

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
CENTRO DE ENERGIA NUCLEAR NA AGRICULTURA

CAMILA ELIAS

**Amostragem sustentável de bromélias nativas para estudos  
ambientais em unidades de conservação**

Piracicaba

2008

CAMILA ELIAS

**Amostragem sustentável de bromélias nativas para estudos ambientais  
em unidades de conservação**

Dissertação apresentada ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Química na Agricultura e no Ambiente  
Orientadora: Profa. Dra. Elisabete A. De Nadai Fernandes

Piracicaba

2008

AUTORIZO A DIVULGAÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
**Seção Técnica de Biblioteca - CENA/USP**

Elias, Camila

Amostragem sustentável de bromélias nativas para estudos ambientais em unidades de conservação / Camila Elias; orientadora Elisabete A. De Nadai Fernandes. - - Piracicaba, 2008.

173 p.: fig.

Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo.

1. Análise por ativação neutrônica 2. Atmosfera 3. Ecossistemas florestais 4. Elementos químicos 5. Florestas tropicais 6. Monitoramento ambiental 7. Plantas epífitas 8. Restinga I. Título

CDU 582.548.11:543.522(815.6)

*Aos meus pais, Francisco e Aparecida, por todo o amor eternamente dedicado  
Ao Rodrigo, pelo incentivo, companheirismo e cumplicidade  
À minha irmã Samira, pela presença em todos os momentos*

**Dedico**

## AGRADECIMENTOS

Como não conseguimos nada sozinhos nessa vida, gostaria de expressar meus sinceros agradecimentos

- À Universidade de São Paulo – USP
- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA
- Ao Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – IPEN, pela irradiação das amostras
- Ao Laboratório de Radioisótopos – LRI, pelo suporte técnico-científico
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo suporte financeiro
- Ao Programa Biota, pelo apoio à presente pesquisa
- Às unidades de conservação Parque Estadual Ilha do Cardoso, Parque Estadual Carlos Botelho, Estação Ecológica de Assis e Estação Ecológica dos Caetetus, pela coleta das bromélias
- Especialmente à Profa. Dra. Elisabete A. De Nadai Fernandes, pela orientação, pelas oportunidades oferecidas, pela confiança, incentivo e amizade.
- Ao Dr. Elvis J. De França, pela dedicação ao longo de todo o trabalho, pelos valiosos ensinamentos, pelo incentivo e amizade
- Ao Dr. Márcio Arruda Bacchi, pela contribuição essencial na realização desse trabalho, pelo incentivo e amizade
- Ao Dr. Fábio Sileno Tagliaferro, pelas sugestões no trabalho e pela amizade
- Ao Prof. Dr. Ricardo Ribeiro Rodrigues, pelo apoio ao desenvolvimento da pesquisa
- Ao Prof. Dr. Tiago Böer Breier, pela ajuda na identificação das espécies de bromélias
- Ao Prof. Dr. Vinícius Castro Souza, por gentilmente conceder acesso ao material botânico do herbário
- Ao Prof. Dr. Peter Bode, pela oportunidade da visita científica ao *Department of Radiation, Radionuclides & Reactors* (RRR), pertencente à *Delft University of Technology* (TUDelft), Delft, Holanda, pelo incentivo e pela amizade
- À Profa. Dra. Siu Mui Tsai, pelo incentivo e pela amizade

- À minha amiga Angela A. Ferrari, pelo constante companheirismo, cumplicidade e pela grande amizade. Nós nem temos fotos juntas!!!
- À minha amiga Gisele Gonçalves Bortoleto por compartilhar momentos de alegria e pela amizade
- À minha amiga Adriana de Angelis Fogaça, pelos conselhos, pelo convívio de vários anos e pela amizade
- À Benedita Inês Franco Possignolo Rodrigues, por estar sempre presente e disposta a ajudar, pelo incentivo e pela amizade
- Aos amigos e colegas do Laboratório de Radioisótopos: Adriano Di Piero Filho, Aline Paladini, André Luis Lima de Araújo, Cássio Franco Moreira, Christian Turra, Claudinei Bardini Júnior, Cláudio Luiz Gonzaga, Felipe Yamada Fonseca, Gabriela de Matuoka e Chiocchetti, Isabel Pires de Oliveira Cavalca, José Flávio Macacini, Leandro Camilli, Lucimara Blumer, Lígia Maria de Aquino, Luís Gustavo Cofani dos Santos, Michael Aleixo Martins, Paula Sancinetti Modolo, Tassiane Cristina G. Martins, Vanderlei Antonio Stefanuto, Vanessa Gonçalves Neris, Vanessa Santos Rodrigues, pelos momentos agradáveis de convivência e pela amizade
- Ao Paulo Cassieri Neto, pelo apoio e pela amizade
- Aos meus cunhados André Luis Azevedo, Kelly Cristina Alves Azevedo Olivieri, Karina Regina Alves e Alessandro Antonio Galina, pela convivência e pela amizade
- Às minhas amigas Silvana Magrini, Eliane Ferreira, Diana Milani, pelos importantes conselhos e pela grande amizade
- À bibliotecária Sra. Marília R. Garcia Henyei, pelo auxílio na revisão das referências bibliográficas
- À minha querida Sandy, por todos os momentos de alegria, carinho e diversão

*“... Eu vi muitas árvores bastante diferentes das nossas e, dentre elas, muitas que tinham ramos de tipos variados, todos em um único tronco...”*

*... um raminho é de um tipo e outro de outro, e tão diferentes que é a maior maravilha do mundo, tamanha a diversidade de um tipo para outro...”*

*... um ramo tinha as folhas como as da cana e outro como as de lentisco, e assim em uma única árvore de cinco a seis desses tipos, e todos tão diversos...”*

*Cristóvão Colombo\**



---

\* Tradução de trecho do diário de bordo de Cristóvão Colombo escrito em 16 de outubro de 1492

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	09
<b>SUMMARY.....</b>	10
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	11
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	17
2.1 Tipos vegetacionais.....	17
2.2 Epífitas.....	22
2.3 Bromélias .....	27
2.4 Avaliação de qualidade ambiental: biomonitoração.....	36
2.5 Efeito da lavagem sobre a composição química foliar .....	40
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	43
3.1 Áreas de estudo .....	43
3.2 Coleta de amostras .....	56
3.3 Preparo das amostras .....	61
3.4 Análise por ativação neutrônica instrumental .....	61
3.4.1 Fundamentos .....	61
3.4.2 Irradiação .....	64
3.4.3 Medição da irradiação por espectrometria gama de alta resolução .....	66
3.4.4 Controle da qualidade do procedimento analítico .....	69
3.5 Detalhamento dos estudos.....	71
3.5.1 Estudo I – Diferenças na composição química de folhas de bromélias dos diversos tipos vegetacionais .....	71
3.5.2 Estudo II – Avaliação da composição química das diferentes espécies de bromélias .....	72

3.5.3 Estudo III – Modos de nutrição (atmosférico x tanque) e de crescimento (epifítico x terrícola).....	73
3.5.4 Estudo IV – Efeito do procedimento de lavagem na composição química ..	74
3.5.5 Estudo V – Amostragem sustentável em unidades de conservação.....	75
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	80
4.1 Controle da qualidade do procedimento analítico .....	80
4.1.1 Exatidão dos resultados .....	80
4.1.2 Reprodutibilidade ao longo dos estudos.....	82
4.2 Estudo I – Diferenças na composição química de folhas de bromélias dos diversos tipos vegetacionais.....	86
4.3 Estudo II – Avaliação da composição química das diferentes espécies de bromélias .....	92
4.4 Estudo III – Modos de nutrição (atmosférico x tanque) e de crescimento (epifítico x terrícola) .....	99
4.4.1 Modos de nutrição (atmosférico x tanque) .....	99
4.4.2 Modos de crescimento (epifítico x terrícola).....	100
4.5 Estudo IV – Efeito do procedimento de lavagem na composição química .....	102
4.6 Estudo V – Amostragem sustentável em unidades de conservação.....	107
4.6.1 Amostragem sustentável vs. Amostragem usual.....	107
4.6.2 Variabilidade entre os diferentes estádios fenológicos das folhas .....	126
4.6.3 Variabilidade química entre os terços das folhas .....	130
<b>5 CONCLUSÕES .....</b>	148
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	151
<b>APÊNDICE A.....</b>	165
<b>APÊNDICE B.....</b>	167
<b>APÊNDICE C .....</b>	170

## RESUMO

**ELIAS, C. Amostragem sustentável de bromélias nativas para estudos ambientais em unidades de conservação.** 2008. 173 p. Dissertação (Mestrado) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

O Estado de São Paulo é caracterizado por um mosaico de paisagens formado por fisionomias vegetais como a floresta de restinga, a floresta ombrófila densa, a floresta estacional semidecidual e o cerradão, representadas, respectivamente, pelas unidades de conservação Parque Estadual Ilha do Cardoso, Parque Estadual Carlos Botelho, Estação Ecológica dos Caetetus e Estação Ecológica de Assis. Mesmo protegidas legalmente, essas áreas ocorrem, na maior parte, em regiões bastante alteradas pela ação antrópica. As epífitas, especialmente as bromélias, respondem diretamente a essas intervenções, sendo interessantes para diversos estudos ambientais. As bromélias apresentam estratégias diferenciadas para a absorção de elementos químicos a partir da serrapilheira depositada no tanque (bromélia-tanque) ou diretamente da atmosfera (bromélia atmosférica). Entretanto, o emprego dessas plantas para estudos de qualidade ambiental é comprometido por etapas da análise química, principalmente relativas à amostragem e à contaminação da superfície das folhas com material particulado. De acordo com o procedimento usual, a amostragem envolve a retirada de diversas plantas, acarretando possíveis danos aos ecossistemas. Por essa razão, a proposta desse trabalho consiste em uma metodologia inovadora de amostragem denominada sustentável, em que são retirados discos de folhas das bromélias sem a necessidade de remoção das rosetas das áreas estudadas. Considerando as diferentes formações vegetacionais, a diversidade de bromeliáceas, as características nutricionais das plantas epífíticas e a problemática de amostragem de bromélias nativas em unidades de conservação, este presente trabalho teve como objetivos específicos (I) a avaliação da composição química de bromélias nos diversos tipos vegetacionais, (II) a avaliação da composição química das diferentes espécies de bromélias, (III) a avaliação da contribuição dos modos nutricionais do tipo tanque e atmosférico e dos modos de crescimento epífítico e terrícola para a composição química de folhas de bromélias (IV) a avaliação do efeito da lavagem sobre a composição química das folhas, (V) a comparação dos resultados da amostragem sustentável com aqueles da amostragem usual e (VI) a avaliação da variabilidade da composição química dos diferentes terços das folhas e terços da planta. A análise por ativação neutrônica instrumental (INAA) foi empregada por permitir a determinação simultânea de diversos elementos químicos em elevado nível metrológico. Para cada estudo realizado, as amostras tiveram preparo específico, permitindo a análise por INAA. As bromélias apresentaram diferenças quanto à composição química entre as unidades de conservação, embora não tenha sido verificada um padrão único de distribuição dos elementos químicos, corroborando composição química inerente de cada espécie. Bromélias-tanque mostraram maiores concentrações dos elementos químicos essenciais. As folhas das plantas estudadas apresentaram concentrações levemente maiores no modo epífítico quando comparadas com aquelas crescendo sobre o solo. Os resultados obtidos demonstraram a necessidade de um procedimento de lavagem para minimizar a influência de material particulado sobre as concentrações de elementos químicos nas folhas. A nova amostragem sustentável promoveu resultados comparáveis, principalmente para o terço inferior, com a amostragem usual. Ainda, aumentou-se a confiabilidade dos resultados dada a redução do número de etapas do preparo de amostras proporcionado por esta metodologia de amostragem.

Palavras-chave: Bromélias epífíticas. Qualidade ambiental. Elementos químicos. INAA.

## SUMMARY

ELIAS, C. **Sustainable sampling of native bromeliads for environmental studies in conservation units.** 2008. 173 p. Dissertation (MSc) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

The State of São Paulo, Brazil, is characterized by a mosaic of landscapes formed by diverse vegetational types as restinga forest, dense ombrophilous forest, seasonal semideciduous forest and savanna woody, respectively represented by the conservation units Parque Estadual Ilha do Cardoso, Parque Estadual Carlos Botelho, Estação Ecológica dos Caetetus and Estação Ecológica de Assis. These units are legally protected, although occurring mostly in areas highly modified by anthropogenic impacts. Epiphytes, especially bromeliads, directly respond to these impacts, being interesting for environmental studies. Bromeliads have different strategies for the uptake of chemical elements from the litterfall deposited in the tank (tank bromeliad) or from the atmosphere (atmospheric bromeliad). Many steps of the chemical analysis affect the application of these plants for environmental quality studies, including sampling and leaf surface contamination with particulate matter. According to the usual procedure, sampling depends on the removal of several rosettes, which may cause impacts on the ecosystem. Therefore, the proposal of this work consists in a novel sampling methodology, named "sustainable", in which small disks of bromeliad leaves are collected without removing rosettes from the studied areas. Considering the different vegetation, the bromeliad diversity, the nutritional characteristics of epiphytic plants and the problem of sampling native bromeliads in conservation units, this work aimed at (I) the evaluation of chemical composition of bromeliads from diverse vegetational types, (II) the evaluation of chemical composition of different bromeliad species, (III) the evaluation of the contribution of tank and atmospheric nutritional modes, as well as epiphytic and terrestrial growth modes, for the chemical composition of bromeliads, (IV) the assessment of washing effects on leaf chemical composition, (V) the comparison of sustainable sampling results with those obtained from usual sampling and (VI) the assessment of chemical composition variability at different leaf and plant positions. Instrumental neutron activation analysis (INAA) was employed, allowing the simultaneous determination of diverse chemical elements at a high metrological level. For each study, samples were prepared accordingly before being analyzed by INAA. The bromeliads showed differences in chemical composition among the conservation units. There was no uniform distribution pattern of chemical elements among the bromeliad species, corroborating an inherent species chemical composition. Tank bromeliads showed apparently high efficiency in the uptake of essential chemical elements. The studied plants showed concentrations slightly higher in bromeliads growing in epiphytic mode when compared to those growing on soil. The results demonstrated the need for the washing procedure to minimize the particulate matter influence on the concentrations of chemical elements. The new sustainable sampling provided results comparable to the usual sampling procedure, especially for the bottom plant position. Further, the reliability of the results was increased due to the reduction of steps for sample preparation provided by this sampling methodology.

Keywords: Epiphytic bromeliads. Environmental quality. Chemical elements. INAA.

## 1 INTRODUÇÃO

O Estado de São Paulo é caracterizado por um mosaico de paisagens, em que são inseridos trechos dos biomas Mata Atlântica e Cerrado, considerados prioritários para a conservação da biodiversidade mundial (MYERS et al., 2000). A diversidade de fisionomias vegetais de cada bioma é bastante elevada, envolvendo florestas de restinga, florestas ombrófilas densas, florestas estacionais semideciduais e manguezais no caso da Mata Atlântica, enquanto no Cerrado são encontrados os tipos vegetacionais campo limpo, campo sujo, campo cerrado, cerrado e cerradão. Essas fisionomias são formadas por características ambientais específicas, resultando em grande diversidade de espécies. Para a conservação de tal biodiversidade, os principais remanescentes estão protegidos pela implementação de unidades de conservação. Todavia, essas unidades de conservação ocorrem, na maior parte dos casos, em áreas bastante alteradas por agricultura, indústrias e ambiente urbano.

Dentre as unidades de conservação do Estado, o Parque Estadual Ilha do Cardoso, o Parque Estadual Carlos Botelho, a Estação Ecológica dos Caetetus e a Estação Ecológica de Assis são considerados representativos das fisionomias vegetacionais florestas de restinga, florestas ombrófilas densas, florestas estacionais semideciduais e cerradão, respectivamente.

É imprescindível o conhecimento dos processos reguladores da dinâmica e dos mecanismos mantenedores da biodiversidade, a fim de estabelecer padrões ecológicos para utilização em programas de conservação. Por outro lado, a avaliação de concentrações naturais de elementos químicos (*background*) é fundamental para a monitoração das áreas quanto aos impactos ambientais. Esse tipo de estudo é fortemente dependente da análise química da vegetação natural. A

partir do estudo de espécies vegetais nativas, é possível realizar a monitoração ao longo do tempo, permitindo avaliar importantes alterações no ambiente em decorrência da ação antrópica.

Impactos sobre a composição florística influenciam a dinâmica florestal nos ecossistemas. As epífitas podem ser mais sensíveis do que as plantas arbóreas quanto às respostas a intervenções antrópicas, ora pela diminuição significativa do número de indivíduos, ora pela extinção de algumas famílias. Nesse caso, as epífitas, principalmente as bromélias, são consideradas bioindicadoras de qualidade ambiental (HOELTGEBAUM, 2003). No entanto, poucos estudos são realizados sobre a composição química de bromélias em seu ambiente natural. Como o propósito das unidades de conservação é a preservação da biodiversidade, a introdução de espécies exóticas para esses estudos é questionável.

Além de desempenharem função ecológica, dado ao elevado número de interações intra- e interespecíficas ocorrentes, as bromélias epifíticas são importantes em florestas tropicais úmidas por incorporar elementos químicos no ecossistema. Desse modo, as bromélias devem ser estudadas para a melhor compreensão da ciclagem de elementos químicos, contribuindo significativamente para o conhecimento da distribuição e da disponibilidade desses elementos no ambiente.

As bromélias possuem mecanismos altamente especializados de absorção e manutenção de nutrientes nos tecidos. Contudo, não se conhecem as diferenças químicas ocasionadas pelo desenvolvimento de um modo nutricional específico, como bromélias atmosféricas, que absorvem elementos químicos e água diretamente da atmosfera, ou bromélias-tanque, cuja nutrição é baseada na água e na serrapilheira interceptadas pelas folhas embricadas. Além disso, não são

conhecidas as alterações na composição química de plantas de acordo com os modos de crescimento, principalmente com relação ao epifitismo ao invés do desenvolvimento sobre o solo.

As bromélias epífíticas apresentam sistema radicular reduzido voltado para a fixação no forófito, resultando em estratégia diferenciada para a acumulação de elementos químicos, incluindo os tóxicos. É sabido que a acumulação de elementos químicos por essas plantas depende da disponibilidade de fontes atmosféricas. O acúmulo de elementos tóxicos pode ser indicativo de impacto, por isso, algumas espécies de bromélias epífíticas, como as do gênero *Tillandsia*, têm sido convenientemente empregadas em estudos de biomonitoração (FIGUEIREDO et al., 2007). Esse tipo de estudo em áreas naturais é fundamental devido à proximidade dos remanescentes a áreas industriais e urbanas.

Os estudos ambientais são fortemente afetados pelas inúmeras etapas do procedimento analítico, que podem modificar as concentrações de elementos químicos quantificados nas amostras vegetais (REIMANN et al., 2001). A amostragem não representativa e a contaminação da superfície das folhas com material particulado são alguns dos exemplos mais comuns de problemas relacionados com a determinação de elementos químicos em plantas.

Para garantir a qualidade dos resultados analíticos, torna-se necessária a utilização de um protocolo de amostragem adequado, assegurando que as características intrínsecas quanto à composição química do material vegetal não sejam modificadas desde a coleta das plantas até a finalização da análise. Para isso, é importante minimizar possíveis interferências nas etapas de preparação de amostras. A metodologia comumente utilizada para amostragem e preparação das amostras de folhas de bromélias consiste na coleta de grande quantidade de

material, a partir da retirada de rosetas, seguida ou não de lavagem das folhas, secagem e moagem. Uma subamostragem é realizada para a obtenção de porção analítica representativa a ser analisada para a determinação de elementos químicos. No entanto, as etapas desse procedimento usual podem representar fontes consideráveis de erro, entre 100% e 300%, na análise química de plantas (MARKERT, 1995).

Assim, a proposta de modificação do procedimento de amostragem usual para uma amostragem sustentável, em que se retiram fragmentos das plantas que já constituem diretamente a porção analítica, pode contribuir para a produção de resultados de maior qualidade. Essa amostragem sustentável reduz o número de etapas do processo e, consequentemente, os erros atribuídos a cada etapa, podendo ainda minimizar a contaminação com elementos químicos de interesse analítico. Além disso, esse procedimento de amostragem sustentável é o mais indicado para estudos ambientais em florestas, por não remover rosetas inteiras de bromélias, o que poderia acarretar impacto negativo ao ecossistema.

Um dos fatores inovadores da amostragem sustentável é a possibilidade de estudos de variabilidade química em uma mesma planta. A amostragem de fragmentos em forma de discos pode ser realizada em diversas posições nos terços das folhas e da planta. Com isso, é possível estabelecer uma metodologia mais apropriada para a avaliação da capacidade acumulativa de elementos químicos de uma determinada espécie de bromélia. Também, padrões de distribuição nas folhas podem ser relacionados com a mobilidade e a funcionalidade dos elementos químicos.

