 0,039^*$ ;  $r = 0,363$ ;  $p = 0,023^*$ ).

#### 4.2 Avaliações anatômicas, concentração e alocação de alumínio nos tecidos

A organização de *P. tinctorum* se dá em camadas bem definidas, o que é típico de líquens heterômeros (Figura 4A). Observa-se presença de córtex superior (CS), com função de proteção, caracterizado por hifas cobertas por um fino epicórtex (Ep), constituído por polissacarídeos (Figura 4B). Neste caso, verifica-se Ep do tipo porado, ou seja, dotado de pequenos poros responsáveis pela aeração do talo (HALE, 1984).

Logo abaixo de CS, localiza-se a camada do fotobionte (CF), que, neste caso, é trebouxioide, ou seja, pertencente ao gênero *Trebouxia* de algas verdes. As trocas gasosas na camada do fotobionte são facilitadas pelos espaços da medula (M) subjacente (KIRK *et al.*, 2008; SANDERS, 2001), que é composta por hifas frouxamente arranjadas do fungo liquenizado. A medula armazena água e substâncias liquênicas, podendo também apresentar depósitos de cristais de oxalato de cálcio (JAHNS, 1973).



**Figura 4.** Corte transversal do talo folioso de *Parmotrema tinctorum* (Parmeliaceae), corado com azul de toluidina. A) Estrutura geral do líquen folioso heterômero, mostrando a organização em camadas, com o Córte Superior (CS), Camada do Fotobionte (CF), Medula (M) e Córte Inferior (CI); B) Detalhe do

Córtex Superior (CS), mostrando o Epicórtex (Ep) e Fissura (F), além da Camada do Fotobionte (CF) e Medula (M); C e D) Estrutura geral com presença de Fissura (F) e Mácula (Ma), Epicórtex (Ep) e Rizina (R), além do Córtex Superior (CS), Camada do Fotobionte (CF), Medula (M) e Córtex Inferior (CI); E e F) Detalhe dos isídios em formação (I), Córtex Superior (CS), Camada do Fotobionte (CF), Medula (M) e Córtex Inferior (CI); G e H) Detalhe da Rizina (R) estruturas de fixação do líquen e Medula (M) e Córtex Inferior (CI).

Abaixo da medula está o córtex inferior (CI) (Figuras 4A, 4C, 4D, 4E, 4G e 4H), que assim como o superior é constituído por hifas compactadas, com função principal de proteção (PURVIS, 2000). As hifas do CI se organizam para estruturar rizinas (R) corticadas, que são feixes de hifas alinhadas e aglutinadas paralelamente com função de fixação (JAHNS, 1973) (Figuras 4D, 4G e 4H).

A espessura do córtex pode variar em diferentes gêneros de líquens e nem sempre a camada forma um estrato contínuo, havendo falhas na continuidade do córtex, Figuras 4B, 4C e 4D, que podem aparecer como fissuras (Fi) (ELIX, 1993). As Fi atuam na troca gasosa e absorção de água pelo talo, além disso, as fissuras regulares se originam justamente nos locais de formação de máculas (Ma) e anatomicamente se mostram como espaços separando pequenos buquês de hifas organizadoras do córtex superior, evitando, assim, a exposição das células de alga, mas garantido a adequada aeração do talo (Figura 4C). As máculas conferem ao talo um padrão de manchas, causadas pelas falhas de continuidade da camada do fotobionte (CF), que revelam a coloração da medula, aparecendo como marcas esbranquiçadas irregulares e afiguradas (BARBOSA, 2004; MARCELLI, 2006).

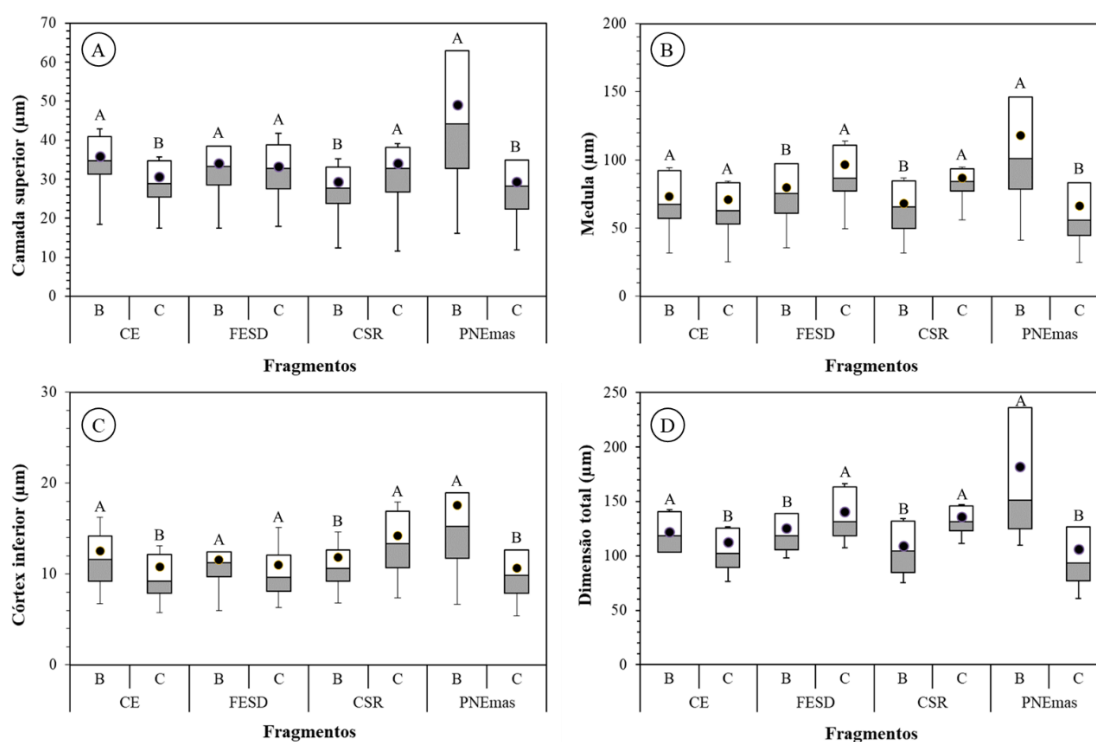
Quando analisada a alocação de alumínio nos tecidos, percebeu-se que o padrão é que ele se espalhe por todo o talo do líquen. Em relação à porcentagem de presença e ausência de alumínio nos cortes anatômicos do líquen, temos valores da borda para as áreas CE, FESD, CSR e PNEmas de 60%, 60%, 80% e 40%, respectivamente, para o centro, valores de 0%, 40%, 60% e 20%, respectivamente. Já quando avaliada a média para borda e centro de todos os fragmentos em conjunto, temos valores de 60% e 30%, respectivamente. Por fim, foram calculados os valores médios para a borda e centro dos fragmentos (CE, FESD, CSR) (66,6% e 33,3%) e do fragmento controle, PNEmas (40% e 20%).

Com relação à espessura das camadas anatômicas, para as médias da camada superior, Figura 5A, o fragmento FESD não apresentou diferença estatística entre centro e borda, sendo elas de 33,32  $\mu\text{m}$  e 34,14  $\mu\text{m}$  ( $p\text{-valor}=0,3832$ ), respectivamente. Os



fragmentos CE e PNEmas apresentaram médias superiores para a borda em relação ao centro, de 35,95 $\mu\text{m}$ , 30,70 $\mu\text{m}$  (p-valor<0,0001), 46,02 $\mu\text{m}$  e 29,41 $\mu\text{m}$  (p-valor<0,0001) respectivamente, sendo observado o contrário para o fragmento CSR, em que a média observada para o centro foi de 34,80 $\mu\text{m}$  e para a borda, de 29,31 $\mu\text{m}$  (p-valor < 0,0001).

As médias de espessura da Medula (Figura 5B) foram estatisticamente diferentes entre borda e centro para os fragmentos FESD, CSR e PNEmas, sendo que nos fragmentos FESD e CSR, as médias observadas para centro foram superiores às observadas para borda dos mesmos fragmentos (96,50 $\mu\text{m}$  e 79,92  $\mu\text{m}$ , p-valor<0,0001; 87,01 $\mu\text{m}$  e 68,31 $\mu\text{m}$ , p-valor<0,0001; respectivamente). Já para o PNEmas, a média da borda (118,20 $\mu\text{m}$ ) foi superior estatisticamente à média do centro (66,22  $\mu\text{m}$ ; p-valor<0,0001). O fragmento CE não apresentou diferença estatística entre as médias da borda e do centro (73,46  $\mu\text{m}$  e 70,71  $\mu\text{m}$ ; p-valor=0,3772, respectivamente).



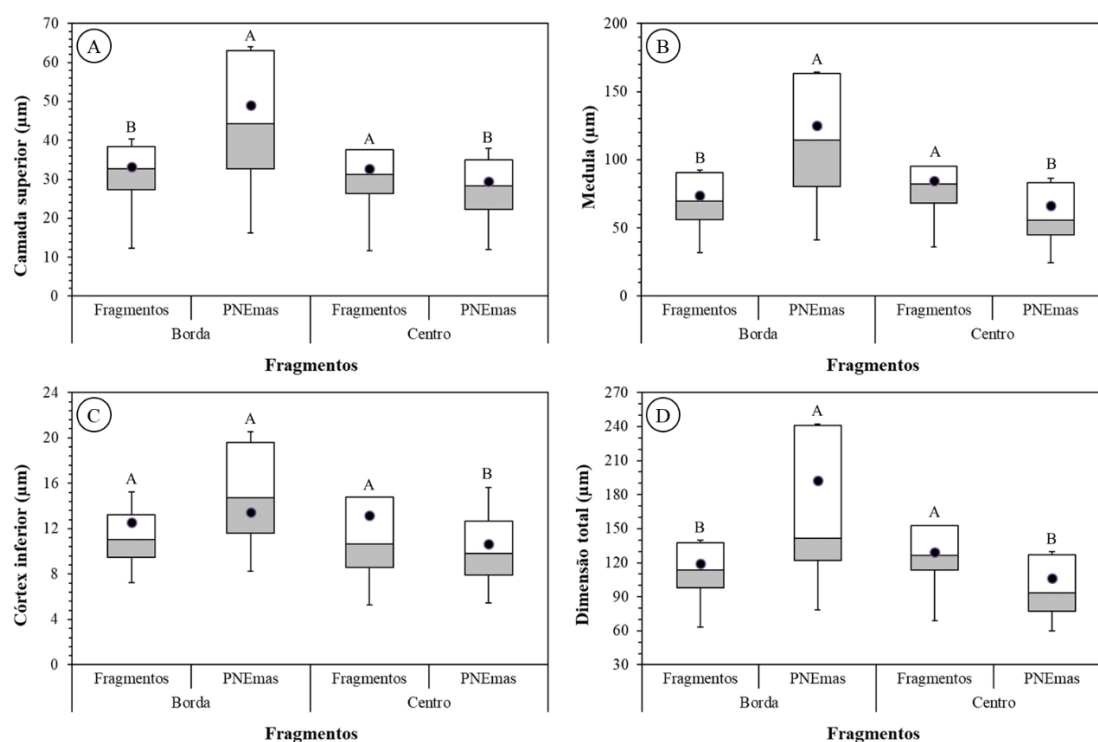
**Figura 5.** Espessura das camadas anatômicas superior, medula, córtex inferior e a dimensão total, mensuradas no líquen *Parmotrema tinctorum*, amostrado em áreas de Borda (B) e Centro (C) de três fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas (C, FESD e CSR) e no PNEmas. Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Para espessura de Córtex Inferior, Figura 5C, nos fragmentos CE e PNEmas, as médias observadas foram maiores na região de borda, 12,55 $\mu\text{m}$  e 17,57 $\mu\text{m}$ , respectivamente, diferindo estatisticamente (p-valor=0,0091 e p-valor<0,0001,



respectivamente) das médias da região do centro, 10,81  $\mu\text{m}$  e 10,65  $\mu\text{m}$ , respectivamente. Para o fragmento CSR, o centro teve média estatisticamente maior que a borda (14,22  $\mu\text{m}$  e 11,87  $\mu\text{m}$ , p-valor=0,0002; respectivamente). Por fim, o fragmento FESD não apresentou diferença estatística entre as médias de borda e centro (11,56 e 11,01, p-valor=0,2147; respectivamente)