Técnicas analíticas multielementares são importantes ferramentas para estudos ambientais em unidades de conservação, por possibilitarem uma avaliação

ampla da composição química. A análise por ativação neutrônica instrumental (INAA) tem sido muito utilizada para medição de elementos químicos em plantas. Dentre os elementos químicos estudados, os nutrientes, ou elementos químicos essenciais, desempenham funções fisiológicas necessárias para o desenvolvimento das plantas. Esses elementos estão distribuídos em três grupos funcionais, os estruturais (C, H, O, N, P, S, Si, Ca), os eletrolíticos (K, Na, Ca, Cl, Mg) e os enzimáticos (V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, B, Sn, Se, F, I, Mg). A INAA possibilita a determinação de grande parte desses elementos químicos. Além disso, acrescenta os lantanóides (La, Ce, Sm e Eu) e Hf, Sc e Th à listagem, elementos de interesse para avaliação da contaminação de compartimentos bióticos com material geológico, e também Ba, Br, Cs, Hg, Rb, Se e Sr, elementos traços, cuja discussão da importância ambiental é crescente (KABATA-PENDIAS, 2001).

Considerando as diferentes formações vegetacionais do Estado, a diversidade de bromeliáceas ocorrentes, as características nutricionais das plantas epífitas e o problema envolvido na amostragem de bromélias nativas para estudos ambientais em unidades de conservação, o presente trabalho teve como principais objetivos:

- ✿ a avaliação da composição química de bromélias nos tipos vegetacionais floresta de restinga, floresta ombrófila densa, floresta estacional semidecidual e cerradão, ecossistemas prioritários para a conservação da biodiversidade;
- ✿ a avaliação da composição química de diversas espécies de bromélias para a definição das concentrações naturais de elementos químicos, visando estudos futuros de avaliação da qualidade ambiental;

- a verificação das diferenças na acumulação de elementos químicos nas folhas das bromélias de acordo com os modos nutricionais atmosférico e tanque, e de crescimento epífítico e terrícola;
- a avaliação da etapa de lavagem do procedimento analítico, principalmente quanto à contribuição do particulado atmosférico para as concentrações de elementos químicos nas folhas;
- a avaliação dos resultados proporcionados pela amostragem sustentável em comparação com os resultados provenientes da amostragem usual, assim como o estudo da viabilidade dessa amostragem de bromélias nativas em unidades de conservação;
- o estudo da variabilidade da composição química dos discos tomados nos diferentes terços das folhas e terços da planta, para a avaliação do padrão de distribuição de elementos químicos.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Tipos vegetacionais

#### *Mata Atlântica*

A Mata Atlântica pode ser considerada um mosaico de ecossistemas diversificados, com estruturas e composições florísticas diferenciadas, sendo o bioma que apresenta maior diversidade de espécies endêmicas no mundo (INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, 2008; LEME, 1997). Compõe a segunda maior floresta tropical úmida da América do Sul, estando apenas atrás da Amazônia (OLIVEIRA-FILHO; FONTES, 2000). Originalmente cobria 1.350.000 km<sup>2</sup> do território nacional, percorrendo a costa brasileira desde o Rio Grande do Norte até o Rio Grande do Sul (LINO, 2002). O processo de devastação provocado pelos diversos ciclos econômicos, incluindo atividades agropecuárias e industriais, mineração, extrativismo vegetal clandestino, caça e pesca predatórias e expansão urbana, atingiu severamente sua área original (COSTA NETO et al., 1997), resultando em grandes perdas de biodiversidade.

Atualmente, os remanescentes de Mata Atlântica representam 7,26% (Figura 2.1) da vegetação nativa (SOS MATA ATLÂNTICA, 2008), distribuídos em 17 estados (Alagoas, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pernambuco, Piauí, Paraná, Rio Grande do Norte, Rio Grande do Sul, Rio de Janeiro, Santa Catarina, São Paulo e Sergipe) e concentrados principalmente nas regiões Sul e Sudeste. Os fragmentos do Estado de São Paulo representam cerca de 18% do bioma no Brasil, estendendo-se ao longo do litoral e encostas da Serra do Mar (COSTA NETO et al., 1997). A Mata Atlântica envolve diversos tipos vegetacionais, como as florestas ombrófila densa,

ombrófila mista, estacional semidecidual, estacional decidual, as florestas de restinga e os manguezais (COSTA NETO et al., 1997).

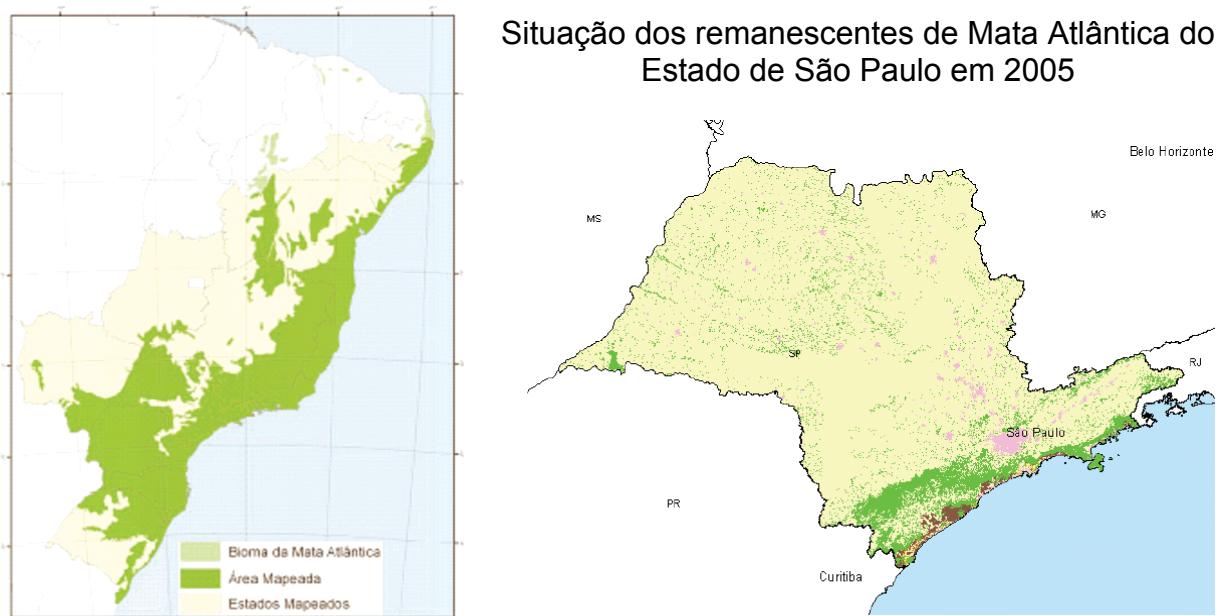


Figura 2.1 Cobertura original de Mata Atlântica na costa brasileira no ano de 1500 e a situação dos remanescentes do Estado de São Paulo em 2005 após longos períodos de devastações. Fonte: SOS Mata Atlântica (2008)

Dentre as fisionomias da Mata Atlântica, a floresta ombrófila densa remanescente está localizada em regiões com topografia bastante acidentada, o que favorece sua manutenção devido à dificuldade de acesso para a ocupação agrícola (PINHEIRO; KUX, 2002). Destaca-se pela riqueza de biodiversidade e ocorrência de muitas espécies endêmicas com distribuição exclusiva nessa formação florestal (RODRIGUES, 2006). Parte dessa abundância se deve também a fatores ambientais, como temperatura, precipitação e altitude (SCUDELLER; MARTINS; SHEPHERD, 2001), pois o clima local é caracterizado pela ausência de estação seca e por elevadas temperatura e umidade.

As espécies epífitas estão amplamente distribuídas na floresta ombrófila densa, uma vez que são altamente adaptadas às condições ambientais desse tipo

vegetacional (BORGES; SILVA, 2003). Até por isso, respondem mais facilmente às alterações nesse tipo de ecossistema, tendo sua composição florística modificada ou até mesmo sendo extintas nas áreas sob impacto. As diferenças na composição de espécies epífitas são também dependentes das fases de sucessão ou de regeneração em que as florestas se encontram (HOELTGEBAUM, 2003). Algumas espécies, como as bromélias-tanque, apresentam um aumento na diversidade nos estádios mais evoluídos de sucessão (BONNET; QUEIROZ, 2006).

Mesmo estando em regiões ecotoniais com relação à floresta ombrófila densa, as florestas de restinga apresentam vegetação característica relacionadas com as condições extremas a que estão submetidas, tais como elevadas salinidade e temperatura, além de intensa radiação solar (COGLIATTI-CARVALHO et al., 2001). Os solos são comumente oligotróficos e apresentam baixa disponibilidade de água na camada mais superficial (GOMES et al., 2007; MANTOVANI; IGLESIAS, 2005). Reconhecidas pela heterogeneidade vegetacional, as florestas de restinga apresentam grande diversidade fisionômica, variando desde formações herbáceas, seguidas por arbustivas, até florestais, em que o dossel alcança 20 m de altura (SILVA, 2008).

Dentre as epífitas, a família Bromeliaceae é bem representativa da restinga (COGLIATTI-CARVALHO et al., 2001), contudo, em número de espécies, a floresta ombrófila densa possui diversidade maior (NUNES-FREITAS et al., 2006). A maior abundância de bromélias na floresta de restinga depende da menor influência do oceano e da proteção contra ventos fortes (COGLIATTI-CARVALHO et al., 2001), assim como da redução da luminosidade proporcionada por um dossel contínuo (BERNARDI et al., 2005).

A floresta estacional semidecidual apresenta florística totalmente diferenciada da floresta de restinga e da floresta ombrófila densa, sendo observado número reduzido de algumas espécies de plantas, como é o caso das epífitas (BONNET, 2006; BORGO; SILVA, 2003). A diminuição da riqueza da vegetação na floresta estacional semidecidual está associada às condições climáticas, como a presença de estação seca bem definida, diferentemente da pluviosidade constante observada nas outras duas vegetações (BORGO; SILVA, 2003). No período de seca, nota-se redução do folhedo, dada a perda parcial das folhas das árvores, estimada entre 20% a 50%, o que modifica grandemente a fisionomia da floresta (RODRIGUES, 1999) e altera as condições ambientais. Esse fenômeno proporciona luminosidade mais intensa, atingindo todos os níveis de estratificação vertical das comunidades (BONNET, 2006), o que diminui bastante a presença de epífitas. Entretanto, algumas espécies epífíticas, inclusive algumas bromélias, possuem adaptações a essas variações de intensidade luminosa.

### *Cerrado*

O Cerrado é o segundo maior bioma em extensão no Brasil (WWF, 2008), concentrado nas regiões Centro-Oeste, Nordeste, Norte e Sudeste (Figura 2.2). Ocupava originalmente uma área com aproximadamente 2.000.000 km<sup>2</sup> (NAVES-BARBIERO et al., 2000). Atualmente, mais da metade dessas áreas foi devastada em decorrência de cultivo de pastagens e monoculturas (KLINK; MACHADO, 2005). O Cerrado no Estado de São Paulo ocupa menos de 7% de sua área original, ocorrendo apenas sob a forma de fragmentos remanescentes (DURIGAN; SIQUEIRA; FRANCO, 2007).

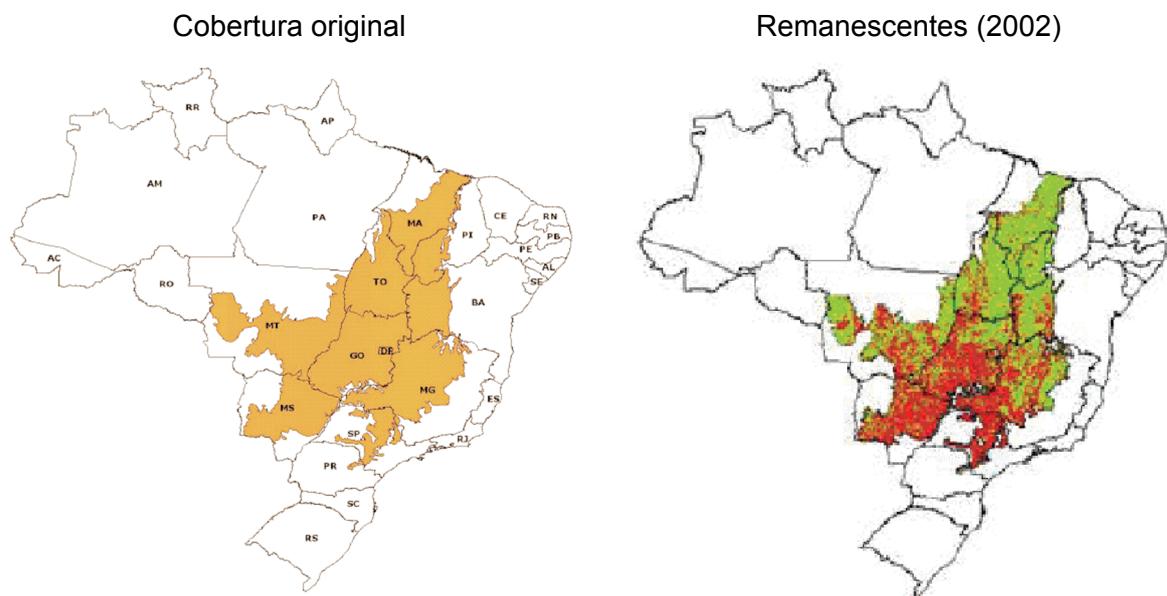


Figura 2.2 Ocupação original do bioma Cerrado no Brasil comparada com os remanescentes mapeados em 2002. No mapa à direita, as áreas vermelhas indicam a ocupação por agricultura e pecuária. Fonte: Ferreira et al. (2007)

Apesar da fragmentação das áreas, a biodiversidade do Cerrado é bastante expressiva e conspícuia (MACHADO et al., 2004). Além disso, possui elevado número de espécies endêmicas (KLINK; MACHADO, 2005) com a possibilidade de apresentar até um total de 10.000 espécies, dependendo do grau de diversificação das paisagens envolvidas (FINA, 1999). O Cerrado é constituído por um mosaico vegetacional, em que vários tipos fisionômicos podem ser caracterizados, especialmente quanto à predominância de plantas lenhosas (DURIGAN; FRANCO; SIQUEIRA, 2005). Desse modo, as subunidades fitogeográficas podem ser classificadas como campo limpo, campo sujo, campo cerrado, cerrado e cerradão, como mostra a Figura 2.3 (DURIGAN; FRANCO; SIQUEIRA, 2005).

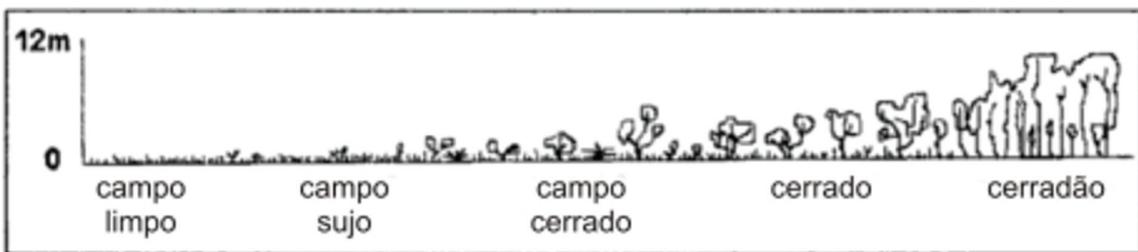


Figura 2.3 Representação esquemática do gradiente fisionômico da vegetação de Cerrado. Fonte: Durigan, Franco e De Siqueira (2005)

O cerradão se caracteriza pela ocorrência de mais espécies arbóreas, além das encontradas no cerrado (DURIGAN et al., 2003). As árvores possuem até 15 m de altura, delineando um dossel contínuo. O cerradão do Estado de São Paulo apresenta sobreposição florística com as florestas estacionais semideciduais, formando extensas áreas ecotonais (RODRIGUES, 1999). Proporciona condições lumínicas mais adequadas, que favorecem a estratificação em camadas arbóreas, arbustivas e herbáceas (RIBEIRO; WALTER, 2008). A ocorrência de espécies epífitas é menor no cerradão, quando comparado com os demais tipos vegetacionais do Brasil (BREIER, 2005), devido às condições climáticas de elevada luminosidade, deficiência hídrica, baixa umidade e variações na temperatura durante o inverno, que caracterizam esse ecossistema. As epífitas preferem ambientes mais sombreados e áreas protegidas dos ventos (BREIER, 2005). No entanto, como estratégia de sobrevivência, algumas espécies epífitas se adaptaram a esse ambiente (BREIER, 2005).

## 2.2 Epífitas

O Brasil apresenta a maior biodiversidade do mundo, dada sua extensa área, além de possuir variações de clima e solo propícias para o desenvolvimento de diversos tipos vegetacionais (LEITÃO FILHO, 1987; MINISTÉRIO DO MEIO

AMBIENTE, 1998). Essa diversidade não somente inclui as espécies arbóreas como também as epífíticas (GENTRY; DODSON, 1987a). As epífitas representam aproximadamente 10% das plantas vasculares presentes nas florestas tropicais das Américas (SUGDEN; ROBINS, 1979). Estão divididas em 876 gêneros distribuídos em 84 famílias, sendo que 80% das espécies são representantes das famílias Orchidaceae, Bromeliaceae, Polypodiaceae e Araceae (GENTRY; DODSON, 1987b). Epífitas são responsáveis por grande parte da diversidade, podendo constituir até 50% do total de espécies vasculares em florestas (KERSTEN; SILVA, 2001). Por não apresentarem contato direto com o solo, utilizando-se dos forófitos (árvore-suporte) apenas para sustentação (BRIGHIGNA et al., 1997), as epífitas aumentam o grau de estratificação e complexidade das florestas tropicais. As relações das epífitas com seus forófitos são interações ecológicas comensais, em que as árvores-suporte não são prejudicadas, enquanto oferecem suporte e condições ambientais apropriadas para o desenvolvimento das epífitas.

As epífitas estão mais concentradas nas florestas tropicais devido à sua dependência da umidade do ar, logo há diminuição acentuada da diversidade desse grupo de plantas em florestas temperadas (NADKARNI; MERWLN; NIEDERT, 2001). A densidade da flora epífita é alterada por gradientes altitudinal e latitudinal. Em geral, as epífitas estão mais presentes em altitudes intermediárias de florestas úmidas, ocorrendo redução do número de epífitas com o aumento da latitude, embora não simetricamente proporcional para ambos os lados da Linha do Equador (GENTRY; DODSON, 1987b).

Nos ecossistemas, a abundância de epífitas pode estar também relacionada com a interação entre epífitas e artrópodes, especialmente as formigas. Plantas são consideradas mirmecófitas por apresentarem relação de mutualismo com formigas

(DEJEAN; OLMSTED; SNELLING, 1995). As formigas utilizam as bromélias como abrigo e fonte de alimentação e, em troca, carregam matéria orgânica para dentro do tanque que, por sua vez, incrementa a disponibilidade de nutrientes para as plantas após a mineralização das substâncias orgânicas (BENZING, 1970). Além disso, as formigas protegem as epífitas de herbívoros e, em alguns casos, até de outras plantas (DEJEAN; OLMSTED; SNELLING, 1995). Dentre alguns exemplos de mutualismo mirmecófilo, as formigas do gênero *Camponotus* são encontradas entre as folhas das bromélias e podem estar associadas à presença de soluções açucaradas de néctar floral, folhas, frutos, sementes, dejetos e animais nos tanques (BATTIROLA et al., 2005).

Conforme a interação com seus forófitos, as epífitas foram classificadas em *acidentais*, que não estão adaptadas ao ambiente epífítico, mas podem crescer ocasionalmente sobre forófitos; *facultativas*, que crescem tanto sobre o solo quanto sobre as árvores; e *habituais*, que possuem características diversificadas e estruturas especializadas para o crescimento sobre os forófitos (BENZING, 1990). A morfologia das árvores, inclusive a extensão da casca, diâmetro, ângulo e textura, é fator essencial para o estabelecimento e desenvolvimento das epífitas sobre os forófitos (KERNAN; FOWLER, 1995). No entanto, Callaway (2001) demonstrou que a estrutura e diversidade das comunidades epífíticas não podem ser exclusivamente dependentes das características da árvore-suporte, evidenciando-se a importância das interações interespecíficas para a ocupação dos diversos habitats no ecossistema.

Como estratégias de sobrevivência, algumas espécies epífíticas adaptaram-se a ambientes de elevado índice de incidência solar, baixa umidade e estresse hídrico (BENZING, 2004). Benzing (1990), por exemplo, verificou grandes

comunidades de bromélias e orquídeas em vegetação de cactos e arbustos de clima quente e seco. A presença de epífitas em regiões com condições ambientais totalmente desfavoráveis se deve ao desenvolvimento do metabolismo CAM - metabolismo ácido das crassuláceas, presente na maioria das epífitas vasculares (BENZING, 2004; LÜTTGE, 2004). Esse processo aumenta a eficiência na utilização da água, pela abertura dos estômatos durante a noite, evitando a perda de água por evapotranspiração durante o dia.