Quando avaliada a dimensão total (DT) de *P. tinctorum*, Figura 5D, todos os fragmentos diferiram estatisticamente entre borda e centro. Para os fragmentos CE e PNEMas, a média da borda foi superior à média do centro (121,95 $\mu\text{m}$  e 112,63 $\mu\text{m}$ , p-valor=0,0157; 181,79 $\mu\text{m}$  e 106,28 $\mu\text{m}$ , p-valor<0,0001; respectivamente), sendo o oposto para os fragmentos FESD e CSR, em que a média para o centro foi superior estatisticamente à média da borda (125,62 $\mu\text{m}$  e 140,83 $\mu\text{m}$ , p-valor=0,0001; 109,49  $\mu\text{m}$  e 136,03  $\mu\text{m}$ , p-valor<0,0001; respectivamente).



**Figura 6.** Espessura das camadas anatômicas superior, medula, córtex inferior e a dimensão total, mensuradas no líquen *Parmotrema tinctorum*, amostrado em áreas de Borda (B) e Centro (C) de fragmentos vegetacionais inseridos em matrizes agrícolas e no PNEMas. Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si pelo teste Tukey ao nível de significância de 5%.

Quando avaliamos conjuntamente os dados para borda e centro de todos os fragmentos (CE, FESD e CSR), comparados com os dados de borda e centro do PNEMas, para a espessura do CS, Figura 6A, a média da borda do PNEMas se mostrou

estatisticamente superior em relação à borda dos fragmentos, sendo as médias, 49,05µm e 33,13 µm, respectivamente (p-valor<0,0001). Quando comparada à média dos centros, os fragmentos obtiveram estatisticamente maiores médias do que o PNEMas (32,69µm e 29,41µm, p-valor=0,0003; respectivamente). Para a dimensão da medula (Figura 6B) para a borda, o PNEMas teve estatisticamente maior média, 124,87 µm, do que os Fragmentos, 73,89 µm (p-valor<0,0001). Para os dados do centro, os fragmentos apresentaram estatisticamente maior média, 84,61 µm, quando comparada à média do PNEMas, 66,22 µm (p-valor<0,0001).

Em relação à média da espessura do Córtex Inferior, Figura 5C, a borda dos fragmentos (12,54µm) não é estatisticamente diferente da observada para a borda do PNEMas (13,43µm; p-valor=0,1124), embora para centro, a média dos fragmentos tenha sido superior (13,19µm) em relação ao PNEMas (10,65µm; p-valor=0,0002 ). Por fim, para a Dimensão Total, Figura 6D, de *P. tinctorum*, na borda, a média do PNEMas, de 192,33µm, foi estatisticamente superior à média dos Fragmentos, de 119,02µm (p-valor<0,0001). Em relação ao centro, a média dos fragmentos, de 129,39 µm, foi estatisticamente superior à média do PNEMas, de 126,28 µm (p-valor<0,0001).

#### 4. DISCUSSÃO

De forma geral, tem sido descrito que o fotobionte líquênico é o primeiro a ser prejudicado quando algum tipo de estresse atua sobre o líquen, com o desenvolvimento de manchas escuras no talo causadas pela acumulação de poluentes. Estas manchas indicam morte de células, degradação da clorofila e redução da fotossíntese (MAZZITELLI *et al.*, 2006). Não foi possível neste trabalho estabelecer um padrão de degradação da clorofila para a borda e o centro dos fragmentos estudados, provavelmente porque estratégias adaptativas, como aumento da camada do micobionte, podem ajudar na proteção dos pigmentos da alga, evitando, assim, a degradação da clorofila.

Estudos conduzidos com espécies de líquen transplantadas verificaram os níveis de clorofila *a* e clorofila total e foram correlacionados com a quantidade poluentes, especialmente metais pesados (BAJPAI; UPRETI, 2012; NICOLARDI *et al.*, 2012). A média de clorofila *a*, *b* e total encontrada no talo de *Parmotrema tinctorum* nas amostras do PNEMas foi estatisticamente diferente entre borda e centro, tendo as médias observadas para borda deste fragmento sido superiores às médias observadas para o

centro. Estes dados refletem a diferença verificada para os dados de CS entre borda e centro de PNEMas, sendo esperado que onde o córtex fosse maior, ou seja, com maior potencial para abrigar o fotobionte, maior seria o conteúdo de clorofila.

Já para as análises de macro, de micronutrientes e de metais pesados, o *P. tinctorum* das bordas parece acumular nos seus tecidos quantidades maiores de Cu, Al, Ni, P, Fe e S do que nas áreas de centro, comprovando nossa hipótese de que este líquen possa ser um bom bioindicador para a dispersão de poluentes químicos agrícolas, visto que estes metais detectados no talo de *Parmotrema tinctorum* são provenientes da matriz em que está inserido o fragmento, podendo assim ser originários de agrotóxicos utilizados nas áreas de agricultura que margeiam os fragmentos. Apesar disso, altas concentrações de Pb, K e Ca foram verificadas nos centros dos fragmentos, demonstrando que estes elementos, a despeito do maior adensamento de árvores, conseguem atingir áreas centrais de fragmentos de preservação, podendo afetar populações naturais. De forma geral, material particulado é o conjunto de micropartículas sólidas e líquidas presentes no ar, compreendendo ácidos, compostos orgânicos, metais, partículas de solo, poeira, pólen, entre outros (COSTA, 2017). Kaffer *et al.*, (2012) estudaram a presença de S, Pb, Cr, Hg e Zn em áreas urbanas, tendo verificado acúmulo de poluentes, em relação às amostras usadas como testemunhas. Asmann *et al.*, (2017) também estudaram a concentração dos metais pesados Al e Pb em áreas urbanas, rurais e industriais, encontrando-os em todas as áreas estudadas

A porcentagem de alumínio nos tecidos do líquen *Parmotrema tinctorium* comprova a hipótese de que há efeito de borda em todos os fragmentos estudados, inclusive no PNEMas, pois a porcentagem das amostras de borda foi sempre superior à porcentagem observada para o centro. Além disso, mesmo sendo um parque nacional de preservação e proteção integral, o PNEMas apresentou alumínio nos tecidos liquênicos em amostras da área de centro.

É possível que o aumento da espessura do CS nas áreas de borda esteja relacionado à maior incidência de luz nestas áreas, havendo maior necessidade de proteção do fotobionte de radiações excessivas, que podem promover danos ao fotossistema. Por outro lado, uma grossa camada de microbionte em áreas de borda, mais sujeitas à ação de herbicidas dispersos da matriz agrícola, se torna necessária para a proteção da camada de fotobionte. São inexistentes outros trabalhos que avaliem o efeito de herbicidas e/ou metais pesados nas camadas anatômicas dos líquens heterômeros, mas alguns estudos avaliam a vitalidade do fotobionte, confirmando que sua vitalidade diminuiu em áreas com

presença de poluentes (KÄFFER *et al.*, 2012; KOCH *et al.*, 2016; VIEIRA; FREITAS; WOLTERBEEK, 2017).

Os dados estão em acordo com a possibilidade de altas luminosidades serem danosas ao fotobionte, justificando um maior investimento do líquen em medula em áreas centrais, com maior adensamento arbóreo, portanto, com menor luminosidade. Observa-se que o comportamento das médias para CI é semelhante ao verificado para CS, indicando que o investimento em micobionte nas áreas de borda dos fragmentos CE e PNEmas se traduziu não somente na proteção à camada do fotobionte, mas também na proteção abaxial do líquen.

Quando avaliada a dimensão total (DT) de *Parmotrema tinctorum*, todos os fragmentos diferiram entre borda e centro. Esse comportamento se dá provavelmente como uma adaptação do líquen ao local em que ele se encontra. O tipo de fitofisionomia, a intensidade de luz e a umidade são os principais fatores. CS e CI, que têm como principal função a proteção das células fotossintéticas da radiação excessiva pela ação de pigmentos e compostos do metabolismo secundário, foram maiores na borda dos fragmentos CE e PNEmas, fragmentos esses caracterizados como Cerradão e Cerrado sentido restrito, onde a incidência de luz da borda em relação à luz do centro é visivelmente diferente, consequência de o espaçamento das árvores ser maior nas bordas, fruto da antropização excessiva na borda (HALE, 1983, RIKKINEN, 1995). Já os fragmentos FESD e CSR mostraram médias superiores no centro dos fragmentos para medula e, conseqüentemente, para dimensão total. Isso ocorre provavelmente porque o fragmento FESD, classificado como uma floresta estacional semidecidual, tem umidade mais elevada, por consequência, o líquen armazena maiores quantidades de água na medula, promovendo aumento da espessura desta camada.

## 5. CONCLUSÃO

Conclui-se que o líquen *Parmotrema tinctorum* mostrou potencial para ser utilizado como bioindicador da dispersão de poluentes em áreas florestais inseridas em matrizes de agricultura intensiva. O líquen *Parmotrema tinctorum* presente nas áreas de bordas parece acumular nos seus tecidos uma quantidade maior de elementos químicos que aquele presente nas áreas de centro, e as porcentagens de alumínio no tecido do líquen *P. tinctorum* na borda dos fragmentos foram superiores às porcentagens detectadas no líquen coletado no seu centro.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALSTRUP, V. Effects of pesticides on lichens. **Bryonora**, 9:2-4, 1991.

ASSMANN, B.R., CAPELLESSO, E. S., DARIVA, G. Efeito de borda na concentração de alumínio e chumbo em líquens em área urbana, rural e industrial. **Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 10, n. 6, p. 2017.

BARBOSA, S.B. **Estudos anatômicos em quatro espécies de Parmeliaceae (Ascomycota liquenizados)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas - Botânica) - Universidade Estadual Paulista – UNESP, Botucatu, São Paulo, Brasil. 2004.

BAJPAI, R.; UPRETI, D. K. Accumulation and toxic effect of arsenic and other heavy metals in a contaminated area of West Bengal, India, in the lichen *Pyxine coccinea* (Sw.) Nyl. **Ecotoxicol Environ Saf**, 83:63– 70, 2012.

BROWN, D. H. Impact of agriculture on bryophytes and lichens. Pp. 259-283, *in*: BATES, J.W.; FARMER A. M., *Bryophytes and Lichens in a Changing Environment*. Oxford, **Clarendon Press**. 1992.

CANÊZ, L.S.; MARCELLI, M.P. Gêneros de Parmeliaceae (Ascomycetes liquenizados) na localidade de Fazenda da Estrela, Vacaria, Rio Grande do Sul, Brasil. **Caderno de Pesquisa Série Biologia**, 18(3):38-82, 2006.

CARRERA, M. F.; CARRERAS, H. A. Efectos de la aplicación de glifosato sobre parámetros químico-fisiológicos en *Usnea amblyoclada* [Müll. Arg.] Zahlbr. Effects of the application of glyphosate on chemical physiological parameters of *Usnea amblyoclada* [Müll. Arg.] Zahlbr. **Ecología austral.**, 21(3), 2011.

COSTA, J. O. **Análise dos gases da exaustão em um motor diesel com injeção Common Rail alimentado com diesel, biodiesel e suas misturas**. 2017. 108f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

DAMALAS, C. A., ELEFTHEROHORINOS, I. G. Pesticide exposure, safety issues, and risk assessment indicators. **Int. J. Environ. Res. Publ. Health**, 8, 1402-1419, 2011.

ELIX, J. A. Progress in the generic delimitation of *Parmelia* sensu lato (Lichens, Ascomycotina: Parmeliaceae) and a synoptic key to the Parmeliaceae. **The Bryologist**, n. 96, p. 359-383. 1993.

FANTKE, P., FRIEDRICH, R., JOLLIET, O., Health impact and damage cost assessment of pesticides in Europe. **Environ. Int.** 49, 9-17, 2012.

FLEIG, M. **Os gêneros Parmotrema, Rimelia e Rimeliella (Lichenes Ascomycotina, Parmeliaceae) no Rio Grande do Sul, Brasil.** Tese (doutorado em Botânica). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo. São Paulo, 250 p. 1997.