Com relação à obtenção de água e nutrientes, a principal fonte é a atmosfera, por meio da precipitação e deposição seca (HUSK; WEISHAMPEL; SCHLESINGER, 2004). Sugden e Robins (1979) observaram que a umidade retirada de nuvens e neblina é mais importante para as epífitas do que aquela obtida da chuva. Existem, ainda, as fontes nutricionais indiretas como a água lixiviada das árvores (HUSK; WEISHAMPEL; SCHLESINGER, 2004), a serrapilheira interceptada (OLIVEIRA, 2004), a decomposição das cascas dos forófitos, as fezes de animais (BENZING, 1990), a terra ressuspensa e a mirmecofilia (BENZING, 2004).

Formando um estrato suspenso na vegetação arbórea, epífitas contribuem para os processos funcionais dos ecossistemas, em especial para a ciclagem de nutrientes (Figura 2.4), que é potencializada devido à absorção de elementos químicos diretamente da atmosfera e incorporação no ecossistema (NADKARNI, 1994). Os nutrientes absorvidos pelas epífitas são estocados durante seu desenvolvimento e liberados para o ecossistema pela decomposição de sua matéria orgânica (NADKARNI; MATELSON, 1991). A transferência desses nutrientes para o ambiente pode ser feita a partir da formação de serrapilheira, diretamente ao forófito por meio de raízes adventícias e, ainda, por herbivoria (NADKARNI; MATELSON, 1992; NADKARNI, 1994).

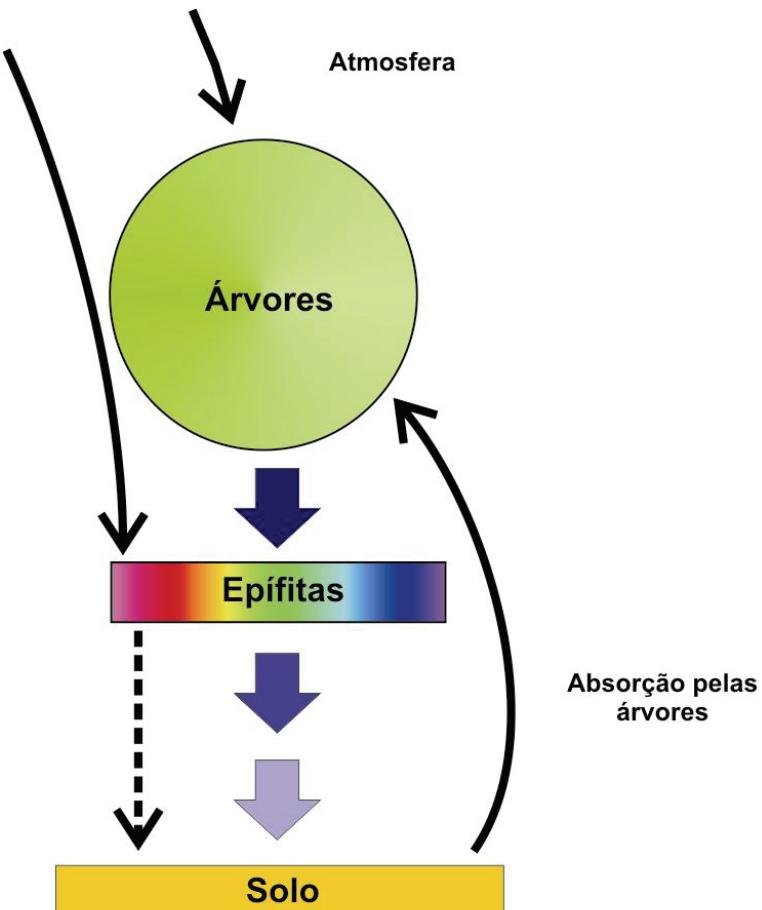


Figura 2.4 Ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais com abundância de epífitas. Setas indicam as direções do fluxo de nutrientes, o círculo e os retângulos mostram o estoque dos nutrientes. Fonte: Benzing (2004)

As epífitas são importantes componentes estruturais em florestas tropicais (ENGWALD; SCHMITT-NEUERBURG; BARTHLOTT, 2000; MERWLN; RENTMEESTER; NADKARNI, 2003), pois influenciam a dinâmica de comunidades, dada a incorporação de nutrientes no ecossistema (BENZING, 2004). Em florestas da Costa Rica, Nadkarni (1984) observou que, embora a massa seca de epífitas não ultrapassasse 2%, os nutrientes oriundos dessas plantas representavam 45% do total contido no compartimento folha desse ecossistema. Ainda, na floresta montana de Monteverde, Costa Rica, Nadkarni e Matelson (1992) identificaram que a serrapilheira proveniente de epífitas possuia maiores concentrações de nutrientes quando comparada com a fração arbórea. A produção do material epífítico foi

0,5 ton ha<sup>-1</sup>, o que correspondeu a cerca de 5% a 10% da produção total de serrapilheira nessa floresta. De modo geral, a serrapilheira das epífitas foi enriquecida em N, P, Ca e Mg, enquanto K apresentou maior concentração na serrapilheira derivada de espécies arbóreas.

Além das espécies epífíticas terem papel fundamental na conservação de ecossistemas, por contribuírem grandemente para a ciclagem de nutrientes (NADKARNI, 1984), também são geradoras de diversidade biológica, incrementando a complexidade de florestas tropicais (GENTRY; DODSON, 1987a). Em grande parte, as bromélias epífíticas agem como mantenedores da biodiversidade, pois proporcionam alimento e habitat para as mais variadas espécies de animais, além de desempenharem um importante papel na manutenção de água e nutrientes no ecossistema (BENZING, 1990).

### **2.3 Bromélias**

Dentre as epífitas vasculares, Bromeliaceae é uma das maiores famílias (BENZING, 1990). São reconhecidas aproximadamente 3.000 espécies de bromélias pertencentes a 56 gêneros, com mais de 50% epífitas (MARTINELLI; AZOURY, 2000). As bromélias estão amplamente distribuídas em florestas tropicais e subtropicais úmidas da América do Sul e Central (BENZING; GIVNISH; BERMUDES, 1985), ocorrendo em diversos ecossistemas, desde o centro da Argentina e Chile até o sul dos Estados Unidos (ROCHA, 2002; RORIZ, 1992). A única exceção é a espécie *Pitcairnia feliciana* (A. Chevalier) Harms & Mildbraed, descoberta no Golfo da Guiné, na África Ocidental em 1937 (RORIZ, 1992). Nos tipos vegetacionais do Brasil, são encontrados 70% dos gêneros de bromélias, dos quais 40% das espécies ocorrem no bioma Mata Atlântica (LEME, 1997).

A família Bromeliaceae é subdividida nas subfamílias Pitcairnioideae, Bromelioideae e Tillandsioideae, baseando-se em características como tipo de habitá, frutos, flores, sementes e tricomas foliares (BENZING; GIVNISH; BERMUDES, 1985; BROWN; GILMARTIN, 1984; LEME, 1997). As espécies da subfamília Pitcairnioideae apresentam estruturas primitivas e mecanismos rudimentares para uso de água e absorção de nutrientes da atmosfera, sendo dependentes do solo (BENZING; GIVNISH; BERMUDES, 1985). Essas bromélias crescem em locais de intensa radiação, principalmente em solos muito úmidos, arenosos ou húmicos (MEDINA, 1974). Possuem tanque pouco desenvolvido, lâminas foliares bem espessas e folhas espinhosas, exceto as do gênero *Pitcairnia* (GILMARTIN; BROWN, 1986). São representadas pelos gêneros *Pitcairnia*, *Puya*, *Dyckia* e *Navia* (MOREIRA; WANDERLEY; CRUZ-BARROS, 2006; SOCIEDADE BRASILEIRA DE BROMÉLIAS, 2008).

A subfamília Tillandsioideae inclui espécies de habitás mésico, semi-mésico e xérico, sendo todas espécies epífitas ou rupícolas (GILMARTIN; BROWN, 1986). Espécies do gênero *Tillandsia* são as mais adaptadas a locais com alta intensidade luminosa e ambientes secos (MEDINA, 1974). As espécies dessa subfamília possuem folhas lisas e sucosas (presentes no gênero *Tillandsia*) e sistema radicular reduzido (BENZING, 1987). A velocidade de crescimento é lenta, podendo algumas espécies requerer quatro anos ou mais para florescer (BENZING; RENFROW, 1974). As bromélias de Tillandsioideae apresentam tricomas foliares com alta capacidade de absorção, dispostos ao longo da superfície foliar e da bainha (BENZING et al., 1976). Bromélias atmosféricas nessa subfamília são exclusivamente do gênero *Tillandsia* (BENZING; RENFROW, 1974), e juntamente

com *Vriesea*, *Guzmania* e *Werauhia* compõem os gêneros mais representativos desta subfamília (MOREIRA; WANDERLEY; CRUZ-BARROS, 2006; SBBR, 2008).

Bromelioideae é a subfamília com maior biodiversidade, sendo reconhecidos 29 gêneros, dos quais 10 são endêmicos no Brasil (LEME, 1997). Essa subfamília é representada por espécies epífitas e terrícolas, sendo grande parte delas formadoras de tanque (BENZING; RENFROW, 1974). Apresentam tricomas com baixa especialização estrutural ou funcional na bainha, enquanto os tricomas presentes na superfície foliar têm função reduzida de absorção de água e nutrientes (BENZING et al., 1976). Os gêneros mais freqüentes são *Neoregelia*, *Billbergia*, *Nidularium* e *Bromelia* (MOREIRA; WANDERLEY; CRUZ-BARROS, 2006; SBBR, 2008).

Na subfamília Pitcairnioideae, ocorrem principalmente espécies com raízes voltadas para a absorção de água e nutrientes (BENZING; RENFROW, 1974), enquanto nas subfamílias Bromelioideae e Tillandsioideae, as raízes apenas auxiliam na sustentação das plantas em árvores e rochas, corroborando o hábito epífítico (SEGEVIN; SCATENA, 2004). As raízes secretam substâncias que, em contato com o ar, enrijecem para fixação da planta nos forófitos (REITZ, 2007).

As bromélias possuem caule reduzido que, na maioria das espécies, está densamente coberto por folhas imbricadas formando um tanque, portanto, sendo denominadas bromélias-tanque (MOREIRA; WANDERLEY; CRUZ-BARROS, 2006), conforme mostra a Figura 2.5. Existe, ainda, um segundo grupo referente às bromélias atmosféricas (BENZING, 1987; GILMARTIN, BROWN, 1986) visualizando-se na Figura 2.5. No entanto, algumas bromélias-tanque podem passar por uma fase atmosférica quando jovens (ADAMS; MARTIN, 1986).

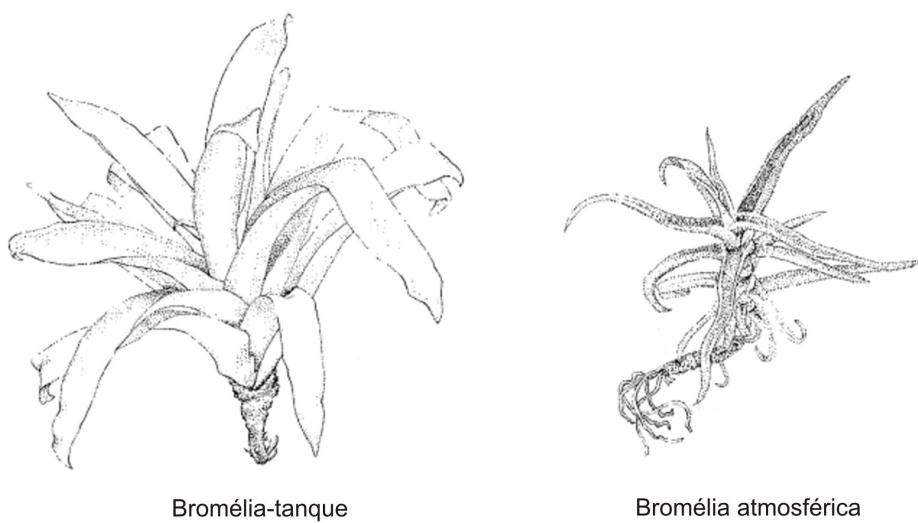


Figura 2.5 Ilustrações de bromélias com os modos de nutrição tipo tanque e atmosférica. A presença de tanque ocorre na maioria das espécies. Adaptado de Gilmartin e Brown (1986)

Adams e Martin (1986) encontraram diferenças na estrutura e densidade dos tricomas e nos estômatos da espécie *Tillandsia deppeana* entre as fases jovem e adulta. Plantas jovens são caracterizadas por não apresentarem formação de tanque, enquanto durante a transição para forma adulta são observadas folhas sobrepostas com entrenós curtos, formando uma roseta. Mesmo assim, *T. deppeana* desenvolveu modos de absorção similares à fase adulta de espécies atmosféricas.

A presença de tricomas em Bromeliaceae (Figura 2.6) é considerada uma evolução para essa família (GILMARTIN; BROWN, 1987). Os tricomas têm a função de absorver água e nutrientes para dentro dos tecidos, além de evitar o ressecamento dos estômatos em regiões de alta incidência luminosa (AMADO FILHO et al., 2002; BENZING et al., 1976). Os tricomas de espécies atmosféricas podem também criar um microclima propício para o desenvolvimento de microorganismos, como bactérias fixadoras de nitrogênio, e para a retenção de umidade atmosférica, aerossóis e poeiras em suspensão (BRIGHIGNA et al., 1992, 1997).

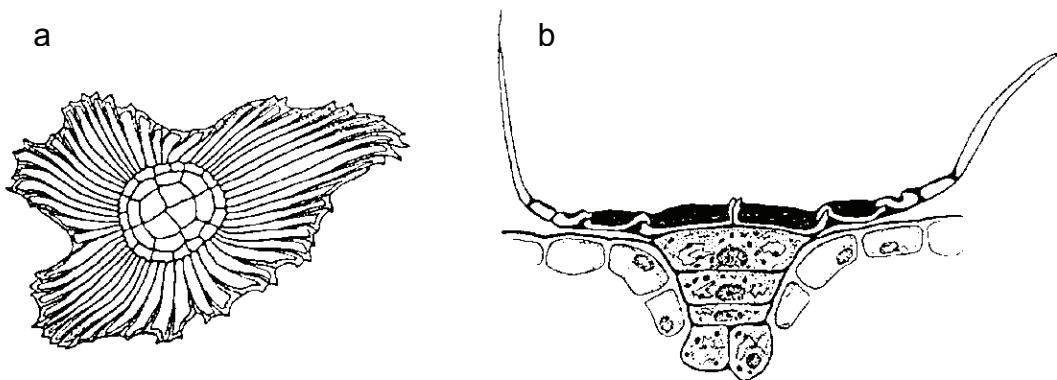


Figura 2.6 Representação do tricoma da espécie *Tillandsia*, visto de cima (a) e em secção longitudinal (b). Fonte: Brighigna et al. (1997)

Os tricomas foliares estão presentes nas três subfamílias embora o grau de especialização seja variado entre as espécies. Cada espécie apresenta tricomas com diferentes estruturas e distribuição nas folhas e na bainha (BENZING; SEEMANN; RENFROW, 1978). Em espécies atmosféricas, a absorção foliar por tricomas é mais pronunciada (BENZING et al., 1976). Nas bromélias-tanque, as folhas possuem na base foliar uma parte alargada (bainha), permitindo maior acúmulo de água e matéria orgânica (ZOTZ; THOMAS, 1999). A bainha apresenta tricomas que absorvem nutrientes e água (BENZING et al., 1976), provenientes de serrapilheira, fezes de pequenos animais, precipitação interna (filtrada pelo dossel da floresta) e do escoamento pelo tronco (BENZING; RENFROW, 1974; INSELSBACHER et al., 2007; ROMERO et al., 2006). Inselsbacher et al. (2007) observaram que animais habitantes dos tanques de bromélias excretam altas quantidades de uréia e ácido úrico. Por meio dos tricomas da bainha, as bromélias-tanque absorvem eficientemente esses compostos, garantindo uma fonte significativa de nitrogênio.

As bromélias atmosféricas são especializadas em retirar nutrientes e água diretamente da atmosfera (BRIGHIGNA et al., 1997; ENDRES; MERCIER, 2003;

FIGUEIREDO et al., 2007), como a maioria das espécies da subfamília Tillandsioideae. As espécies de *Tillandsia* são recobertas por uma camada densa de tricomas epidérmicos distribuídos em toda extensão das folhas, o que aumenta consideravelmente a superfície de captação de água e nutrientes via deposições seca e úmida (BENZING; SEEMAN; RENFROW, 1978; FIGUEIREDO et al., 2007; GARTH, 1964; GILMARTIN, 1983; PIGNATA et al., 2002; SCATENA; SEGECIN, 2005).

A capacidade de absorção dos tricomas não ocorre apenas para substâncias inorgânicas, pois Nyman et al. (1987) testaram a atividade dos tricomas foliares presentes na espécie *Tillandsia paucifolia* a partir do fornecimento de solução de aminoácidos pulverizada nas folhas. Nos tecidos epidérmicos da bromélia foram encontrados 17 aminoácidos, demonstrando, assim, a capacidade de absorção pelos tricomas foliares.

Além da presença dos tricomas ser considerada uma evolução na família Bromeliaceae, outra estratégia adaptativa é o metabolismo CAM (CHRISTOPHER; HOLTUM, 1998), processo que evita a perda de água por transpiração, suavizando os efeitos danosos da alta incidência luminosa (BENZING, 2004). Esse tipo de metabolismo está presente em aproximadamente dois terços das bromélias epífitas e em todas as espécies que ocupam regiões secas ou estão expostas a altos níveis de radiação solar (MARTIN, 1994). Nas subfamílias Pitcairnioideae e Tillandsioideae ocorrem espécies CAM e C3, enquanto na Bromelioideae predominam as espécies CAM (CRAYN; WINTER; SMITH, 2004).

As bromélias também estão adaptadas às mais variadas condições de luminosidade (ROCHA, 2002). Espécies de *Tillandsia* preferem ambientes mais abertos, em que a evapotranspiração seja constante (BENZING, 2004). Em contato

com umidade excessiva, os tricomas permanecem fechados, impossibilitando as trocas gasosas pelas folhas e ocasionando sufocamento da planta (BENZING, 2004). Desse modo, esse gênero não demonstra preferência para áreas sombreadas e úmidas (BONNET; QUEIROZ, 2006). As espécies de *Tillandsia* são encontradas geralmente em florestas estacionais, enquanto nas florestas ombrófilas densas e restingas, que são áreas úmidas, predominam espécies do gênero *Vriesea*, também da subfamília Tillandsioidae (GILMARTIN; BROWN, 1986; KERSTEN, 2006).

Outros fatores ambientais, como umidade e temperatura, são responsáveis pela distribuição de bromélias em ecossistemas (SUGDEN; ROBINS, 1979). Em locais mais secos, ocorre a diminuição no número de espécies, assim como em temperaturas mais baixas acompanhadas de estação seca definida (ZOTZ; HIETZ, 2001). A altitude também pode ser um fator limitante para essas plantas (HIETZ; HIETZ-SEIFERT, 1995; HOELTGEBAUM, 2003; SUGDEN; ROBINS, 1979). Grande número de espécies foi encontrado em regiões mais altas, com altitude acima de 600 m, em que a cobertura de nuvens é mais freqüente e prolongada, proporcionando clima mais úmido, favorável para a sobrevivência de bromélias (SUGDEN; ROBINS, 1979). Hietz e Hietz-Seifert (1995) verificaram maior ocorrência de espécies de bromélias e maior biomassa nas altitudes intermediárias, de 1430 m, na face Atlântica da porção central do estado de Veracruz no México. Contudo, também encontraram elevado número de bromélias e orquídeas nas baixas altitudes de parte dessa floresta, onde a precipitação não é intensa.

Com relação à distribuição das bromélias epífitas em florestas, os padrões podem variar horizontalmente, quando são relacionados com os diferentes tipos de florestas e forófitos, e verticalmente, quando as mudanças ocorrem desde a base até

a copa de um mesmo forófito ou um conjunto deles (STEEGE; CORNELISSEN, 1989). Foi proposto por Hazen (1966) que a distribuição das bromélias nos forófitos é aleatória. No entanto, em três comunidades de bromélias epífíticas, as diferenças na distribuição espacial estavam relacionadas com a preferência pelo substrato (ZOTZ, 1997). Bromélias-tanque e com sementes zoocóricas preferiram a parte baixa da copa para o seu desenvolvimento. Por causa da sua grande biomassa, identificou-se a necessidade de suportes reforçados, encontrados em ramos mais espessos, tendo, ainda, a vantagem de que esse locais são preferenciais para pouso das aves dispersoras (BONNET, 2006).

As flores das bromélias são recursos alimentares para várias espécies de aves (CARVALHO, 2008). A variedade e forma de suas flores são atrativas para polinizadores como morcegos e, principalmente, beija-flores (SAZIMA; BUZATO; SAZIMA, 1999; ANDRADE, 2006). As sementes são disseminadas por aves, na subfamília Bromelioideae, ou pelo vento, nas subfamílias Pitcairnioideae e Tillandsioideae (BENZING, 1987).