GROENENDIJK, P., VAN DER KOLK, J. W. H., TRAVIS, K. Z. Prediction of exposure concentration in surface waters. *In*: HILL, I.R., HEIMBACH, F., LEEUWANGH, P., MATTHIESSEN, P., **Freshwater Field Tests for Hazard Assessment of Chemicals.** Lewis Publishers, Boca Raton, USA, pp. 105–125, 1994.

HALE, M.E., **The Biology of Lichens.** 3<sup>a</sup> ed. Arnold Editore, London, 1983.

HALE, M.E. **An historical review of the genus concept in Lichenology.** Nova Hedwigia Beiheft, n. 79. p. 11-23. 1984.

JAHNS, H.M. Anatomy, morphology and development. *In*: AHMADJIAN, V.; HALE, M.E. (ed.) **The Lichens.** New York: Academic Press. 1973.

KÄFFER, M.I. *et al.* Corticolous lichens as environmental indicators in urban areas in southern Brazil. **Ecol. Indic.** n.11, p.1319-1332, 2011.

KÄFFER, M. I. *et al.* Use of bioindicators to evaluate air quality and genotoxic compounds in an urban environment in Southern Brazil. **Environmental pollution**, v. 163, p. 24-31, 2012.

KIRK, P.M., *et al.* **Dictionary of the Fungi**. 10<sup>a</sup> ed. CABI Publishing, Wallingford, 2008.

KOCH N.M. *et al.* The application of lichens as ecological surrogates of air pollution in the subtropics: a case study in South Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, 23:20819-20834, 2016.

KULARATNE, K. I. A.; DE FREITAS, C. R. Epiphytic lichens as biomonitors of airborne heavy metal pollution. **Environmental and experimental botany**, n. 88, p. 24-32, 2013.

KUKACHKA, B.F.; MILLER, R.B. A chemical spot-test for aluminum and its value in wood identification. **IAWA Bulletin**, v.1, n.3, p.104-109, 1980.

LANDRIGAN, P. *et al.*, The lancet commission on pollution and health. **Lancet**, p.462-512. 2018.

LICHTENTHALER, H. K., WELLBURN, A. R. Determinations of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents. **Biochem. Soc. Trans.** 11, 591-592, 1983.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**, 1997.

MARCELLI, M. P. History and current knowledge of Brazilian Lichenology. **Lichenology in Latin America: history, current knowledge and applications**. CETESB, São Paulo, 25-45, 1998.

MARCELLI, M. P. **Checklist of lichens and lichenicolous fungi of Brazil**. Versão 1: junho 2004.

MARCELLI, M. P. Fungos Liqueenizados. *In*: XAVIER FILHO, L. *et al.* (ed.). **Biologia de Liqueens**. Âmbito Cultural Edições Ltda.: Rio de Janeiro. p. 503-520. 2006.

MARQUES, A. P., *et al.* Cell-membrane damage and element leaching in transplanted *Parmelia sulcata* lichen related to ambient SO<sub>2</sub>, temperature, and precipitation. **Environ Sci Technol**, 39(8):2624–2630, 2005.

MAZZITELLI, S. M. A. *et al.*, Utilização de líquens no biomonitoramento da qualidade do ar, *in*: XAVIER FILHO, L., LEGAZ, M. E., CÓRDOBA, C. V., PEREIRA, E. C. (Eds.) **Biologia de Líquens**. RJ, p. 101-143, 2006.

MARTINS, S. M. A.; MARCELLI, M. P. Specific distribution of lichens on *Dodonaea viscosa* L. in the restinga area of Itapuã State Park in Southern Brazil. **Hoehnea**, 38: 397-411, 2011.

NASH III, T. H., **Lichen biology**, 2<sup>a</sup> ed. Cambridge University Press, Cambridge, 2008.

NASH III, T. H., ELIX, J. A. Parmotrema. *In*: NASH III, T.H., RYAN, B.D., GRIES, C. & BUNGARTZ, F. (eds.). Lichen Flora of the greater Sonoran Desert Region. Volume 1. **Lichens Unlimited**, Arizona State University, Tempe, Arizona, USA. p. 318-329, 2002.

NEWMASTER, S. G., BELL F., W., VITT, D. H. The effects of glyphosate and triclopyr on common bryophytes and lichens in northwestern Ontario. NRC Canadá. **Canadian Journal of Forest Research**, 29:1101-1111, 1999.

NICOLARDI, V. *et al.*, The adaptive response of lichens to mercury exposure involves changes in the photosynthetic machinery. **Environ Pollut.**, 160:1–10, 2012.

PORTO, R. K. *et al.* Morphophysiological variation and metal concentration in the thallus of *Parmotrema tinctorum* (Despr. ex Nyl.) Hale between urban and forest areas in the subtropical region of Brazil. **Environ Sci Pollut Res**, 25:33667-33677, 2018.

PURVIS, O. W. *et al.* **The lichen flora of Great Britain and Ireland**. Natural History Museum, London. 710 p. 1992.

PURVIS, W. **Lichens**. Washington: Smithsonian Institution Press, 2000.



R CORE TEAM. R: A language and environment for statistical computing. R foundation for statistical computing. Available online: <https://www.R-project.org/>. (accessed on 30 January 2020)

RIKKINEN, J. What's behind the pretty colours? A study on the photobiology of lichens. **Bryobrothera**, 4: 1-239, 1995.

SANDERS, W. B. Lichens: the interface between Mycology and Plant Morphology. **BioScience**, 51 (12): 1025-1035, 2001.

THELL, A. *et al.* A review of the lichen family Parmeliaceae—history, phylogeny and current taxonomy. **Nordic Journal of Botany**, v. 30, n. 6, p. 641-664, 2012.

TRETIACH, M. *et al.* Efficacy of a biocide tested on selected lichens and its effects on their substrata. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 59;44-54, 2007.

VAN DOBBEN, H. F., BAKKER, A. J., Re-mapping epiphytic lichen biodiversity in the Netherlands: effects of decreasing SO<sub>2</sub> and increasing NH<sub>3</sub>. **Acta Botanica Neerlandica**, 45, 55–71, 1996.

VIANA, C.D.O. *et al.* Physiological changes of the lichen *Parmotrema tinctorum* as result of carbon nanotubes exposition. **Ecotoxicology and environmental safety**, n. 120, p. 110-116, 2015.

VIEIRA B. J., FREITAS, M. C., WOLTERBEEK, H. T. Vitality assessment of exposed lichens along different altitudes. Influence of weather conditions. **Environmental Science and Pollution Research**, 24(13), 11991-11997, 2017.

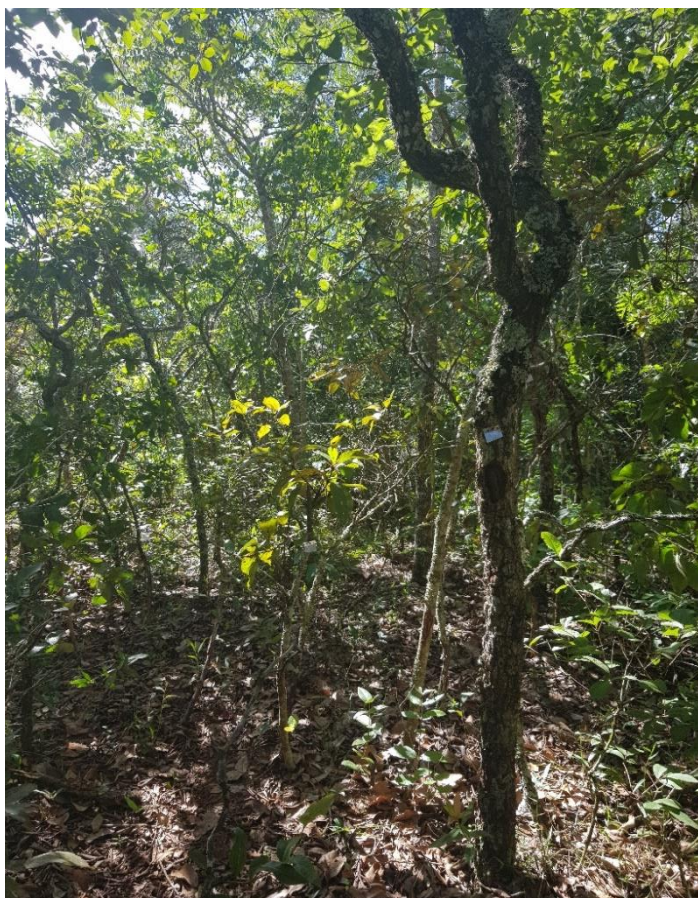
ZULAINI, A. A. M. *et al.* Evaluation of transplanted lichens, *Parmotrema tinctorum* and *Usnea diffracta* as bioindicator on heavy metals accumulation in southern peninsular Malaysia. **Journal of Sustainability Science and Management**, v. 14, n. 4, p. 1-13, (2019).

## **APÊNDICES**

## APÊNDICES A – FIGURAS COMPLEMENTARES



**Figura 1A.** Fragmento de Cerradão (CE), no município de Rio Verde, GO, margeado por agricultura intensiva.



**Figura 2A.** Visão central do fragmento Cerradão (CE), no município de Rio Verde, GO.





**Figura 3A.** Fragmento de Floresta estacional semidecidual (FESD), no município de Rio Verde, GO, margeado por agricultura intensiva.



**Figura 4A.** Visão central do fragmento de Floresta estacional semidecidual (FESD), no município de Rio Verde, GO.





**Figura 5A.** Borda do fragmento de Cerrado Sentido Restrito (CSR), no município de Rio Verde, GO.



**Figura 6A.** Visão central do fragmento Cerrado Sentido Restrito (CSR), no município de Rio Verde, GO.





**Figura 7A.** Borda do Parque Nacional das Emas (PNEmas) no município de Chapadão do Céu, GO, margeado por agricultura intensiva.

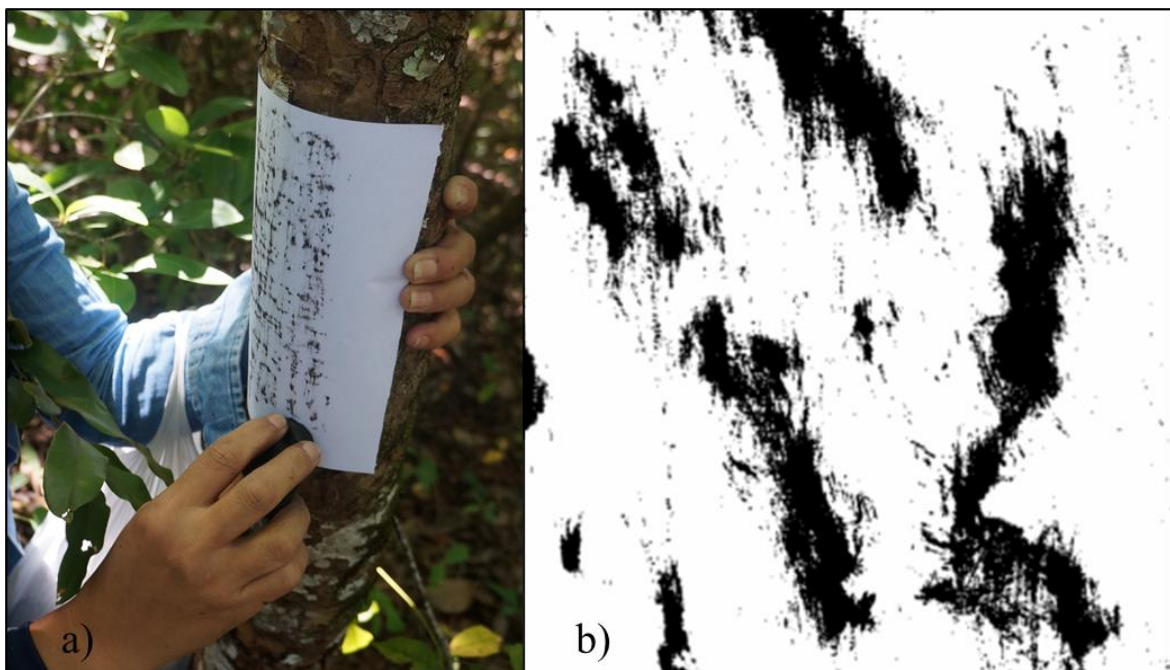


**Figura 8A.** Visão da área amostrada no centro do Parque Nacional das Emas (PNEmas), GO.





**Figura 9A.** Coleta de dados em campo. a) Dados de circunferência do caule à altura do peito (CBH) sendo coletados utilizando fita métrica. b) Medição imediata da clorofila a, b e total, utilizando-se ClorofiLOG1030®.