Outra importância ecológica das bromélias está no armazenamento e fornecimento de água para o ambiente, uma vez que a retenção é grande nos inúmeros tanques observados em florestas tropicais. A liberação é gradativa para o ecossistema (LEME; MARIGO, 1993), garantindo suprimento constante para outras espécies. Desse modo, a presença de bromélias-tanque em florestas favorece a diversificação das interações com espécies vegetais e animais (CARVALHO, 2008).

Essa complexidade ecológica estabelece também uma variedade de compartimentos e gradientes para comunidades de animais (RICHARDSON, 1999). Dentre os usos possíveis, listam-se forrageamento, abrigo para reprodução, refúgio contra predadores e reservatórios de água para animais em épocas de seca

(REMSEN; PARKER, 1984; ROMERO, 2005). Algumas aves utilizam as bromélias como sítio de nidificação (NADKARNI; MATELSON, 1989), enquanto vários animais são extremamente dependentes da água para sua sobrevivência nesses ambientes (ARMBRUSTER; HUTCHINSON; COTGREAVE, 2002).

As bromélias são também importantes em ecossistemas florestais para a incorporação de elementos químicos presentes na atmosfera, acentuando a captura e retenção de nutrientes no ecossistema (MERWLN; RENTMEESTER; NADKARNI, 2003). As bromélias epífíticas podem contribuir grandemente para a produção de biomassa foliar no ecossistema, afetando também a qualidade química da serrapilheira (NADKARNI; MATELSON, 1992). Por exemplo, a produção de serrapilheira derivada de bromélias foi fonte de K, Mg e Na na Mata Atlântica (OLIVEIRA, 2004), o que permite a redistribuição desses elementos essenciais em ecossistemas oligotróficos. A serrapilheira de bromélias apresenta, ainda, maior velocidade de decomposição comparada com a serrapilheira de espécies arbóreas, retornando prontamente os nutrientes para o ambiente (OLIVEIRA, 2004). As árvores absorvem nutrientes, na sua maioria, da solução do solo, enquanto as epífitas retiram-nos da atmosfera (NADKARNI; MATELSON, 1992). Algumas bromélias epífíticas são, inclusive, capazes de utilizar o nitrogênio atmosférico, a partir do processo de fixação biológica, incorporando-o posteriormente ao ambiente (REYNOLDS; HUNTER, 2004).

As bromélias podem ser bioindicadoras do nível de conservação de florestas, uma vez que o aumento na complexidade do ambiente favorece a abundância dessas plantas e a diversificação de espécies (ENGWALD; SCHMITT-NEUERBURG; BARTHLOTT, 2000). Hoeltgebaum (2003) observou que as espécies *Aechmea caudata* e *Vriesea atra* podem ser consideradas indicadoras

de floresta primária, enquanto bromélias zoocóricas, formadoras de tanque e tolerantes ao sombreamento podem ser indicadoras do estado de conservação de florestas (BONNET, 2006).

## **2.4 Avaliação de qualidade ambiental: biomonitoração**

Do ponto de vista de qualidade ambiental, as bromélias possuem características apropriadas para serem empregadas como biomonitores. O termo biomonitoração está relacionado com o acompanhamento temporal de impactos no ambiente empregando organismos apropriados (bioindicadores/biomonitores), que *a priori* respondem às condições de estresse a que foram submetidos (MARKERT et al., 2008), tanto pela mudança na distribuição de espécies na área quanto por alterações morfológicas, fisiológicas e genéticas ou, ainda, pela acumulação de poluentes nos tecidos (CARRERAS; PIGNATA, 2001; MARKERT et al., 1999; WOLTERBEEK, 2001, 2002).

A monitoração utilizando organismos, principalmente plantas, tem sido muito empregada em vários países (BERGAMASCHI et al., 2004; BRIGHIGNA et al., 1997; FIGUEIREDO et al., 2001; FUGA et al., 2008; KROMMER et al., 2007; PYATT et al., 1999), por ser uma ferramenta apropriada para avaliar os níveis de poluição (SMODIŠ; PARR, 1999), com vantagem do baixo custo, comparado aos métodos de medição utilizando filtros de ar e coletores de deposição úmida (CARRERAS; PIGNATA, 2001; MARKERT et al., 1999). Além disso, pode fornecer resultados de composição química de plantas e fluxos dos elementos químicos entre a biota, a litosfera e a atmosfera (BERGAMASCHI et al., 2004). Em geral, a composição química de plantas reflete as condições locais do substrato em que estão se desenvolvendo, como por exemplo solo e ar (BERGAMASCHI et al., 2004).

De acordo com a proposta de Markert et al. (1999), existem alguns termos utilizados em ensaios de biomonitoração definidos a seguir:

- 🌿 Bioindicador é um organismo ou uma comunidade de organismos que fornece informações da qualidade do ambiente;
- 🌿 Biomonitor é um organismo ou uma comunidade de organismos que informa sobre aspectos quantitativos da qualidade do ambiente. Um biomonitor pode ser um bioindicador, enquanto o contrário nem sempre ocorre;
- 🌿 Biosensor está associado à obtenção de informações rápidas sobre a qualidade ambiental, por vezes analisando apenas parte do indivíduo, ou sua resposta enzimática aos impactos.

A Agência Internacional de Energia Atômica - IAEA reconhece esses estudos de biomonitoração desde 1992, e finalizou um projeto sobre “Validation and application of plants as biomonitorors of trace element atmospheric pollution, analyzed by nuclear and related techniques” em 2002, que teve como objetivo identificar e validar biomonitores de poluição atmosférica por técnicas nucleares, como a análise por ativação neutrônica instrumental - INAA (SMODIŠ et al., 2004). A INAA vem sendo muito empregada, dado seu caráter multielementar e ausência de dissolução ou digestão de amostras. Ainda, apresenta alto grau de sensibilidade e seletividade, sendo considerada um método adequado para análises químicas de amostras de estudos de impactos ambientais (SMODIŠ et al., 2004).

A biomonitoração pode ser *ativa*, quando envolve a transferência de plantas para o local a ser monitorado. Contudo, pode ser inaceitável nos casos de unidades de conservação, pois a introdução de espécies exóticas não é permitida dada a finalidade de preservação da biodiversidade (MARKERT et al., 1999). Nesse caso, a

biomonitoração *passiva* deve ser considerada e, para isso, torna-se indispensável a seleção de espécies nativas como biomonitores para avaliar suas reações aos impactos, seja pelos danos causados às folhas (bioindicação), seja pelo acúmulo de substâncias ou particulados atmosféricos depositados (MARKERT et al., 1999; NOGUEIRA, 2006).

A elegibilidade de um organismo biomonitor depende de algumas características, como o tipo de ambiente (ar, solo ou água), o comportamento cumulativo e a resposta ao longo do tempo com relação aos compostos de interesse (WOLTERBEEK, 2001). Líquens e briófitas são utilizados como biomonitores de poluição atmosférica por reterem elementos químicos provenientes de deposição seca e úmida, como consequência da ausência de cutícula e alta capacidade de trocas catiônicas (CALASANS; MALM, 1997). Entretanto, bromélias epífíticas do gênero *Tillandsia* têm demonstrado grande potencial de aplicação como biomonitores (ALVES; MOURA; DOMINGOS, 2008; SMODIŠ et al., 2004). Espécies desse gênero apresentam algumas características fisiológicas e morfológicas apropriadas para avaliar a qualidade atmosférica, tais como a absorção de nutrientes diretamente da atmosfera, com consequente incorporação de alguns poluentes nos tecidos (CALASANS; MALM, 1997). Mostram-se adaptadas a altas temperaturas e a períodos de seca, sendo mais apropriadas para estudos em regiões tropicais do que líquens e briófitas, comumente empregados em ensaios de biomonitoração em regiões temperadas (CALASANS; MALM, 1997).

A bromélia mais utilizada em estudos de biomonitoração de poluição atmosférica é a espécie *Tillandsia usneoides*, amplamente distribuída na América Latina (BRIGHIGNA et al., 1997). Calasans e Malm (1997) monitoraram área próxima a uma indústria de cloro-álcali na cidade do Rio de Janeiro para a avaliação

do risco de exposição ocupacional à contaminação por mercúrio atmosférico. O estudo foi baseado na introdução de rosetas da espécie *T. usneoides* por um período de 15 dias. A concentração média de mercúrio encontrado nas plantas controles foi  $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , enquanto nas amostras transplantadas o valor atingiu um máximo de  $10.400 \text{ mg kg}^{-1}$ . *T. usneoides* mostrou-se um excelente biomonitor de poluição atmosférica de mercúrio, por sua capacidade de acumulação do elemento e resistência a condições de estresse.

Em outro estudo de biomonitoração com *T. usneoides* em uma área industrial, também da cidade do Rio de Janeiro, Amado Filho et al. (2002) demonstrou que o mercúrio encontrado nos tecidos dos biomonitores foi parcialmente associado com a deposição de partículas atmosféricas na superfície da planta. A extensa área superficial da *T. usneoides* recoberta por escamas foi a principal responsável pela adsorção de partículas e pela absorção de vapor de água contendo Cl, Hg e Zn. Figueiredo et al. (2004) utilizou a mesma espécie para monitorar a poluição atmosférica na cidade de São Paulo. As plantas foram submetidas a diferentes fontes de poluição de ar (emissões de veículos e industriais). Os elementos Cu, V e Zn foram associados à fontes de veículos e áreas industriais, enquanto As, Ba e Sb apresentaram altos valores nos locais próximos a ruas com intenso tráfego de veículos.

Com relação à utilização de espécies nativas da biodiversidade brasileira para estudos ambientais, trabalho pioneiro foi realizado por Elias et al. (2006) que demonstraram a capacidade de acumulação da bromélia *Canistropsis billbergioides*, espécie bastante abundante no sub-bosque da floresta ombrófila densa. Essa bromélia apresentou resultados dos elementos químicos comparáveis com dados fornecidos pela literatura para *T. usneoides* (CALASANS; MALM, 1997;

FIGUEIREDO et al., 2001; FIGUEIREDO et al., 2004). *Canistropsis billbergioides* mostrou concentrações elevadas de 16 elementos químicos em comparação com as demais espécies avaliadas de diversos gêneros. A acumulação de elementos químicos é fator fundamental para a elegibilidade de um organismo biomonitor independente do ambiente a ser estudado (WOLTERBEEK, 2002). Tal estudo corroborou o emprego da espécie nativa *C. billbergioides* para a biomonitoração passiva da parcela permanente do Parque Estadual Carlos Botelho, unidade de conservação pertencente ao bioma Mata Atlântica.

## **2.5 Efeito da lavagem sobre a composição química foliar**

O interesse pela contaminação da superfície foliar de plantas tem aumentado devido às diversas aplicações da análise química de folhas para estudos de avaliação da qualidade ambiental e de nutrição de plantas (BARGAGLI, 1995; LITTLE, 1973; MARKERT, 1995). A presença de materiais exógenos enriquecidos em elementos químicos nas amostras biológicas pode elevar as concentrações acima da composição endógena (MARKERT, 1995; WYTTEENBACH; TOBLER, 1998). Esses materiais exógenos podem distorcer a interpretação dos resultados, principalmente para elementos químicos sabidamente afetados pela contaminação de superfície (WYTTEENBACH; TOBLER, 2002) como Fe, Hf, Sc, Th e lantanóides (FERNANDES, 1993, 1997; FERRARI et al., 2006; FRANÇA et al., 2002).

A aderência de particulado atmosférico nas folhas de bromélias pode ser influenciada pelo formato foliar, pela posição da roseta em relação à copa do forófito, pela espessura da cutícula e pela presença de tricomas (HAYNES; GOH, 1977). A maior parte dos particulados é solúvel em água, embora parte possa estar aderida

ou ligada quimicamente à cutícula, sendo parcialmente insolúvel (LITTLE, 1973; WYTENBACH; TOBLER, 2002).

Elementos químicos característicos de matriz geológica podem ser empregados para avaliar a contaminação de superfície foliar, uma vez que há evidências da distribuição uniforme da poeira dentro de grandes áreas de amostragem (CHIARENZELLI et al., 2001; PROSPERO; OLMEZ; AMES, 2001). Escândio é amplamente empregado como traçador, pois sua absorção por plantas é praticamente desprezível, não excedendo  $0,008 \text{ mg kg}^{-1}$  (FERNANDES, 1993; HINTON et al., 1995; KABATA-PENDIAS, 2001; WYTENBACH; TOBLER, 2002). Utilizando as razões folha-solo, a influência exógena na concentração de outros elementos pode ser estimada para concentrações de escândio superiores aos valores considerados normais em plantas (FERRARI et al., 2006).

Por outro lado, a limpeza das folhas pelo procedimento de lavagem é uma etapa crítica na análise química, pois ao envolver diferentes solventes pode alterar a composição química ou afetar a variabilidade dos resultados, além de causar possível lixiviação dos elementos químicos presentes nas folhas (QUEVAUVILLER, 1995). A remoção da cutícula durante a lavagem das folhas pode induzir artificialmente a redução da concentração de elementos químicos, especialmente para alguns elementos traços que ficam acumulados nesse tecido da planta (QUEVAUVILLER, 1995). No entanto, o procedimento de lavagem pode auxiliar na distinção entre a presença de partículas de terra nas folhas e elementos derivados da terra ativamente absorvidos pela planta (WOLTERBEEK; BODE, 1995).

Miyamoto et al. (2001) consideraram que a investigação química de espécies medicinais, por exemplo, deve envolver a análise de folhas não lavadas, porque

durante o consumo dessas folhas também é ingerido o material aderido à superfície. No entanto, Wyttenbach e Tobler (2002) relataram que a disponibilidade de elementos químicos em material geológico é consideravelmente inferior em comparação com o material biológico original. No estudo de biomonitoração realizado por Calasans e Malm (1997) para verificar a contaminação ambiental por mercúrio empregando-se a bromélia *Tillandsia usneoides*, a lavagem das folhas não foi realizada de modo a assegurar que a contribuição da deposição seca também fosse medida. Todavia, estudo similar realizado por Amado Filho et al. (2002) verificou que, embora as concentrações totais de mercúrio tenham sido elevadas nas plantas, o elemento não esteve presente no mesófilo foliar em quantidades expressivas.

Dependendo do tipo de estudo a ser realizado, o procedimento de lavagem utilizando detergentes é fundamental para obter material biológico livre de contaminação, sem afetar a composição química inerente (MARKERT, 1995). De acordo com Markert (1995), o mais apropriado método de lavagem das folhas é a sequência de detergente aniônico de baixo nível de impurezas (Alconox), solução de ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA) e água destilada para a remoção do resíduo. Este tratamento removeu Cu, Fe, Mn e Zn referentes ao material exógeno presente nas folhas, evitando a excessiva lixiviação de Ca, Cl, K, Mg e Na (MARKERT, 1995). Por outro lado, em experimentos delineados com folhas de árvores da Mata Atlântica, resultados indicaram aumento de Na nas folhas lavadas, possivelmente devido à grande quantidade do elemento nos produtos de limpeza (FERRARI et al., 2006; FRANÇA, 2006).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Áreas de estudo**

O presente trabalho foi desenvolvido nas unidades de conservação estudadas pelo Projeto BIOTA intitulado “Diversidade, Dinâmica e Conservação em Florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de Parcelas Permanentes” (Processo FAPESP 1999/09635-0). O projeto visa desenvolver estudos para o conhecimento dos principais processos relacionados com a dinâmica, a geração e a conservação da biodiversidade. Para isso, parcelas de 10 ha foram instaladas nas quatro unidades de conservação: Parque Estadual Ilha do Cardoso - PEIC, Parque Estadual Carlos Botelho - PECB, Estação Ecológica dos Caetetus - EEC e Estação Ecológica de Assis – EEA (Figura 3.1). Essas unidades representam, respectivamente, os quatro tipos vegetacionais mais característicos do Estado de São Paulo, ou seja, floresta de restinga, floresta ombrófila densa, floresta estacional semidecidual e cerradão.

Cada parcela permanente possui dimensões de 320 m x 320 m, sendo subdividida em 256 subparcelas de 20 m x 20 m nomeadas de A a P no sentido latitudinal e de 0 a 15, longitudinalmente (Figura 3.1). Todos os indivíduos arbóreos com perímetro à altura do peito (PAP) maior que 15 cm foram numerados, mapeados e identificados.

Espécies epífíticas foram estudadas e identificadas no interior das parcelas permanentes, porém foram utilizadas áreas de 1,2 ha, devido à dificuldade de movimentação no dossel da vegetação (BREIER, 2005). A Figura 3.1 mostra também o número de famílias, gêneros e espécies epífíticas ocorrentes nas parcelas permanentes, com destaque para a floresta de restinga e a floresta ombrófila densa, cuja diversidade é muito superior aos demais tipos vegetacionais.

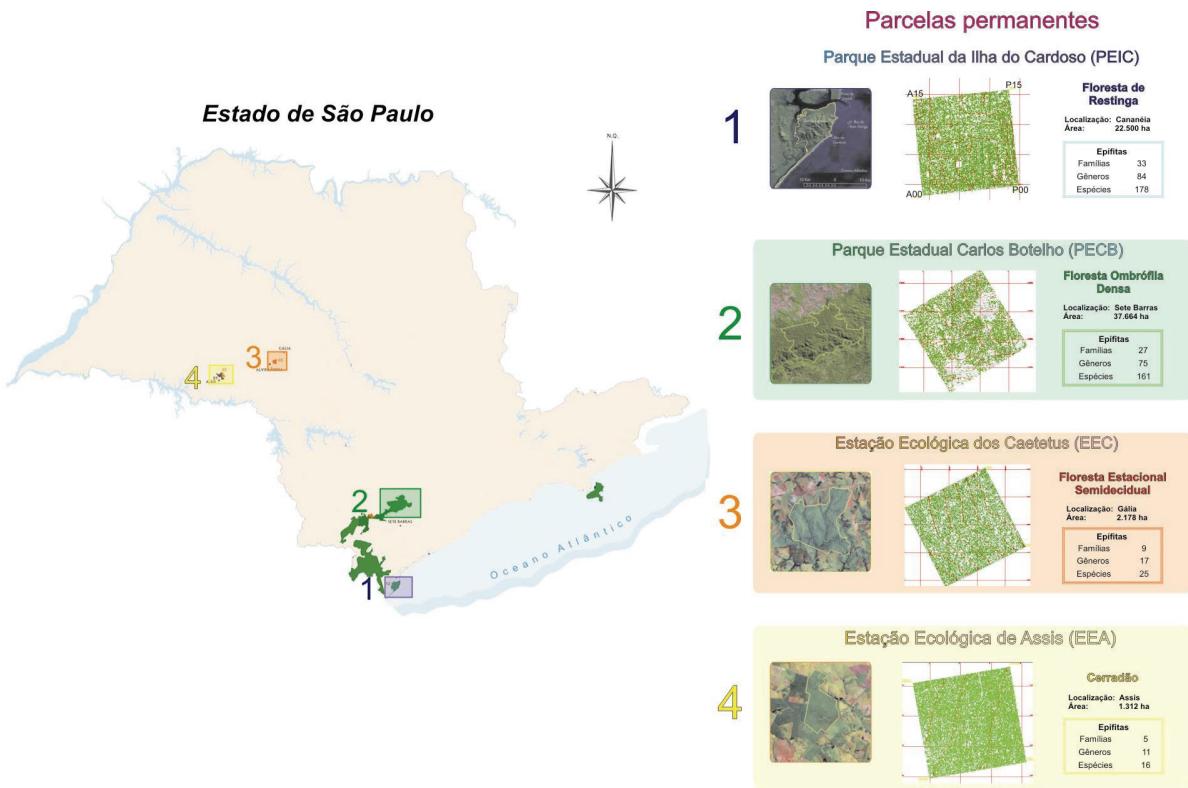
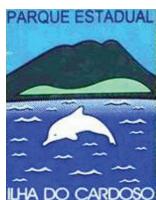


Figura 3.1 Parcelas permanentes instaladas nas quatro unidades de conservação estudadas no Projeto BIOTA. São apresentadas informações fitossociológicas da comunidade epífita tais como número de famílias botânicas encontradas, além da quantidade de gêneros e espécies identificados

### **A floresta de restinga do Parque Estadual Ilha do Cardoso - PEIC**



O Parque Estadual Ilha do Cardoso – PEIC – está localizado no município de Cananéia, Estado de São Paulo, entre as coordenadas 23°03'05"S; 25°18'18"S e 47°53'48"W; 48°05'42"W (Figura 3.1). Abrange uma área aproximada de 22.500 ha com diferentes formações vegetacionais e integra o Complexo Estuarino Lagunar de Iguape-Cananéia que se estende até Paranaguá, Estado do Paraná (ALCÂNTARA, 2006). Além de ser considerada uma das regiões mais produtivas em espécies marinhas do mundo, concentra a maior porção contínua de Mata Atlântica do Brasil (ALCÂNTARA, 2006). O clima é classificado como tropical super-úmido sem estação seca. As temperaturas oscilam entre 12 °C e 28 °C devido à proximidade do oceano. A precipitação é constante,

intensa, com médias anuais entre 1.900 mm a 2.300 mm e concentrada entre os meses de outubro e março. A umidade relativa média do ar é aproximadamente 80%, podendo alcançar até 96% em razão da alta freqüência de chuvas. Os ventos caracterizam-se por baixa velocidade e predominância daqueles vindos do sudeste, soprando do oceano para o continente (RODRIGUES, 2006). A topografia do PEIC é predominantemente montanhosa com sua região central ocupada por um maciço que alcança mais de 800 m de altura (RODRIGUES, 2006), em que predomina a floresta ombrófila densa.