**Figura 10A.** Coleta de dados em campo. a) Fricções contra o córtex das árvores para a impressão da casca em papel branco b) Exemplos das versões binárias das impressões do córtex para o cálculo de da fissuração da casca (CB).



**Figura 11A.** Avaliação do pH do súber. a) Pesagem da casca das árvores em balança analítica b) 0,5 g de casca mergulhado em 5 ml de água deionizada, sendo mantidos tampados por 24 horas.



## APÊNDICE B – LISTA DE ESPÉCIES

**Tabela 1B.** Espécies amostradas por família e número de cada espécie amostradas por borda e centro de cada fragmento estudado, totalizando 718 árvores amostradas. Árvores identificadas apenas a nível de gênero que apresentaram o mesmo gênero foram diferenciadas por sp1, sp2, e assim sucessivamente. Árvores identificadas apenas a nível de família foram nomeadas como não identificadas e diferenciadas por sp1, sp2, e assim sucessivamente.

Espécies por família	Borda	Borda	Borda	Borda	Centro	Centro	Centro	Centro	Total Geral
	CE	CSR	FESD	PNEmas	CE	CSR	FESD	PNEmas	
<b>Anacardiaceae</b>		<b>5</b>	<b>14</b>			<b>34</b>	<b>14</b>		<b>67</b>
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott		5	1				1		7
<i>Lithraea molleoides</i> (Vell.) Engl.							4		4
<i>Myracrodruon urundeuva</i> M. Allemão			5			34	7		46
<i>Schinus terebinthifolia</i> Raddi			6						6
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.			2				2		4
<b>Annonaceae</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>3</b>	<b>12</b>		<b>3</b>	<b>10</b>	<b>2</b>	<b>40</b>
<i>Annona coriacea</i> Mart.		2		1				1	4
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	1	4		11		1			17
<i>Cardiopetalum calophyllum</i> Schlttdl.			3				10	1	14
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	2	1				2			5
<b>Apocynaceae</b>		<b>1</b>			<b>5</b>			<b>2</b>	<b>8</b>
<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart. & Zucc.		1							1

<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart. & Zucc.				4		1	5
<i>Hancornia speciosa</i> Gomes				1		1	2
<b>Aquifoliaceae</b>			<b>1</b>				<b>1</b>
<i>Ilex affinis</i> Gardner			1				1
<b>Arecaceae</b>						<b>1</b>	<b>1</b>
<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E.Moore						1	1
<b>Asteraceae</b>	<b>10</b>	<b>2</b>		<b>2</b>		<b>1</b>	<b>4</b>
<i>Eremanthus glomerulatus</i> Less.							3
<i>Piptocarpha macropoda</i> (DC.) Baker						1	1
<i>Piptocarpha rotundifolia</i> (Less.) Baker	9	2		2			13
<i>Piptocarpha</i> sp.	1						1
<i>Vernonanthura</i> sp.						1	1
<b>Bignoniaceae</b>		<b>2</b>					<b>2</b>
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore							2
<b>Calophyllaceae</b>	<b>1</b>					<b>2</b>	<b>5</b>
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.							2
<i>Kielmeyera speciosa</i> A.St.-Hil.	1					2	3
<b>Caryocaraceae</b>	<b>3</b>	<b>2</b>					<b>1</b>
<i>Caryocar brasiliense</i> Cambess	3	2					6

<b>Chrysobalanaceae</b>					<b>2</b>			<b>2</b>
<i>Couepia grandiflora</i> (Mart. & Zucc.) Benth.					2			2
<b>Combretaceae</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>15</b>			<b>30</b>
<i>Buchenavia tomentosa</i> Eichler	2	8			1			11
<i>Terminalia argentea</i> Mart. & Zucc.		3	1			15		19
<b>Connaraceae</b>		<b>3</b>	<b>2</b>	<b>1</b>				<b>6</b>
<i>Connarus suberosus</i> Planch.		1	2					3
<i>Rourea induta</i> Planch.		2			1			3
<b>Dilleniaceae</b>	<b>1</b>	<b>1</b>				<b>3</b>	<b>1</b>	<b>6</b>
<i>Curatella americana</i> L.	1	1				3	1	6
<b>Ebenaceae</b>		<b>3</b>	<b>7</b>				<b>1</b>	<b>11</b>
<i>Diospyros burchellii</i> Hiern		3	7				1	11
<b>Erythroxylaceae</b>		<b>3</b>	<b>3</b>	<b>1</b>		<b>3</b>	<b>16</b>	<b>26</b>
<i>Erythroxylum campestre</i> A.St.-Hil.					1			1
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.							2	2
<i>Erythroxylum deciduum</i> A.St.-Hil.		3	3				1	16
<b>Euphorbiaceae</b>					<b>1</b>			<b>1</b>
<i>Maprounea guianensis</i> Aubl.					1			1
<b>Fabaceae</b>	<b>7</b>	<b>19</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>9</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>67</b>
<i>Anadenanthera</i> sp.			2	1			1	4

<i>Andira vermifuga</i> (Mart.) Benth.	1	1				2
<i>Bauhinia</i> sp1		10		6		16
<i>Bauhinia</i> sp2				1		1
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth			1		1	2
<i>Calliandra</i> sp.	1					1
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	2	4		2	2	10
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	1	1				2
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel			1			1
Não identificada sp1			1	3		5
Não identificada sp2						1
Não identificada sp3		1				1
<i>Pterodon emarginatus</i> Vogel						1
<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville	1		7			10
<i>Stryphnodendron</i> sp.			2			2
<i>Tachigali</i> sp1					3	3
<i>Tachigali</i> sp2		1	2			3
<i>Tachigali subvelutina</i> (Benth.) Oliveira-Filho	1					1
<i>Vatairea macrocarpa</i> (Benth.) Ducke		1				1
<b>Lamiaceae</b>		<b>2</b>				<b>2</b>
<i>Aegiphila</i> sp.		1				1

<i>Aegiphila varticillata</i> Vell.		1							1
<b>Lythraceae</b>		<b>4</b>				<b>2</b>			<b>6</b>
<i>Lafoensia pacari</i> A.St.-Hil.		4							4
<i>Lafoensia</i> sp.						2			2
<b>Malpighiaceae</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>8</b>	<b>3</b>		<b>32</b>
<i>Banisteriopsis</i> sp.	1								1
<i>Byrsonima basiloba</i> A.Juss.	1								1
<i>Byrsonima coccolobifolia</i> Kunth					1	1			2
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	4		1						5
<i>Byrsonima laxiflora</i> Griseb.	1	4	3			6			14
<i>Byrsonima sericea</i> DC.	2								2
<i>Byrsonima</i> sp.							3		3
<i>Byrsonima verbascifolia</i> (L.) DC.	1			1	1	1			4
<b>Malvaceae</b>	<b>5</b>		<b>1</b>	<b>6</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>5</b>	<b>21</b>
<i>Eriotheca candolleana</i> (K.Schum.) A.Robyns	1								1
<i>Eriotheca gracilipes</i> (K.Schum.) A.Robyns	3			1	2			5	11
<i>Eriotheca pubescens</i> (Mart. & Zucc.) Schott & Endl	1			5					6
<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.			1						1
<i>Luehea divaricata</i> Mart. & Zucc.							1		1

<i>Luehea paniculata</i> Mart. & Zucc.						1			1
<b>Melastomataceae</b>	<b>2</b>	<b>1</b>		<b>4</b>	<b>5</b>			<b>2</b>	<b>14</b>
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	1			4	5			2	12
<i>Miconia ferruginata</i> DC.	1								1
Não identificada sp1		1							1
<b>Metteniusaceae</b>	<b>1</b>	<b>2</b>			<b>6</b>				<b>9</b>
<i>Emmotum nitens</i> (Benth.) Miers	1	2			5				8
<i>Emmotum</i> sp.					1				1
<b>Moraceae</b>	<b>1</b>	<b>3</b>			<b>3</b>	<b>1</b>			<b>8</b>
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	1	3			3	1			8
<b>Myrtaceae</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>7</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>7</b>	<b>28</b>
<i>Eugenia dysenterica</i> (Mart.) DC.								3	3
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.				1					1
<i>Myrcia rhodosepala</i> Kiaersk.								2	2
<i>Myrcia</i> sp.					1				1
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.			1		2	1	1		5
Não identificada sp1			1						1
Não identificada sp2							3		3
Não identificada sp3		1							1
<i>Psidium laruotteanum</i> Cambess.	1	1		2	2	1		2	9

<i>Psidium</i> sp.				2			2
<b>Nyctaginaceae</b>			<b>1</b>	<b>3</b>			<b>4</b>
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell			1	1			2
<i>Guapira</i> sp.				2			2
<b>Ochnaceae</b>	<b>6</b>		<b>1</b>	<b>11</b>		<b>30</b>	<b>48</b>
<i>Ouratea castaneifolia</i> (DC.) Engl.				3			3
<i>Ouratea hexasperma</i> (A.St.-Hil.) Baill.	6		1	8		27	42
<i>Ouratea spectabilis</i> (Mart.) Engl.						3	3
<b>Piperaceae</b>			<b>1</b>				<b>1</b>
<i>Piper</i> sp.			1				1
<b>Polygonaceae</b>		<b>2</b>				<b>1</b>	<b>3</b>
<i>Coccoloba marginata</i> Benth.		2				1	3
<b>Primulaceae</b>			<b>13</b>				<b>13</b>
<i>Myrsine umbellata</i> Mart.			13				13
<b>Proteaceae</b>	<b>2</b>	<b>2</b>		<b>3</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>9</b>
<i>Roupala montana</i> Aubl.	2	2		3	1	1	9
<b>Rhamnaceae</b>			<b>17</b>		<b>1</b>	<b>7</b>	<b>25</b>
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek			17		1	7	25
<b>Rubiaceae</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			<b>17</b>	<b>24</b>
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A.Rich.	4	1				17	22

---

<i>Coussarea hydrangeaefolia</i> (Benth.) Benth.								1	1
& Hook.f. ex Müll. Arg.									
<i>Guettarda viburnoides</i> Cham. & Schldl.			1						1
<b>Salicaceae</b>									<b>1</b>
<i>Casearia sylvestris</i> Sw.								1	1
<b>Sapindaceae</b>		<b>1</b>	<b>5</b>			<b>1</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>19</b>
<i>Cupania vernalis</i> Cambess.			1				1	1	3
<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.			1					2	3
<i>Magonia pubescens</i> A.St.-Hil.			1			1			2
<i>Matayba guianensis</i> Aubl.		1	2				3	5	11
<b>Sapotaceae</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>46</b>			<b>3</b>	<b>10</b>	<b>19</b>
<i>Chrysophyllum marginatum</i> (Hook. & Arn.) Radlk.		1	4				3	10	18
<i>Pouteria ramiflora</i> (Mart.) Radlk.		1		34				8	43
<i>Pouteria torta</i> (Mart.) Radlk.	2			12				11	25
<b>Styracaceae</b>				<b>1</b>					<b>1</b>
<i>Styrax ferrugineus</i> Nees & Mart.				1					1
<b>Urticaceae</b>	<b>1</b>		<b>2</b>			<b>6</b>			<b>9</b>
<i>Cecropia</i> sp.	1		2			6			9
<b>Vochysiaceae</b>	<b>22</b>	<b>12</b>	<b>1</b>			<b>19</b>	<b>3</b>		<b>57</b>

---



<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	22	5	1		2	1			31
<i>Qualea multiflora</i> Mart.		4			9	1			14
<i>Qualea parviflora</i> Mart.		2			8	1			11
<i>Vochysia</i> sp.		1							1
<b>Total Geral</b>	<b>84</b>	<b>97</b>	<b>69</b>	<b>100</b>	<b>96</b>	<b>89</b>	<b>85</b>	<b>98</b>	<b>718</b>