A parcela permanente foi alocada numa área de planície na região norte da Ilha do Cardoso (Figura 3.2), referente a um trecho de vegetação de restinga de dossel contínuo, variando entre 15 m e 17 m de altura (RODRIGUES, 2006). A partir de levantamento ultradetalhado, as classes de solo mais importantes foram espodossolo, neossolo e organossolo (GOMES et al., 2007). Na parcela do PEIC, foram identificados 15.527 indivíduos arbóreos ( $PAP \geq 15$  cm), distribuídos em 121 espécies, 86 gêneros e 43 famílias botânicas. As famílias de maior representatividade em número de espécies foram Myrtaceae, Lauraceae, Myrsinaceae, Arecaceae e Euphorbiaceae. Em número de indivíduos, a família com maior destaque é a Arecaceae, sendo representativo o *Euterpe edulis*, conhecido popularmente como palmito-juçara (RODRIGUES, 2006).

O levantamento florístico dos epífitos vasculares em 1,2 ha identificou 178 espécies pertencentes a 84 gêneros e 33 famílias (BREIER, 2005). A família mais abundante foi a Orchidaceae com 72 espécies, seguida da Bromeliaceae com 33 espécies e Polypodiaceae e Araceae com 11 espécies cada. Os gêneros mais representativos em número de espécies foram *Vriesea* da família Bromeliaceae e *Maxillaria* da Família Orchidaceae (BREIER, 2005).



Figura 3.2 Detalhes da vegetação da parcela permanente do Parque Estadual Ilha do Cardoso - PEIC

### **A floresta ombrófila densa do Parque Estadual Carlos Botelho (PECB)**



O Parque Estadual Carlos Botelho está situado entre os municípios de São Miguel Arcanjo, Capão Bonito e Sete Barras, sob coordenadas geográficas 24°00'00"S; 24°15'00"S e 47°45'00"W; 48°10'00"W (Figura 3.1). Abrange uma área aproximada de 38.000 ha com altitudes variando de 30 m a 1000 m, o que define os diversos tipos florestais, como a floresta ombrófila densa submontana (altitude de 30 m a 500 m) e a floresta ombrófila densa montana (altitudes de 500 m a 1000 m).

O clima pode ser classificado como sub-tropical com estação seca no inverno nos trechos de Capão Bonito e São Miguel Arcanjo, enquanto em Sete Barras, o tipo climático é o sub-tropical sem estação seca. As temperaturas observadas estão entre 8 °C e 30 °C. As chuvas são constantes e intensas com médias anuais entre 1.100 mm e 1.600 mm, concentradas entre os meses de outubro a março. A intensa nebulosidade na região promove redução na radiação solar e a umidade relativa varia entre 60% e 97%. Os ventos são caracterizados por baixa velocidade, soprando preferencialmente do oceano em direção ao continente. Predominam rochas ígneas e metamórficas, que definem uma topografia altamente acidentada (RODRIGUES, 2006).

A parcela permanente foi alocada aproximadamente a 500 m do nível do mar, na vertente atlântica da Serra de Paranapiacaba, no núcleo Sete Barras do PECB (Figura 3.3). A principal fisionomia é a floresta ombrófila densa submontana, que apresenta dossel contínuo relativamente alto (entre 25 m e 30 m de altura). Os solos são classificados principalmente como cambissolos, além de neossolos e gleissolos (RODRIGUES, 2006).

Na parcela, foram identificados 11.757 indivíduos arbóreos (PAP  $\geq$  15 cm), distribuídos em 215 espécies e 58 famílias botânicas. As famílias de maior representatividade em número de espécies foram Myrtaceae, Fabaceae (Leguminosae), Rubiaceae e Lauraceae. Com relação ao número de indivíduos, as famílias com maior destaque foram Myrtaceae, Arecaceae, Rubiaceae, Fabaceae (Leguminosae) e Cyatheaceae. Embora fossem contabilizadas apenas duas espécies, a família Arecaceae destacava-se pela grande quantidade da palmeira *Euterpe edulis* (RODRIGUES, 2006). Outras espécies arbóreas abundantes foram *Guapira opposita*, *Alsophila sternbergii* e *Garcinia Gardneriana*.

De acordo com o levantamento florístico das espécies epífíticas (BREIER, 2005), foram registradas 161 espécies de plantas vasculares pertencentes a 75 gêneros e 27 famílias. A família mais abundante foi Orchidaceae com 42 espécies, seguida de Bromeliaceae com 27 espécies, Polypodiaceae com 14 espécies, Araceae com 13 espécies e Cactaceae com 11 espécies. Os gêneros mais representativos em número de espécies foram *Vriesea* (Bromeliaceae), seguidos de *Philodendron* (Araceae), *Rhipsalis* (Cactaceae) e *Pleurothallis* (Orchidaceae).



Figura 3.3 Detalhes da vegetação da parcela permanente do Parque Estadual Carlos Botelho - PECB

### **A floresta estacional semidecidual da Estação Ecológica dos Caetetus - EEC**



A Estação Ecológica dos Caetetus está localizada nos municípios de Gália e Alvilândia, Estado de São Paulo, entre as coordenadas 22°41'00"S; 22°46'00"S e 49°10'00"W; 49°16'00"W. A unidade de conservação possui área contínua de 2.179 ha, sendo considerada um dos maiores remanescentes de floresta estacional semidecidual. As altitudes variam de 500 m a 690 m. É um dos ecossistemas mais devastados do Brasil por estar localizado em regiões povoadas, além de apresentar solos férteis utilizados para expansão agrícola (DURIGAN et al., 2000). O clima é classificado como sub-tropical úmido com estação seca durante o inverno. As temperaturas são inferiores a 18 °C no inverno e superiores a 22 °C no verão (TABANEZ et al., 2005). A precipitação total anual varia entre 1.100 mm a 1.700 mm com concentração nos meses de novembro a março. Devido aos meses de estresse hídrico, com pouca nebulosidade, há aumento acentuado da radiação solar na região. A umidade relativa do ar varia desde 28% a até 95%, nos meses chuvosos. A direção dos ventos é bastante variável, tendo predominância da direção sudeste.

A vegetação é tipicamente alta, com estratificação complexa, evidenciada a partir de um mosaico de fisionomias vegetais (Figura 3.4). Apresenta um dossel não perfeitamente contínuo, entre 15 m e 20 m de altura, com presença de árvores emergentes de até 30 m de altura (RODRIGUES, 1999). A floresta apresenta alta concentração de lianas e gramíneas invasoras em todo o seu perímetro (MELO et al., 2007). Diversos fatores ambientais, como relevo, geologia, solo e clima, além da ação antrópica que ocorre no entorno, acabam por exercer efeito de borda sobre a cobertura vegetal (MATOS et al., 1996), alterando assim a diversidade florística (TABANEZ et al., 2005).

Os solos da parcela permanente instalada na EEC foram classificados, predominantemente, como argissolo vermelho-amarelo e gleissolo háplico no sopé da encosta (SOARES, 2003). No levantamento florístico de espécies arbóreas, foram identificados 10.627 indivíduos ( $\text{PAP} \geq 15 \text{ cm}$ ), distribuídos em 57 famílias, 153 gêneros e 233 espécies (RODRIGUES, 2006). As famílias mais representativas em espécies foram Myrtaceae, Euphorbiaceae, Rutaceae, Fabaceae, Lauraceae, Mimosaceae e Meliaceae. Conforme o número de indivíduos, as espécies mais representativas são *Metrodorea nigra* (Rutaceae), *Ocotea indecora* (Lauraceae), *Trichilia clausenii* (Meliaceae) e *Aspidosperma polyneuron* (Apocynaceae).

No levantamento florístico de epífitos vasculares, em 1,2 ha foram identificadas 25 espécies, 17 gêneros e 9 famílias, sendo Polypodiaceae a família com maior número de espécies, seguida da Cactaceae e Piperaceae. Bromeliaceae e Orchidaceae foram representadas por apenas três espécies (BREIER, 2005). O único gênero de Bromeliaceae observado foi *Tillandsia*.



Figura 3.4 Detalhes da vegetação da parcela permanente da Estação Ecológica dos Caetetus - EEC

### **O cerradão da Estação Ecológica de Assis**



A Estação Ecológica de Assis está situada no município de Assis, região oeste do Estado de São Paulo com coordenadas geográficas de 22°36'65"S; 22°36'68"S e 50°23'00"W;50°22'29"W (Figura 3.1).

Essa unidade possui área total de 1.312 ha com altitudes que variam de 520 m a 590 m. A EEA e EEC estão praticamente nas mesmas condições de latitude e altitude, ambas integrando a bacia hidrográfica do Médio Paranapanema (RODRIGUES, 2006). A EEA apresenta clima tropical-úmido com estação seca durante o inverno. As temperaturas oscilam entre 18 °C e 27 °C durante o período da primavera-verão e entre 8 °C e 23 °C durante o outono-inverno. Precipitações alcançam até 1.400 mm/ano, concentradas entre os meses de dezembro e março. Identifica-se um período de seca durante os meses de julho e agosto. A diminuição das chuvas durante o inverno favorece o aumento da radiação solar incidente no solo florestal. A umidade média relativa do ar é aproximadamente 78%. Os ventos caracterizam-se pela baixa velocidade, com direção predominantemente sudeste. A topografia pode ser definida como levemente ondulada e as declividades não ultrapassam 15%.

A EEA engloba um dos principais remanescentes de Cerrado da região sudeste ainda coberto por vegetação original (RODRIGUES, 2006). O Cerrado da EEA é considerado de maior riqueza em termos de número de espécies quando comparado com as demais 376 áreas no Brasil, o que se deve à condição ecotonal entre os tipos vegetacionais de Cerrado e floresta estacional semidecidual (RATTER et al., 2003). Embora sejam notadas manchas de vegetação de Cerrado, a fisionomia mais característica é o cerradão (Figura 3.5). A parcela permanente foi instalada sobre relevo de colinas com altitudes que variam de 550 m a 600 m. Os

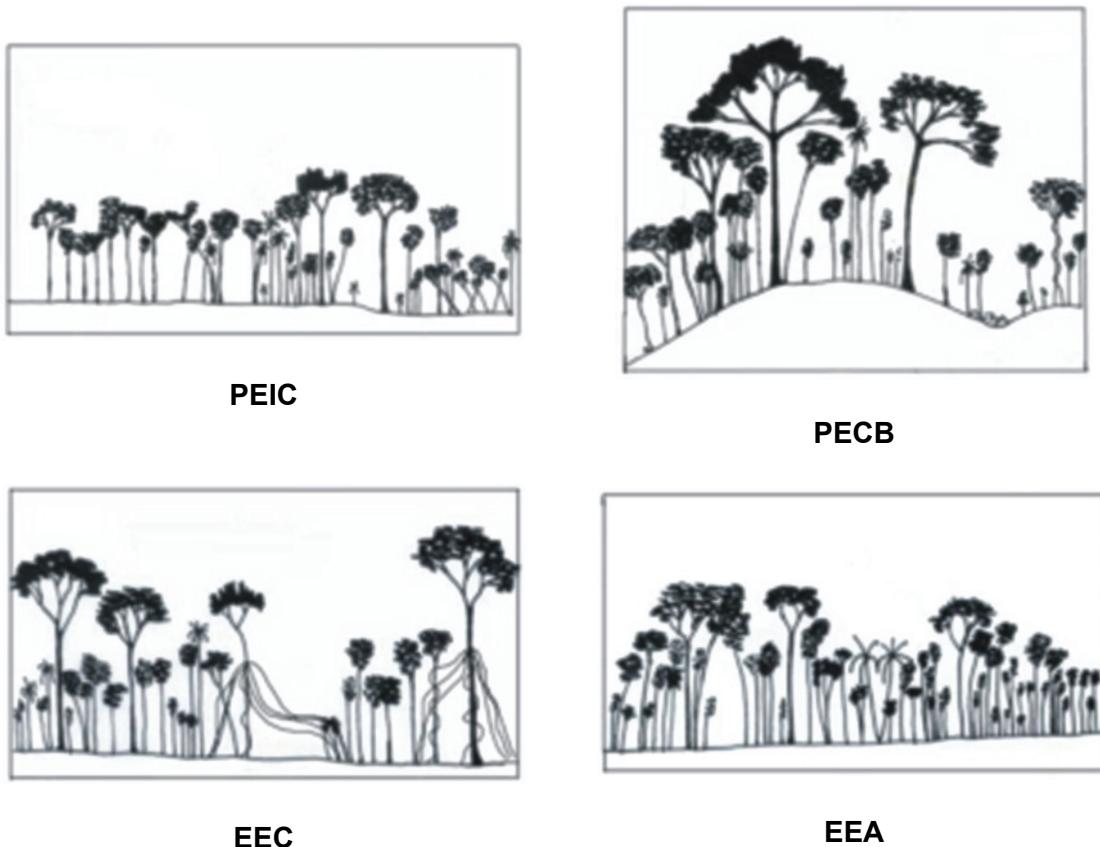
solos foram classificados como latossolo vermelho, latossolo vermelho-amarelo e latossolo amarelo, enquanto na mata ciliar há ocorrência de gleissolo (RODRIGUES, 2006). Foram identificados 21.929 indivíduos ( $PAP \geq 15$  cm), distribuídos em 116 espécies, 84 gêneros e 44 famílias botânicas. A maior parte das famílias é representada por uma ou duas espécies. As famílias de maior representatividade em número de espécies foram Myrtaceae, Fabaceae, Lauraceae, Euphorbiaceae, Mimosaceae e Vochysiaceae. Em número de indivíduos, as famílias mais representativas são Caesalpiniaceae, Vochysiaceae e Myrtaceae. A família com maior destaque é Caesalpiniaceae, sendo predominante a *Copaifera langsdorffii*, conhecida popularmente como copaíba (RODRIGUES, 2006).

No inventário florístico dos epífitos vasculares, em 1,2 ha foram identificadas 16 espécies pertencentes a 11 gêneros e 5 famílias (Figura 3.1). A família mais abundante foi a Polypodiaceae com 7 espécies, seguida da Bromeliaceae com 4 espécies e Orchidaceae com 3 espécies (BREIER, 2005).



Figura 3.5 Detalhes da paisagem e vegetação da parcela permanente da Estação Ecológica de Assis - EEA

De modo geral, as quatro áreas estudadas apresentam diferentes condições climáticas. Nas regiões sobre influência oceânica, isto é, as unidades de conservação PEIC e PECB, ocorrem intensas precipitações com excedente hídrico durante o ano. Todavia, nas regiões em que predomina o efeito da continentalidade, ou seja, as unidades EEA e EEC, há regime de chuva com intensidade menor durante o inverno, propiciando uma estação seca bem definida. Além disso, os tipos edáficos variam de solos mais intemperizados, como latossolos, até cambissolos, cujo nível de desenvolvimento é menor. Baseando-se nos diversos ambientes encontrados, as fisionomias vegetais são bastante diversificadas quanto à composição florística, à estrutura e à dinâmica florestal (Figura 3.6).



**Figura 3.6** Perfil da vegetação para cada unidade de conservação estudada. Parque Estadual Ilha do Cardoso - PEIC, Parque Estadual Carlos Botelho - PECB, Estação Ecológica dos Caetetus – EEC e Estação Ecológica de Assis - EEA. Escala aproximada: 1:1.000. Fonte: BREIER (2005)

### 3.2 Coleta de amostras

Este trabalho envolveu cinco estudos relacionados com (I) a avaliação da composição química de bromélias nos diversos tipos vegetacionais, (II) a avaliação da composição química das diferentes espécies de bromélias, (III) a contribuição dos modos nutricionais (tanque e atmosférico) e dos modos de crescimento (epífítico e terrícola) para a composição química de folhas de bromélias nativas, (IV) o efeito da lavagem sobre os elementos químicos presentes nas partículas de solo contaminante das folhas e, após o conhecimento das concentrações realmente presentes no tecido vegetal, (V) avaliação da amostragem sustentável para estudos de qualidade ambiental em áreas preservadas, incluindo a variabilidade da

composição química nos fragmentos tomados nos diferentes terços das folhas e terços das plantas.

No total, onze espécies de bromélias foram amostradas nas diversas parcelas permanentes (Tabela 3.1). O número de espécies avaliadas foi baseado na biodiversidade existente, sendo que na parcela do PEBCB apenas rosetas de *Canistropsis billbergioides* foram coletadas devido à sua característica de bioacumulação de elementos químicos previamente estudada (ELIAS et al., 2006). Os elementos químicos Ba, Br, Ca, Ce, Co, Cs, Fe, Hg, K, Na, Rb, Sc, Se, Sm, Sr e Zn foram quantificados pela análise por ativação neutrônica instrumental (INAA) em folhas de cerca de 12 espécies de epífitas vasculares no PEBCB. De acordo com o índice de acumulação estimado em 0,7, a espécie *C. billbergioides* tem potencial para ser empregado como biomonitora para avaliação da qualidade ambiental na parcela do PEBCB (ELIAS et al., 2006). Devido à relativa baixa freqüência de bromélias nas parcelas da EEC e EEA, foram amostradas apenas duas espécies na floresta estacional semidecidual e três espécies no cerradão. Na parcela permanente do PEIC, local de grande diversidade de bromélias, foram coletadas cinco espécies (Tabela 3.1).

A coleta foi realizada entre os meses de julho e agosto de 2006 no PEBCB e no PEIC e em outubro de 2007 nas unidades de EEA e EEC. As amostras foram coletadas no sub-bosque com o cuidado de não retirar rosetas da mesma espécie de locais muito próximos. A abundância das espécies nos trechos de vegetação foi determinante para a seleção das bromélias a serem coletadas.

Tabela 3.1 - Bromélias epífíticas coletadas nas parcelas permanentes do Parque Estadual Carlos Botelho (PECB), Parque Estadual Ilha do Cardoso (PEIC), Estação Ecológica de Assis (EEA) e Estação Ecológica dos Caetetus (EEC)

Espécies	Subfamília	Id	Parcela
<i>Acanthostachys strobilacea</i> (Schult.f.) Klotzsch	Bromelioideae	Astr	EEA
<i>Billbergia zebrina</i> (Herb.) Lindl.	Bromelioideae	Bzeb	EEA
<i>Canistropsis billbergioides</i> (Schult.f.) Leme	Bromelioideae	Cbil	PECB
<i>Racinaea spiculosa</i> (Griseb.) M.A. Spencer & L.B. Sm.	Tillandsioideae	Rspi	PEIC
<i>Tillandsia loliacea</i> Mart. ex Schult. f.	Tillandsioideae	Tlol	EEC
<i>Tillandsia recurvata</i> (L.) L.	Tillandsioideae	Trec	EEA
<i>Tillandsia tricholepis</i> Baker	Tillandsioideae	Ttri	EEC
<i>Vriesea altodaserrae</i> L.B.Sm.	Tillandsioideae	Valt	PEIC
<i>Vriesea atra</i> Mez	Tillandsioideae	Vatr	PEIC
<i>Vriesea carinata</i> Wawra	Tillandsioideae	Vcar	PEIC
<i>Vriesea rodigasiana</i> E.Morren	Tillandsioideae	Vrod	PEIC

Para facilitar a identificação das espécies, foi importante a coleta de bromélias em estado reprodutivo (Figura 3.7). Dessa maneira, a identificação ocorreu no Herbário da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (ESALQ/USP), Piracicaba, SP. Sumariamente, alguns dos aspectos morfológicos da espécie *Canistropsis billbergioides* estão relacionados com a presença de espinhos nas margens foliares, inflorescência com brácteas amarelas e flores brancas. As bromélias do gênero *Tillandsia* caracterizam-se pela coloração argêntea das folhas, presença de tricomas na epiderme das folhas e inflorescência nas cores rosa, azul e roxo. O gênero *Vriesea* pode ser diferenciado vegetativamente das demais bromélias-tanque por não apresentar espinhos nas margens das folhas, assim como é comum a presença de pigmentação nas folhas. As inflorescências são bastante variáveis nas formas, cores e disposição (Figura 3.7), sendo as brácteas nas cores branca, amarela e vermelha. Todas as espécies desse gênero são formadoras de tanque (HOELTGEBAUM, 2003). *Billbergia zebrina*, planta de formato cilíndrico,

apresenta folhas lancioladas espinescentes com brácteas florais rosas com borda azul (Figura 3.7). *Racinaea spiculosa* apresenta pigmentação escura na base das folhas, não possui espinhos e as brácteas florais são largo-ovadas (COSTA; WENDT, 2007). O gênero *Acanthostachys* propaga-se geralmente por rizomas, apresentam folhas fasciculadas e escapo bem desenvolvido (SILVA; GOMES, 2003). Dentre as espécies coletadas, somente os gêneros *Acanthostachys* e *Tillandsia* não formam tanque, enquanto nos demais gêneros as folhas se dispõem espiraladamente e de forma imbricada formando uma roseta, que permite o acúmulo de água e serrapilheira (MOREIRA; WANDERLEY; CRUZ-BARROS, 2006).

**PECB***Canistropsis billbergioides***EEC***Tillandsia loliacea**Tillandsia tricholepis***EEA***Acanthostachys strobilaceae**Billbergia zebrina**Tillandsia recurvata***PEIC***Racinaea spiculosa**Vriesea altodaserrae**Vriesea atra**Vriesea carinata**Vriesea rodigasiana*

**Figura 3.7** Bromélias em estado reprodutivo amostradas nas quatro áreas de estudo. Parque Estadual Carlos Botelho - PECB, Estação Ecológica dos Caetetus - EEC, Estação Ecológica de Assis - EEA e Parque Estadual Ilha do Cardoso - PEIC

### **3.3 Preparo das amostras**

Dependendo do tipo de amostragem e do estudo realizado, o preparo de amostras envolveu entre um e três procedimentos, ou seja, lavagem, secagem e moagem do material vegetal coletado nas parcelas permanentes. A lavagem das folhas das bromélias foi realizada de acordo com a seqüência descrita por Markert (1995), empregando-se o detergente aniônico Alconox 1%, seguido de solução de EDTA 0,01 M e água destilada. Essa combinação remove as partículas aderidas na superfície das folhas, permitindo a obtenção dos resultados de composição química intrínseca de plantas. Seguindo-se o procedimento usual de preparo, o material lavado foi seco em estufa de circulação forçada à 60 °C até peso constante e cominuído em moinho de rotor Fritsch Pulverisette 14 para a redução do tamanho de partículas até 0,5 mm. Foram utilizados rotor e peneira em titânio para evitar contaminação com elementos químicos de interesse analítico. As amostras foram acondicionadas em frascos de polietileno de alta densidade para posterior análise química por INAA.

### **3.4 Análise por ativação neutrônica instrumental – INAA**

#### **3.4.1 Fundamentos**

A análise por ativação neutrônica (NAA) é uma técnica de determinação química baseada em reações físicas. Os processos físicos envolvidos são iniciados com produção de radionuclídeos por meio de reações nucleares, geradas a partir da irradiação das amostras com nêutrons. Simplificadamente, a sequência mais comum é mostrada na Figura 3.8, em que ao ocorrer uma interação entre o nêutron incidente e o núcleo alvo, forma-se um núcleo composto bastante instável, que dura apenas frações de segundo. Esse núcleo composto transforma-se quase

imediatamente em um núcleo radioativo, liberando energia na forma de raios gama pronto, processo que é finalizado ainda durante a irradiação e que caracteriza uma reação nuclear. Por meio de decaimento radioativo, conforme a meia-vida característica, o radionuclídeo formado emite partícula beta e raios gama e se transforma em um núcleo produto, normalmente estável. Na NAA, a radiação gama emitida no decaimento radioativo é detectada, permitindo a quantificação dos elementos químicos presentes na amostra (ALFASSI, 1994; EHMANN; VANCE, 1991).

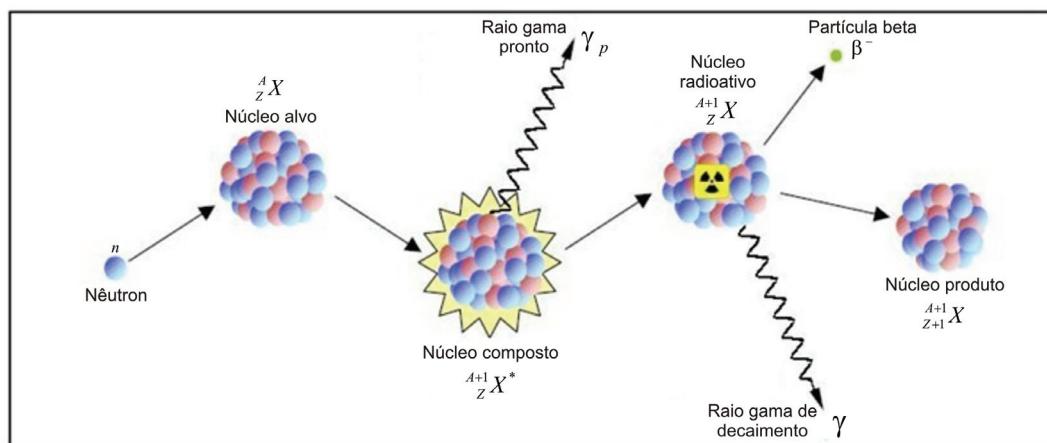


Figura 3.8 Seqüência comumente encontrada nos processos físicos envolvidos na análise por ativação neutrônica – NAA. Extraído de Semmler (2007)

Devido a suas ótimas características metrológicas, a NAA foi aceita como método primário de medição, sendo oficialmente reconhecida na 13th Meeting of the Consultative Committee for Amount of Substance: Metrology in Chemistry, Bureau International des Poids et Measures - CCQM/BIPM, Paris, França (BIPM, 2007). Um procedimento, ou método, primário de medição mede o valor de um mensurando sem referência a um padrão de uma grandeza do mesmo tipo (BIPM, 2008). A execução desse procedimento deve ser completamente descrita e entendida, sendo

que a incerteza analítica deve ser expressa em termos do Sistema Internacional de Unidades (SI).

Dentre as modalidades de NAA, a mais empregada é a análise por ativação neutrônica instrumental - INAA, por não envolver qualquer tipo de manipulação química da amostra. O preparo das amostras para análise normalmente é restrito à obtenção de um material seco, fino e homogêneo. Prescinde de etapas como dissoluções e separações químicas, garantindo resultados de melhor qualidade. Com isso, reduz-se a probabilidade de contaminação com elementos metálicos e de fracionamentos ou recuperações parciais do analito (TAGLIAFERRO, 2003). O método possibilita a determinação simultânea de vários elementos químicos em uma única análise com elevada precisão (BACCHI; FERNANDES; OLIVEIRA, 2000; BODE; FERNANDES; GEENBERG, 2000). Entretanto, a quantidade de elementos determinados varia conforme a matriz da amostra, e condições de preparo, irradiação e detecção (INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, 1990). A INAA é um dos métodos instrumentais mais aplicados na determinação de elementos químicos em plantas para estudos de impacto ambiental (SMODIŠ et al., 2004). Por meio de INAA, pôde ser facilmente obtida a composição química das espécies arbóreas nativas da Mata Atlântica para estudos de bioacumulação e biomonitoração (FRANÇA, 2006).

A INAA utiliza a espectrometria gama de alta resolução, em que detectores semi-condutores de germânio hiperpuro do tipo coaxial ou do tipo poço, adequado para amostras de baixa atividade, são empregados para a medição da radiação gama induzida durante a irradiação das amostras. Na ativação são obtidos os mais variados radionuclídeos, com diferentes meias-vidas, necessitando-se de mais de uma medição em uma mesma amostra para otimizar os resultados e eliminar

interferentes. Os resultados são armazenados na forma de espectros de radiação gama, obtidos em diferentes tempos de decaimento.

Para a quantificação das concentrações, podem ser utilizados os métodos comparativos, em que são empregados padrões de alta pureza para todos os elementos a serem determinados, ou paramétricos, nos quais está envolvida a equação de ativação. Nos métodos paramétricos há necessidade de padrão para apenas um elemento, sendo as concentrações de todos os elementos de interesse obtidas a partir da determinação do fluxo de nêutrons incidente e da calibração de eficiência do detector, além do conhecimento dos parâmetros nucleares envolvidos. O método de padronização  $k_0$  é o mais conhecido e utilizado, envolvendo uma série de cálculos que podem ser facilmente realizados com o auxílio do software Quantu, especialmente desenvolvido para esta finalidade (BACCHI; DE NADAI FERNANDES, 2003). O método  $k_0$  vêm sendo empregado pela vantagem de eliminar os problemas envolvidos durante o preparo, manutenção e análise de padrões para diversos elementos. Dessa forma, diminui o custo da análise e dos procedimentos laboratoriais (DE CORTE, 2001).

### **3.4.2 Irradiação**

Porções analíticas das amostras foram pesadas diretamente em cápsulas de polietileno específicas para a irradiação com nêutrons, compondo 10 lotes de amostras (Tabela 3.2). As cápsulas foram confeccionadas em polietileno de alta densidade e de elevada pureza pela Vrije Universiteit, Amsterdam, Holanda.

Para avaliação da qualidade do procedimento analítico, incluíram-se porções dos materiais de referência IAEA 336 *Trace Elements in Lichen* e IAEA V-10 *Hay Powder*, produzidos pela International Atomic Energy Agency (IAEA), Áustria, e

INCT-MPH-2 *Mixed Polish Herbs* e INCT-TL-1 *Tea Leaves*, produzidos pelo Institute of Nuclear Chemistry and Technology (INCT), Polônia. A escolha dos materiais de referência foi baseada na composição da matriz e nos elementos certificados, de modo a garantir a avaliação da qualidade da determinação do maior número possível de elementos químicos.

Tabela 3.2 - Porções-teste das amostras e materiais de referência certificados (IAEA V-10 Hay Powder, INCT-MPH-2 Mixed Polish Herbs, INCT-TL-1 Tea Leaves e IAEA 336 Trace Elements in Lichen) pesadas diretamente nas cápsulas de polietileno para análise química por INAA

Estudo	Lotes	Material	Massa (mg)	Cápsula de polietileno
				Altura (mm)
				Tipo
<i>I</i>	IS	Efeito da lavagem	200	9
		IAEA V-10; INCT-MPH-2	250	9
<i>II, III, IV</i>	IC, ID, IK, IM, IN, IR, JA, KX e LQ	Amostras sustentáveis	20	6
		IAEA/336; INCT-TL-1	120	6
		Amostras usuais	200	9
		IAEA V-10; INCT-MPH-2	250	9

Como monitores do fluxo de nêutrons térmicos incidente durante a irradiação foram empregados fragmentos de uma liga de Ni-Cr, com massa aproximada de 10 mg, intercalados entre as cápsulas de polietileno. Os fios de liga possuem homogeneidade comprovada do elemento monitor Cr (FRANÇA; FERNANDES; BACCHI, 2003).

Como parte da garantia da qualidade do procedimento analítico, cápsulas vazias (branco analítico) também foram incluídas nos lotes para a detecção de elementos químicos originalmente presentes no material das cápsulas. Elementos como Br, Cr, Na e Zn são encontrados nas cápsulas em valores variáveis de 0,2 a 2,5 mg kg<sup>-1</sup> (FRANÇA, 2006), sendo necessária a correção das concentrações desses elementos nas amostras.

Durante o encapsulamento, porções de 500 mg das amostras foram retiradas para a determinação de umidade, permitindo expressar os resultados em massa seca. Esse procedimento envolveu a secagem em estufa à 60°C durante um período aproximado de 24 horas para que pesagens sucessivas apresentassem variação menor que 1 mg. A umidade das amostras esteve entre 2% e 6%.

As amostras, materiais de referência, brancos e monitores de fluxo foram arranjados em "coelhos" de alumínio e irradiados com fluxo de nêutrons térmicos da ordem de  $10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$  por período de 8 horas no reator nuclear de pesquisa IEA-R1 do Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, da Comissão Nacional de Energia Nuclear - IPEN/CNEN, São Paulo, SP.

### **3.4.3 Medição da radiação por espectrometria gama de alta resolução**

Após a irradiação, as amostras foram transportadas de volta para o Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Laboratório de Radioisótopos - LRi/CENA/USP, Piracicaba, seguindo os protocolos da CNEN para a garantia de transporte seguro do material radioativo.

A medição da radioatividade induzida por espectrometria gama de alta resolução ocorreu em diversas ocasiões para as amostras, materiais de referência e brancos (Tabela 3.3). Foram empregados detectores de germânio hiperpuro, sendo dois coaxiais com 45% e 50% de eficiência relativa (1332 keV,  $^{60}\text{Co}$ ), modelos GEM 45190 e GMX 50220, respectivamente, e um do tipo poço, modelo GWL 22015 com  $249 \text{ cm}^3$  de volume ativo. Todos os detectores foram fabricados pela ORTEC. Para os monitores de fluxo, as medições ocorreram em duas ocasiões, ou seja, aproximadamente 15 e 20 dias após a irradiação.

Após a deconvolução dos espectros de radiação gama, as concentrações dos elementos químicos nas amostras e materiais de referência foram obtidas pelo método  $k_0$  de padronização. Para a quantificação de elementos químicos, assim como as respectivas incertezas combinadas, seguiu-se o procedimento inicialmente descrito por Bacchi, Fernandes e Oliveira (2000) a partir do pacote computacional Quantu (BACCHI; DE NADAI FERNANDES, 2003). O protocolo para a estimativa das incertezas analíticas envolveu a combinação das incertezas individuais de cada etapa do procedimento analítico, ou seja, pesagem, fluxo de nêutrons, estatística de contagem, geometria de contagem, correção de auto-atenuação da radiação gama e padronização por constantes (BACCHI; DE NADAI FERNANDES, 2003). Os resultados de amostras e materiais de referência foram corrigidos a partir dos valores de umidade obtidos para emissão de relatório de análise com valores em base seca.

Tabela 3.3 - Condições gerais de detecção da radioatividade induzida das amostras e materiais de referência

Lote	Detecção	Detector	Distância (cm)	Detecção (segundos)	Decaimento (dias)
IC	1	GEM 45190	11	1000	4
	2	GMX 50220	1,8	1800	7
	3	GEM 45190	0,6	3600	15
	4	GWL 22015	*	7200	25
ID	1	GMX 50220	15	1000	4
	2	GEM 45190	0,6	1800	7
	3	GEM 45190	0,6	7200	25
	4	GWL 22015	*	7200	35
IK	1	GEM 45190	16	1000	4
	2	GMX 50220	11	1800	7
	3	GEM 45190	0,6	7200	20
	4	GWL 22015	*	7200	35
IM	1	GMX 50220	9,6	900	3
	2	GEM 45190	5,0	1800	6
	3	GMX 50220	0,8	3600	14
	4	GWL 22015	*	7200	37
IN	1	GEM 45190	7,0	600	4
	2	GMX 50220	0,8	1800	7
	3	GEM 45190	0,6	7200	15
	4	GWL 22015	*	7200	20
IR	1	GMX 50220	7,0	900	4
	2	GEM 45190	0,9	1800	7
	3	GMX 50220	0,8	3600	15
	4	GWL 22015	*	7200	30
	5	GMX 50220	0,8	7200	40
IS	1	GMX 50220	44	900	3
	2	GEM 45190	5,0	1800	7
	3	GMX 50220	0,8	3600	14
	4	GWL 22015	*	7200	35
	5	GEM 45190	0,5	7200	40
JA	1	GMX 50220	34	1200	4
	2	GEM 45190	1,7	1800	7
	3	GMX 50220	0,8	3600	15
	4	GEM 45190	0,5	7200	35
	5	GWL 22015	*	7200	40
KX	1	GMX 50220	13	600	3
	2	GEM 45190	1,1	1800	5
	3	GEM 45190	0,4	3600	15
	4	GWL 22015	*	7200	18
	5	GMX 50220	0,8	5400	30
LQ	1	GMX 50220	18	600	3
	2	GEM 45190	0,6	1500	7
	3	GEM 45190	0,5	3600	12
	4	GEM 45190	0,6	5400	25

\* detector tipo poço

Embora seja referente a uma quantidade expressa em gramas por unidade de volume, conforme a International Union of Pure and Applied Chemistry, o termo concentração foi empregado neste trabalho para facilitar o entendimento, uma vez que fração de massa, definição mais apropriada para a expressão de resultados em unidade de massa por massa (IUPAC, 2008), ainda não é bastante empregada.

### **3.4.4 Controle da qualidade do procedimento analítico**

#### *Exatidão dos resultados*

Para avaliação da qualidade dos resultados do procedimento analítico, foram calculados os valores  $En$  para os elementos químicos determinados nos materiais de referência, levando em consideração as respectivas incertezas expandidas de cada resultado individual obtido e aquelas constantes do certificado de análise do material de referência conforme a Equação 1:

$$En = \frac{x - X}{\sqrt{I_x^2 + I_x^2}} \quad (1)$$

na qual,

$x$  = resultado obtido ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

$X$  = valor de referência extraído do certificado ( $\text{mg kg}^{-1}$ )

$I_x$  = incerteza expandida do resultado obtido, nível de 95% de confiança

$I_x$  = incerteza expandida do valor de referência, nível de 95% de confiança

Os valores  $En$  permitem comparar os resultados de concentrações obtidos com os valores constantes nos certificados de análise dos materiais de referência,

considerando as respectivas incertezas. São considerados admissíveis valores  $En$  na faixa entre -1 e 1 para cada elemento avaliado como garantia da qualidade do procedimento analítico.

#### *Reprodutibilidade ao longo dos estudos*

A reproduzibilidade indica a concordância entre os resultados das medições de um mesmo mensurando efetuadas sob condições variadas de medição (INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL 2007). As variações testadas podem incluir uma ou mais das seguintes condições: princípio de medição, método de medição, observador, instrumento de medição, padrão de referência, local, condições de utilização e tempo. A edição atual do International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms (VIM), incluiu como possíveis condições de reproduzibilidade, a realização de ensaios em diferentes localidades, por analistas variados, nos mais diversificados sistemas de medição e por diversas medições realizadas em um mesmo objeto ou de matriz similar (BIPM, 2008). Aqui, a reproduzibilidade foi testada principalmente quanto às condições de utilização e tempo, fornecendo uma estimativa da precisão dos resultados ao longo da análise dos diversos lotes analíticos.

Para verificar a reproduzibilidade alcançada, avaliou-se o grau de concordância entre os resultados de oito repetições realizadas, em diversos lotes analíticos, para os materiais de referência certificados IAEA 336 e INCT-TL-1. Os resultados individuais de seis elementos foram comparados com o valor médio ( $n = 8$ ), levando em consideração as respectivas incertezas expandidas. De maneira geral, espera-se que os desvios dos resultados em relação ao valor médio sejam menores do que as respectivas incertezas expandidas.

### **3.5 Detalhamento dos estudos**

Conforme a Seção 3.2, a avaliação da qualidade ambiental das parcelas permanentes envolveu os estudos (I) avaliação da composição química de bromélias nos diversos tipos vegetacionais, (II) avaliação da composição química das diferentes espécies de bromélias, (III) contribuição dos modos nutricionais (tanque e atmosférico) e dos modos de crescimento (epifítico e terrícola) para a composição química de folhas de bromélias nativas, (IV) efeito da lavagem sobre os elementos químicos presentes nas partículas de solo contaminante das folhas. Finalmente, foi realizado o estudo V, que trata da amostragem sustentável, especificamente elaborada para a avaliação da qualidade ambiental em unidades de conservação, incluindo a variabilidade da composição química nos fragmentos tomados nos diferentes terços das folhas e terços das plantas.

#### **3.5.1 Estudo I – Diferenças na composição química de folhas de bromélias dos diversos tipos vegetacionais**

As parcelas possuem características ambientais diferenciadas, principalmente com relação à disponibilidade de água e influência oceânica. Desse modo, 22 rosetas referentes às onze espécies de bromélias coletadas nas parcelas permanentes PEBC, PEIC, EEA e EEC (Tabela 3.1) foram empregadas para a análise de similaridade dos tipos vegetacionais quanto à composição química. A coleta e a preparação das amostras para a irradiação seguiram os procedimentos descritos nas Seções 3.2 e 3.3, respectivamente, enquanto a análise química das folhas foi realizada por INAA conforme a Seção 3.4.

A partir dos dados da composição química das bromélias, a análise estatística multivariada utilizou as concentrações padronizadas dos elementos químicos com a

finalidade de reduzir os efeitos de escala referentes às diversas faixas de concentrações nas amostras. As análises multivariadas empregadas foram a análise factorial por componentes principais – AFCP e a análise de agrupamento. As cargas fatoriais, principal resultado da AFCP, foram obtidas pelo método de extração de verossimilhança e rotacionadas pela padronização varimax, ambas realizadas pelo programa computacional SAS (SAS INSTITUTE, 1996). Os resultados da AFCP foram utilizados para avaliar as correlações dos elementos químicos, que podem explicar fontes semelhantes para a composição química das diferentes bromélias estudadas. Utilizando-se de 12 elementos químicos, foi construído dendrograma a partir das distâncias euclidianas calculadas pelo programa *Statistica*, permitindo a averiguação da similaridade da comunidade epífita entre as parcelas permanentes.

### **3.5.2 Estudo II - Avaliação da composição química das diferentes espécies de bromélias**

Foi realizada comparação a fim de avaliar semelhanças e diferenças entre as onze espécies de bromélias, coletadas em duplicata nas parcelas permanentes, quanto às concentrações de elementos químicos nas folhas. A coleta e preparo das amostras ocorreu de acordo com os procedimentos descritos nas Seções 3.2 e 3.3, respectivamente. Após homogeneização, as amostras foram direcionadas à INAA (Seção 3.4) para a determinação de elementos químicos.

Do ponto de vista univariado, após a avaliação da homocedasticidade de variâncias e verificação da normalidade dos dados, foi aplicada análise de variância para os dados normalizados das concentrações, considerando-se as médias das bromélias avaliadas em cada parcela permanente. O método de comparações

multiplas utilizado foi o de Tukey a partir do procedimento GLM do SAS (SAS INSTITUTE, 1996).

Assim como realizado para o Estudo I (Seção 3.5.1), a análise multivariada foi empregada para o estudo de comparação das composições químicas das espécies avaliadas. Para isso, empregou-se a análise de agrupamento a partir da criação de um dendrograma utilizando as distâncias euclidianas calculadas pelo programa *Statistica*.

De modo a avaliar a acumulação de elementos químicos para cada espécie de bromélia, foi proposto um método baseado na atribuição de índices exclusivos (0 ou 1). Compararam-se os valores obtidos ( $x_{ij}$ ) de um dado elemento químico  $i$  de cada espécie  $j$  com as médias aritméticas ( $\bar{x}$ ) dos dados de concentrações dos elementos químicos. Para elementos químicos acumulados na planta, ou seja,  $x_{ij} \geq \bar{x}$ , atribuíram-se valores 1, caso contrário, isto é,  $x_{ij} < \bar{x}$ , o valor do índice de acumulação foi igual a 0. Desse modo, foi possível avaliar qual espécie de bromélia apresentou maior acumulação de elementos químicos.

### **3.5.3 Estudo III – Modos de nutrição (atmosférico x tanque) e de crescimento (epifítico x terrícola)**

As diferentes espécies de bromélias epífitas podem ser classificadas conforme os modos de nutrição, ou seja, atmosférico ou tanque. A avaliação das possíveis diferenças químicas geradas pela presença ou não de tanque foi realizada para as espécies *Billbergia zebrina* (tanque) e *Tillandsia recurvata* (atmosférica), pois a coleta foi realizada na mesma unidade de conservação (EEA).

A bromélia *Vriesea carinata* coletada no PEIC, espécie normalmente holoepífito verdadeira, foi também encontrada na mesma área se comportando como

holoepífita facultativa, vegetando sobre o solo. Foram coletadas duas rosetas para verificar diferenças entre os modos de crescimento, que refletem também mudanças fisiológicas nos modos de nutrição. Na condição de epífita, as plantas tiram os elementos químicos da atmosfera ou da serrapilheira depositada nos tanques, enquanto, no modo terrícola, as raízes podem desempenhar papel de absorção de água e nutrientes.

### **3.5.4 Estudo IV - Efeito do procedimento de lavagem na composição química**

Para avaliar o efeito do procedimento de lavagem sobre os elementos químicos nas folhas, foram utilizadas dez bromélias da espécie *Vriesea carinata* coletadas no PEIC. O procedimento de lavagem envolveu Alconox 1% e EDTA 0,01 M, seguido de água destilada para a remoção dos resíduos (MARKERT, 1995). De cada bromélia, folhas foram retiradas uma a uma, separando-as em dois grupos: folhas lavadas e não-lavadas (Figura 3.9). As folhas foram preparadas conforme descrito na Seção 3.3 para as etapas de secagem e cominuição. Para evitar contaminação cruzada, o preparo das amostras foi realizado separadamente para as folhas lavadas e não lavadas. Todas as amostras foram encaminhadas para INAA para a determinação de elementos químicos (Seção 3.4).

Com as concentrações determinadas, foi realizada a verificação da normalidade da distribuição dos dados pelo teste de Shapiro-Wilk ( $\alpha = 0,05$ ). Foram utilizados os testes t Student e das ordens assinaladas para dados pareados, por meio do procedimento UNIVARIATE do programa SAS (SAS INSTITUTE, 1996), de modo a avaliar as diferenças significativas entre os resultados de elementos químicos determinados nas folhas lavadas com Alconox e EDTA e não-lavadas.



Figura 3.9 Detalhamento do Estudo IV – Efeito do procedimento de lavagem na composição química de folhas de bromélias

### 3.5.5 Estudo V - Amostragem sustentável em unidades de conservação

A nova metodologia de amostragem proposta consiste em utilizar pequenos fragmentos de folhas (discos) para determinação da composição química (Figura 3.10). Além do inerente caráter conservacionista, uma das principais características da nova metodologia é a possibilidade de monitoração continuada de um mesmo indivíduo por um longo período de tempo, pois as rosetas são mantidas praticamente intactas. Somam-se, ainda, as vantagens de facilidade no preparo de amostras e eliminação de etapas com grande consumo de tempo, como a moagem. Além disso, dispensando a moagem e a subamostragem, os erros envolvidos nas análises tendem a ser minimizados.



Figura 3.10 Ilustração dos discos retirados referentes à amostragem sustentável para análise de folhas de bromélias no interior das unidades de conservação

As onze espécies de bromélias coletadas nas quatro parcelas foram empregadas neste estudo. Após a lavagem conforme descrito na Seção 3.3, foram retirados discos de 6 mm de diâmetro, utilizando amostrador confeccionado em aço-inoxidável. Os discos foram retirados dos terços superior, médio e inferior das plantas, permitindo avaliar o nível de acumulação de elementos químicos de acordo com os diferentes graus de maturação das folhas (jovem, madura e senescente). Ainda, houve também coleta nos terços inferior, médio e superior das folhas para estudo da variabilidade das concentrações de elementos químicos nos diferentes estágios de crescimento das folhas. Assim, de cada planta, nove amostras de discos foram tomadas, ou seja, três pares de folhas representando os terços da planta e três terços de cada par de folhas. Seis discos de cada terço da folha compuseram uma amostra (Figura 3.11). Para as espécies *Acanthostachys strobilacea*, *Tillandsia loliaceae*, *Tillandsia recurvata* e *Tillandsia tricholepis*, a morfologia da planta não permitiu a amostragem pela retirada de discos. Assim, foram tomados fragmentos das folhas representando os terços da planta, sem que fosse avaliado o padrão de

distribuição nos terços das folhas. No geral, 126 amostras de discos foram analisadas por INAA.

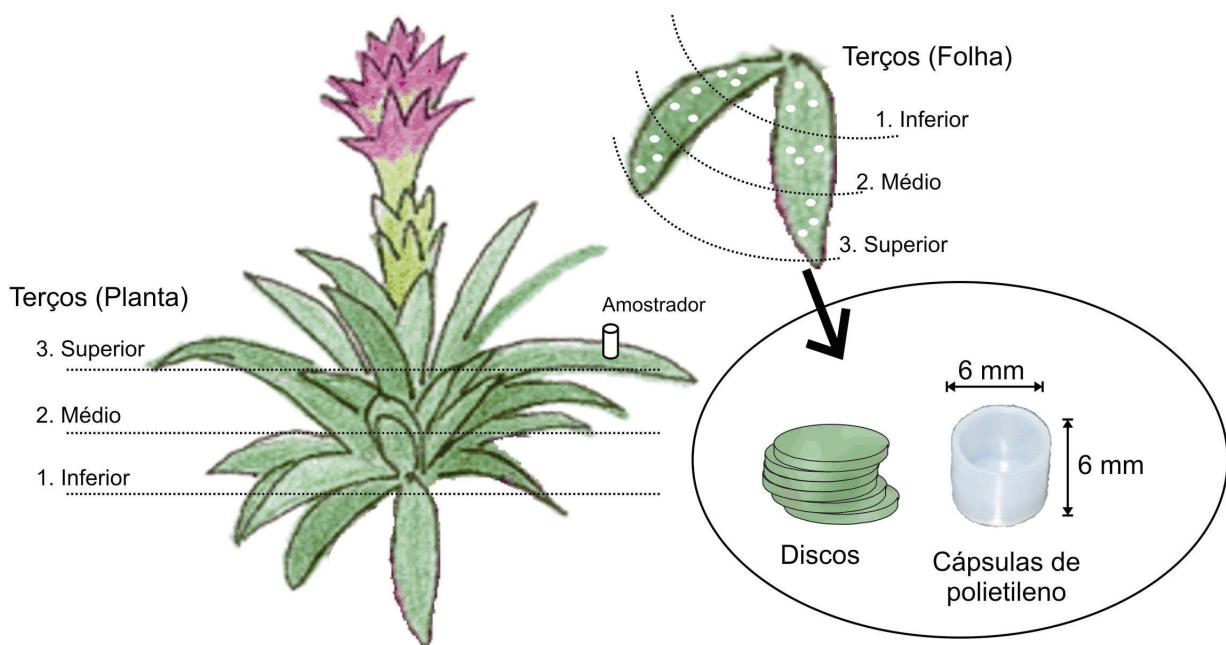


Figura 3.11 Detalhamento do procedimento simplificado de amostragem para bromélias-tanque no qual foram retirados discos de 6 mm de diâmetro

As amostras foram transferidas para cápsulas de polietileno de diâmetro interno similar aos discos (6 mm), sendo congeladas à -18 °C por 24 horas para possibilitar a liofilização, a fim de obter resultados em massa seca. Em seguida, foram liofilizadas por um período aproximado de 48 horas à temperatura de -52 °C e pressão na câmara de vácuo de 10 mbar, utilizando liofilizador modelo SNL 216V fabricado pela Thermo Electron Corporation. Após a retirada dos discos, as folhas remanescentes seguiram os procedimentos de secagem e moagem da Seção 3.3, constituindo as amostras usuais. Todas as amostras foram, então, encaminhadas para INAA (Seção 3.4).

A análise dos resultados compreendeu a aplicação de testes estatísticos univariados para comparações pareadas e estudos de correlação para a avaliação

das inter-relações entre os elementos químicos nos terços inferior, médio e superior das plantas. O teste de Shapiro-Wilk foi utilizado na verificação da normalidade dos dados. Nos casos em que se confirmou a normalidade, seguiu-se a análise com o teste t para comparação entre médias para avaliar as diferenças significativas entre as concentrações dos elementos químicos determinados nos discos (amostragem sustentável) e nas amostras pulverizadas (amostragem usual). Nos casos de rejeição da hipótese de normalidade em nível de 95% de confiança, empregou-se o teste não paramétrico das ordens assinaladas, por meio do procedimento UNIVARIATE do SAS (SAS INSTITUTE, 1996). Além disso, foi utilizado o procedimento CORR do SAS para a construção de matriz de correlação de Pearson para as concentrações dos elementos químicos determinados nos terços das plantas (SAS INSTITUTE, 1996).

A avaliação da representatividade dos discos provenientes da amostragem sustentável com relação ao procedimento usual foi também realizada graficamente, de modo a comparar o valor médio dos elementos químicos da amostragem usual com a média dos valores obtidos nos terços inferior, médio e superior das bromélias, considerando-se também as respectivas incertezas analíticas.

### Acompanhamento das bromélias

Realizou-se o acompanhamento no campo de algumas plantas amostradas para observar possíveis impactos ocasionados pela retirada de discos. Algumas bromélias do PEIC foram perfuradas com o amostrador em julho de 2006, mantendo-se a planta no seu habitat, seguindo a proposta conservacionista da amostragem sustentável. Os discos foram retirados com o devido cuidado para minimizar os danos às bromélias. Em dezembro de 2006, aproximadamente seis meses após a retirada dos discos, foi observada a cicatrização das folhas no entorno dos pontos amostrados, podendo-se afirmar que as plantas não apresentaram danos graves pela amostragem (Figura 3.12).



Figura 3.12 Acompanhamento das bromélias no campo, em que foram retirados discos em julho de 2006. A cicatrização no entorno dos pontos amostrais foi observada em dezembro de 2006

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Controle da qualidade do procedimento analítico

#### 4.1.1 Exatidão dos resultados

A Figura 4.1 mostra os valores  $En$  calculados para os quatro materiais de referência analisados a partir da média dos resultados dos elementos químicos, abrangendo os vários lotes de irradiação. O índice  $En$  permite comparar os resultados obtidos com os valores constantes nos certificados, considerando suas incertezas expandidas, o que favorece uma avaliação bastante realista da exatidão alcançada pelo método analítico. Em cada lote foram utilizados, no mínimo, dois materiais de referência, ou seja, INCT-TL-1 e IAEA-336 foram irradiados em sete lotes ( $n = 8$ ), enquanto INCT-MPH-2 e IAEA-V10 foram irradiados em quatro lotes ( $n = 4$ ). Os valores para Ca e Ce estão apenas em um dos gráficos, pois esses elementos não estão disponíveis nos certificados dos materiais de referência IAEA-336 e IAEA-V10, respectivamente. Ba, Eu, Hf, La, Sm e Th correspondem a um resultado único, uma vez que esses elementos foram determinados apenas no lote de amostras em que se avaliou o procedimento de lavagem das bromélias.

Observando-se os dois gráficos da Figura 4.1, percebe-se que os valores  $En$  estão dentro do limite admissível, ou seja, entre -1 e 1, para a maioria dos elementos, demonstrando o bom nível de exatidão atingido nas análises. Apenas a determinação de Hf, La e Sm para o material INCT-MPH-2 apresentou alguma deficiência, pois os valores se encontram fora desse limite. Para esses três elementos, há que se considerar que foram determinados apenas uma vez, o que aumenta a possibilidade de obter resultados discrepantes. Além disso, os valores para os mesmos três elementos no IAEA-V10 estão no intervalo esperado de -1 a 1, ainda que Sm esteja próximo ao limite. No caso da maior discrepância, ou seja, para

Hf no INCT-MPH-2, é importante lembrar que o certificado destaca que o valor de referência resulta de apenas um método analítico, o que pode comprometer a sua exatidão.

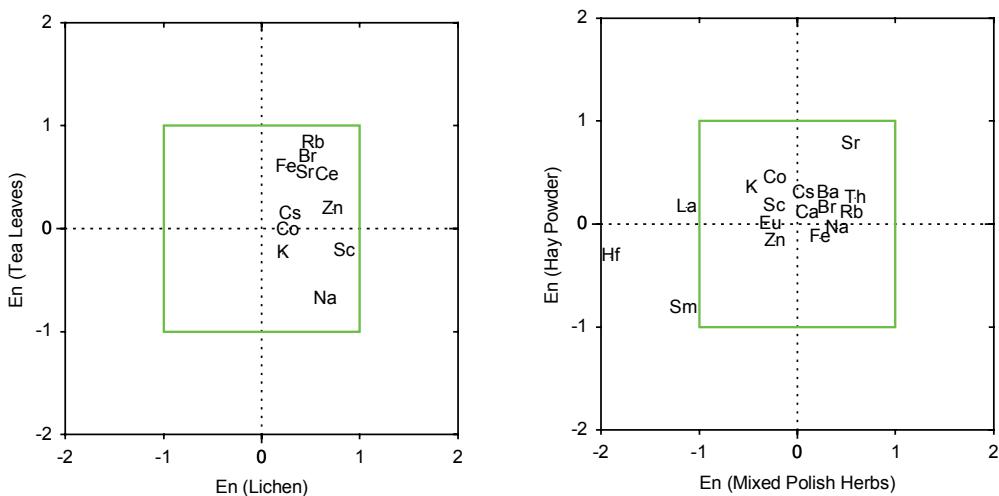


Figura 4.1 Valores  $En$  obtidos a partir dos resultados médios dos elementos químicos para os materiais de referência INCT-TL-1 Tea Leaves e IAEA-336 Lichen ( $n=8$ ), e INCT-MPH-2 Mixed Polish Herbs e IAEA-V10 Hay Powder ( $n=4$ )

Ainda que os resultados demonstrem exatidão apropriada, observa-se uma leve tendência nos valores  $En$ , que são predominantemente positivos, principalmente para os materiais IAEA-V10 e IAEA-336. Essa tendência de obter resultados maiores que os valores de referência pode ser explicada em parte pela correção de umidade utilizada para expressar os resultados em massa seca. A determinação de umidade em materiais de referência biológicos pode ser um fator que gera inexatidão nos resultados, tendo em vista a ocorrência de matriz com característica higroscópica.

Os frascos dos materiais de referência são armazenados em dessecadores e, de acordo com o uso, realiza-se ocasionalmente uma determinação de umidade

segundo o procedimento proposto no respectivo certificado. Assim, a correção é executada utilizando o valor mais recente disponível.

No caso do material de referência IAEA-336, que apresentou  $En$  positivo para todos os elementos, foi realizada correção equivalente a 8% de umidade. Essa umidade é relativamente elevada, considerando que os resultados dos outros materiais de referência foram corrigidos em no máximo 5%. Para o IAEA-V10 a correção foi 5%, enquanto o certificado aponta como referência um valor médio de 2%. Essa diferença de 3% pode ser responsável pela predominância de valores  $En$  positivos nesse material.

#### **4.1.2 Reprodutibilidade ao longo dos estudos**

Os valores individuais obtidos para seis elementos químicos em dois materiais de referência, IAEA-336 Lichen e INCT-TL-1 Tea Leaves, foram empregados para avaliar a reproducibilidade dos resultados ao longo dos experimentos realizados (Figura 4.2). A maior parte dos valores não difere significativamente da média em nível de 95% de confiança, considerando a respectiva incerteza expandida, dada a sobreposição entre as barras de erro e a linha central de cada gráfico, que representa a média.

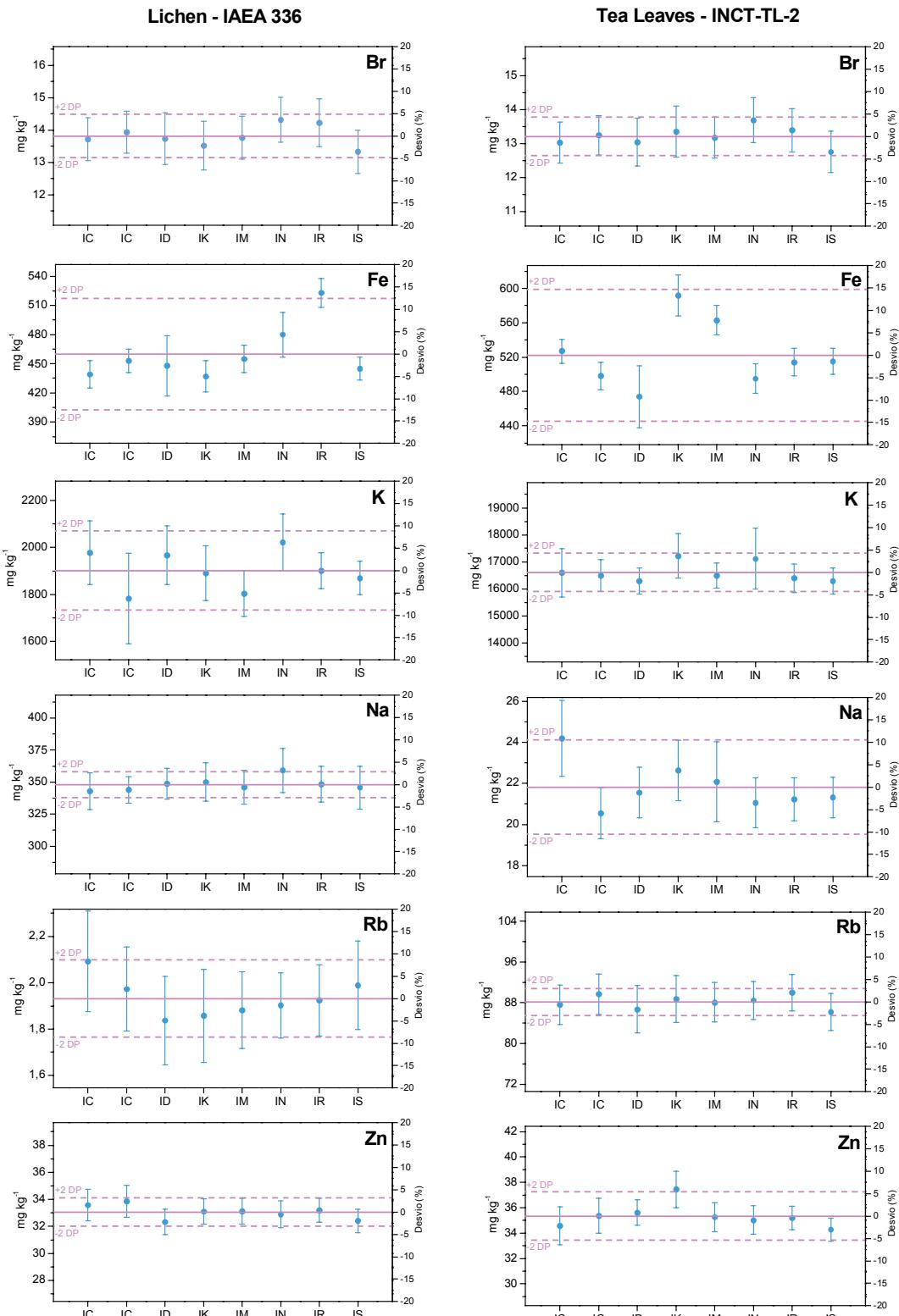
Também na Figura 4.2, pode-se observar que, exceto para Fe, os intervalos de dois desvios-padrão apresentam-se menores que 10% e, em muitos casos, inferiores a 5%, demonstrando a baixa dispersão dos resultados obtidos. A dispersão dos dados é dependente do valor da concentração, o que é bem nítido para K, Na e Rb. Valores mais baixos normalmente implicam em incertezas maiores na determinação, o que consequentemente eleva a dispersão. Não há problema analítico aparente na determinação de Br, K, Na, Rb e Zn, pois a dispersão dos

valores é compatível com a incerteza calculada. Além disso, existem apenas três pontos ligeiramente fora do intervalo de dois desvios-padrão, sendo um para Zn e dois para Na.

Para Fe, a dispersão dos dados é bem mais acentuada, sendo que nove pontos mostram desvio com relação à média maior do que a incerteza expandida. Os resultados apresentam dispersão incompatível com a incerteza, o que parece apontar problema analítico. Entretanto, os maiores desvios não acontecem simultaneamente para os dois materiais de referência. Os grandes desvios observados nos lotes IK e IR, por exemplo, ocorrem apenas para um dos dois materiais. Isso caracteriza que a dispersão dos dados é aleatória, não seguindo qualquer tendência. A inadequação do procedimento de cálculo das incertezas também poderia ser a explicação para a incoerência entre dispersão e incerteza. Porém, o procedimento se mostra confiável para outros cinco elementos, não havendo razão para considerar a existência de inconsistência apenas para Fe.

Pode ser comum a ocorrência de problemas na determinação de Fe em material de referência de plantas, devido à possibilidade de uma elevada concentração em pequenas partículas minerais contaminantes, o que acaba prejudicando a solubilidade e a homogeneidade da distribuição desse elemento (LINDSTROM et al., 1990). Assim, uma distribuição não homogênea do Fe no material de referência poderia ser uma explicação para a dispersão notada. Particularmente com relação ao material Tea Leaves, cabe lembrar que o valor de Fe é apenas de informação, porque a elevada dispersão dos dados no processo de intercomparação laboratorial não permitiu estabelecer um valor certificado, embora 92 laboratórios tenham participado com resultados para esse elemento (DYBCZYNSKI et al., 2002).

Pela avaliação realizada com os dois materiais de referência, considera-se que a reproducibilidade dos resultados ao longo do trabalho experimental foi adequada, permitindo a comparação dos dados obtidos nos diversos lotes analíticos. Em geral, a dispersão dos dados foi compatível com as incertezas analíticas estimadas, o que também confirma a robustez dos cálculos empregados na avaliação das incertezas.



**Figura 4.2** Resultados para os materiais de referência Lichen e Tea Leaves em oito repetições realizadas em sete lotes, respectivas incertezas expandidas, média e limites de mais ou menos dois desvios-padrão ( $n=8$ ). O eixo à direita mostra a dispersão dos valores individuais com relação à média

## 4.2 Estudo I – Diferenças na composição química de folhas de bromélias dos diversos tipos vegetacionais

Os resultados de concentração obtidos para os elementos Br, Ca, Ce, Co, Cs, Fe, K, Na, Rb, Sc, Sr e Zn para as bromélias nas unidades de conservação PECB, PEIC, EEC e EEA são apresentados na Tabela 4.1, representados pelos valores máximos e mínimos encontrados em cada parcela permanente. Em geral, nota-se similaridade entre os dados obtidos nas quatro unidades de conservação de acordo com as faixas de concentração da Tabela 4.1. Entretanto, alguns valores observados estão bem abaixo das faixas encontradas nas outras áreas, apontando uma disponibilidade diferenciada desses elementos no ambiente. Além disso, deve ser ressaltado que esses valores são referentes às diferentes espécies estudadas, com mecanismos de absorção diversificados, o que pode favorecer ou não a acumulação de determinados elementos químicos.

Tabela 4.1 - Faixas de concentrações ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) observadas nas unidades de conservação Parque Estadual Ilha do Cardoso – PEIC, Parque Estadual Carlos Botelho – PEBCB, Estação Ecológica dos Caetetus – EEC e Estação Ecológica de Assis – EEA. Os resultados foram baseados na análise de folhas de 22 rosetas de 11 espécies

	PEIC		PECB		EEC		EEA	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Br	4,8	- 11,8	16	- 18	3,73	- 4,64	0,98	- 9,62
Ca	1730	- 5060	3160	- 4670	3920	- 5370	1260	- 4210
Ce	0,05	- 0,20	0,04	- 0,13	0,57	- 1,14	0,07	- 0,34
Co	0,05	- 0,36	0,08	- 0,34	0,19	- 0,25	0,06	- 0,43
Cs	0,03	- 0,28	0,09	- 0,29	0,034	- 0,074	0,94	- 4,03
Fe	64	- 270	80	- 240	350	- 624	85	- 216
K	3400	- 11500	17400	- 21700	5700	- 20600	14200	- 26700
Na	3350	- 6480	4680	- 7270	1450	- 2240	100	- 880
Rb	3,6	- 16,0	35	- 42	13	- 47	40	- 108
Sc	0,0016	- 0,0146	0,0028	- 0,0069	0,087	- 0,166	0,0093	- 0,0469
Sr	17	- 39	65	- 92	20	- 35	11	- 25
Zn	11	- 76	28	- 43	17	- 23	8,8	- 18,6

Bromo (Br) e zinco (Zn) apresentaram faixas de valores mais altos nas unidades de conservação da Mata Atlântica, com máximos respectivamente no PECB e PEIC, áreas sobre influência marinha. A acumulação de Br em espécies nativas da Mata Atlântica dada a proximidade do oceano vem sendo estudada, uma vez que as correlações com outros elementos também de influência marinha, como cloro (Cl) e sódio (Na), foram estimadas em 0,41 (Br vs. Cl) e 0,30 (Na vs. Cl) para espécies arbóreas do PEBC (FRANÇA, 2006). Cabe ressaltar que, ao contrário de Zn, cuja essencialidade é comprovada, Br não possui função fisiológica definida (MARKERT, 1998). Contudo, apresentou alta correlação com os elementos químicos essenciais eletrolíticos do Sistema Biológico dos Elementos - BSE (MARKERT, 1998). Br e Zn podem estar ainda relacionados com a influência antrópica, proveniente de tráfego de veículos e de atividade industrial, mesmo para áreas distantes de grandes centros poluidores como é o caso do PEIC e do PEBC (FRANÇA, 2006).

Cobalto (Co) e principalmente césio (Cs) tiveram seus valores máximos superiores na EEA, área que está sendo cada vez mais impactada em decorrência da ação antrópica. Na verdade, o valor mínimo de Cs na EEA foi bem superior aos valores máximos encontrados nas outras unidades, evidenciando maior disponibilidade de Cs nessa área de cerradão ou, então, maior capacidade de acumulação das espécies avaliadas. Co e Cs podem estar associados a emissões atmosféricas, como é caso de Co em que as fontes podem ser atribuídas a indústrias metalúrgicas (FUGA et al., 2008). Para Cs, altas concentrações nos tecidos também são indicativas de potencial para acumulação de  $^{137}\text{Cs}$ , que é disponibilizado no ambiente por atividades nucleares (YOSHIDA et al., 2004). Contudo, os testes realizados por espectrometria gama de alta resolução com

amostra de *Billbergia zebrina*, rica em Cs, não apontaram quantidades significativas de  $^{137}\text{Cs}$ , diferentemente do que aconteceu para *Alsophila sternbergii*, uma espécie de samambaia, no PEBC que acumulou ambos Cs e  $^{137}\text{Cs}$  (FRANÇA, 2006).

As bromélias apresentaram faixas de concentrações semelhantes para o elemento essencial Ca, enquanto para Sr as concentrações foram bem maiores nas bromélias do PEBC. Estrôncio pode atuar competitivamente com Ca, pois ambos possuem comportamento químico similar, embora Sr não substitua Ca nas funções estruturais das plantas (KABATA-PENDIAS, 2001). Por isso, era esperada uma mesma tendência nos resultados de Sr entre as diversas áreas, como foi observado para Ca. Maiores concentrações de Sr são também indicativas de potencial para acumulação de  $^{90}\text{Sr}$ , um dos mais perigosos produtos de fissão do urânio (TUMEY et al., 2008), obviamente dependendo da disponibilidade do radionuclídeo no ambiente.

Para sódio (Na), os resultados obtidos na EEA e na EEC foram bem menores do que os valores observados nas regiões sob influência oceânica, como é o caso do PEBC e do PEIC, em que os máximos encontrados foram  $7.270 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $6.820 \text{ mg kg}^{-1}$ , respectivamente. Houve, ainda, uma nítida diferença nos resultados de Na entre as parcelas da EEC e da EEA. É possível que Na desempenhe algum papel fisiológico para plantas, sendo considerado um elemento funcional com habilidade demonstrada de substituir K no carreamento de substâncias e no controle de turgidez das células (SUBBARAO et al., 2003). Isso explicaria a acumulação do elemento observada nas folhas das bromélias, independentemente da vegetação estudada e da influência oceânica.

Potássio (K) e rubídio (Rb) mostraram um comportamento bastante semelhante nas quatro unidades, apresentando valores mais baixos no PEIC e

máximos na EEA, área de cerradão. Esses elementos se comportam de forma similar quimicamente, sendo que K pode ser substituído por Rb, que é absorvido pelas plantas, embora não se conheça nenhuma função fisiológica desempenhada por esse elemento (KABATA-PENDIAS, 2001). Contudo, as razões entre as concentrações de Rb e K indicaram comportamento diferenciado de absorção nas espécies de uma mesma área (Figura 4.3). No caso do PEIC, as razões foram inferiores, indicando uma menor disponibilidade de Rb na floresta de restinga e/ou maior especialização das plantas para evitar acumulação desnecessária desse elemento. Como aconteceu para o Cs, que é da mesma família química, as espécies da EEA mostraram proporcionalmente maior acumulação de Rb nas suas folhas, se comparada com a acumulação de K.

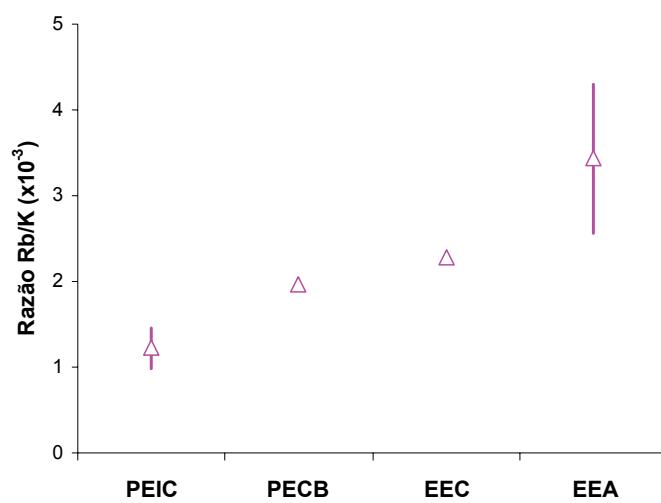


Figura 4.3 Razões entre as concentrações de Rb e K nos diversos tipos vegetacionais estudados

Concentrações muito acima dos máximos das outras áreas foram observadas para cério (Ce), ferro (Fe) e escândio (Sc) em plantas da EEC (Tabela 4.1). Para Sc, o valor mínimo encontrado na EEC está cerca de duas vezes acima do máximo

observado nas outras três unidades. Tipicamente, maiores concentrações desses elementos químicos são indicativas da contaminação da superfície das folhas com terra (FERRARI et al., 2006), mesmo após a lavagem das folhas com Alconox e EDTA (Seção 4.5).

Para avaliar possíveis fontes de elementos químicos para as plantas, a análise estatística multivariada aplicada aos dados de concentração é bastante interessante, principalmente a análise fatorial por componentes principais – AFCP. A partir da matriz de correlação dos elementos químicos, estimaram-se as cargas fatoriais, que foram rotacionadas pelo método varimax para melhor visualização das fontes de elementos químicos (Figura 4.4). Após observar a redução dos autovalores ( $\leq 1,0$ ), foram considerados três fatores que explicam cerca de 80% da variabilidade química encontrada nas folhas das bromélias. O fator 1 apontou fonte comum de Ce, Fe e Sc, demonstrando a contaminação da superfície das folhas com terra como principal responsável pelas concentrações obtidas. Com o fator 2 estiveram correlacionados principalmente Br e Sr, enquanto Ca, Na e Zn foram fracamente explicados por esse fator. O fator 3 foi representativo dos elementos da Família IA, ou seja, Cs, K e Rb. Contudo, é possível verificar pela Figura 4.4 que Br, Na, Sr e Zn ficaram bastante distantes dos demais grupos de elementos químicos formados. As áreas apresentam características particulares quanto às condições ambientais, o que impossibilita afirmar que o uso dos elementos químicos pelas espécies segue uma única regra bem definida. Aparentemente, apenas aqueles relacionados com as partículas aderidas às folhas, como Ce, Fe e Sc, tiveram padrão bem estabelecido.

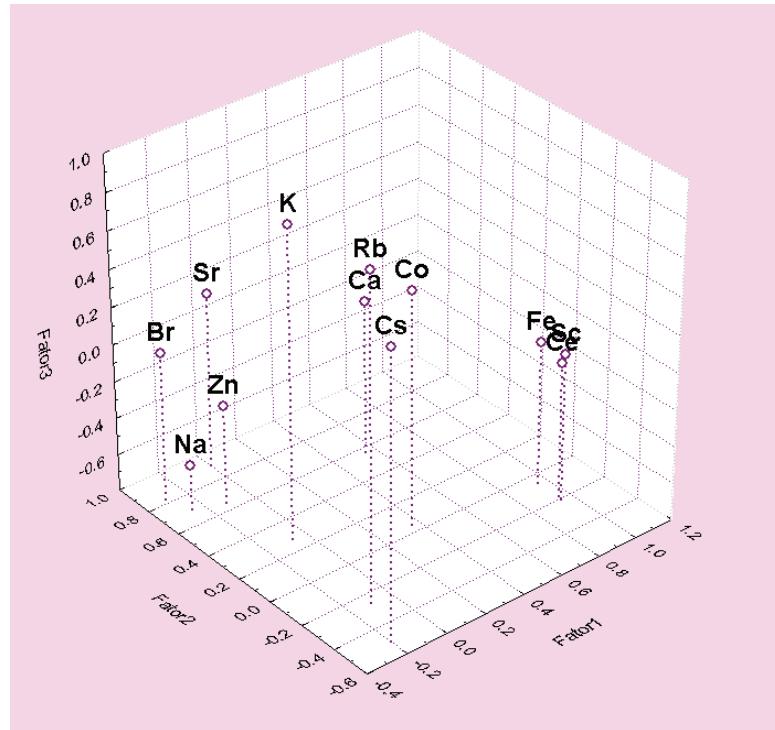


Figura 4.4

Cargas fatoriais rotacionadas (método varimax) obtidas pela análise fatorial por componentes principais - AFCP aplicada às concentrações de Br, Ca, Ce, Co, Cs, Fe, K, Na, Rb, Sc, Sr e Zn quantificados em folhas das bromélias coletadas nas quatro áreas de estudo

Por meio da análise de agrupamento foi obtido um dendrograma, construído a partir das concentrações médias dos elementos químicos em todas as espécies tomadas em cada unidade de conservação (Figura 4.5). Mesmo com as possíveis diferenças em termos da utilização de elementos químicos pelas espécies, os resultados apresentam dois grupos principais, um formado por EEA e EEC e outro por PEIC e PEBC, separados principalmente por elementos químicos relacionados com influência oceânica, como foi bem destacado para Br e Na. O primeiro grupo comprehende as unidades de cerradão e floresta estacional semidecidual, regiões situadas longe do oceano, que estão mais próximas a áreas industriais e urbanas. Por outro lado, as florestas de restinga e ombrófila densa, formadoras do segundo grupo, apresentam similaridade nas formações vegetacionais e são influenciadas

pelo oceano. Além disso, observou-se também um subagrupamento de acordo com a unidade de conservação em que as bromélias foram coletadas.

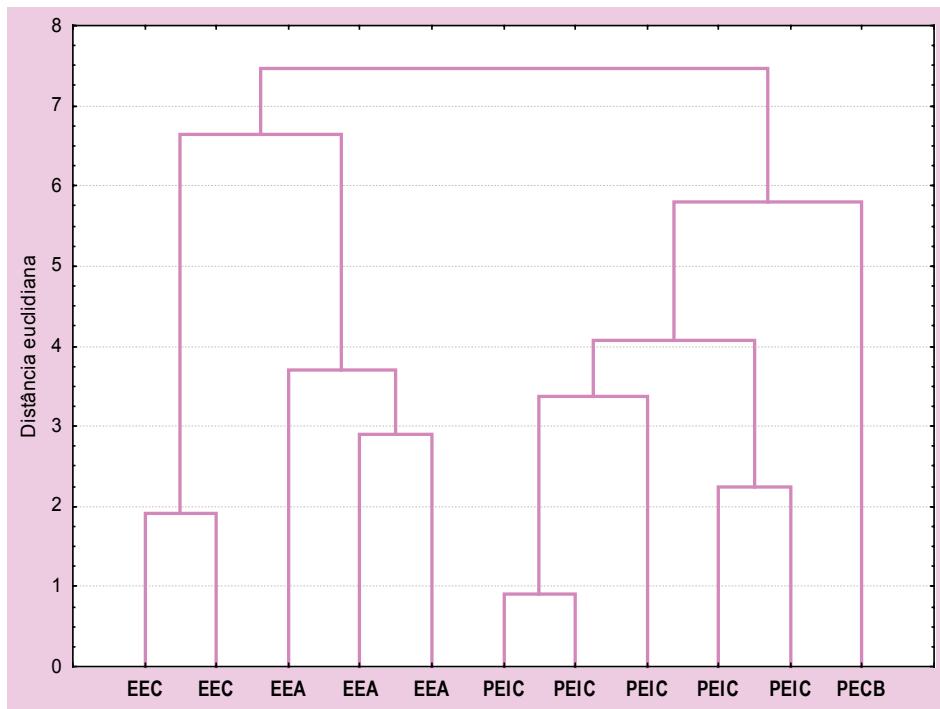


Figura 4.5 Dendrograma obtido a partir das concentrações de 12 elementos químicos determinados nas folhas das 11 espécies de bromélias coletadas nas parcelas permanentes EEA, EEC, PEIC e PECB

#### 4.3 Estudo II – Avaliação da composição química das diferentes espécies de bromélias

Os resultados individuais das concentrações dos elementos químicos determinados nas folhas das 11 espécies de bromélias podem ser encontrados no Apêndice A, enquanto a Tabela 4.2 mostra os valores médios, incertezas e os resultados da análise estatística. As folhas mostraram diferenças significativas para Ca, Co, Na, Sc, Sr e Zn em nível de 95% de confiança pelo teste Tukey de comparações múltiplas entre médias duas a duas (SAS INSTITUTE, 1996). Cabe lembrar que o teste estatístico foi aplicado aos dados normalizados, visando eliminar o efeito causado pelas diferenças nas condições ambientais das quatro áreas.

Tabela 4.2 - Concentrações médias e incertezas expandidas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) obtidas para as 11 espécies de bromélias coletadas nas unidades de conservação PEIC, PECB, EEC e EEA. Astr = *Acanthostachys strobilacea*, Bzeb = *Billbergia zebrina*, Cbil = *Canistropsis billbergioides*, Rspi = *Racinaea spiculosa*, Tlol = *Tillandsia loliacea*, Trec = *Tillandsia recurvata*, Ttri = *Tillandsia tricholepis*, Valt = *Vriesea altodaserrae*, Vatr = *Vriesea atra*, Vcar = *Vriesea carinata*, Vrod = *Vriesea rodigasiana*.

	Br		Ca		Ce		Co	
	Média	Inc.	Média	Inc.	Média	Inc.	Média	Inc.
Cbil	16,9± 1,2	a	3900± 750	a,b,c	0,09± 0,05	a	0,21± 0,13	a,b
Rspi	7,8± 0,5	a	4600± 490	a	0,102± 0,014	a	0,101± 0,011	b
Valt	11,3± 0,8	a	3400± 190	a,b,c	0,09± 0,03	a	0,32± 0,04	a
Vatr	6,2± 1,4	a	2090± 150	c	0,059± 0,019	a	0,109± 0,008	a,b
Vcar	10,1± 1,6	a	3800± 190	a,b,c	0,079± 0,014	a	0,12± 0,04	a,b
Vrod	7,3± 1,5	a	1730± 110	c	0,14± 0,06	a	0,08± 0,03	b
Astr	5± 4	a	2010± 760	b,c	0,11± 0,04	a	0,09± 0,03	b
Bzeb	5± 2	a	4070± 240	a,b	0,10± 0,03	a	0,15± 0,09	a,b
Trec	3,9± 0,3	a	2760± 330	a,b,c	0,32± 0,03	a	0,40± 0,03	a,b
Tlol	4,2± 0,5	a	4070± 270	a,b,c	1,01± 0,14	a	0,20± 0,02	a,b
Ttri	4,5± 0,3	a	4830± 590	a,b,c	0,72± 0,15	a	0,23± 0,02	a,b
	Cs		Fe		K		Na	
	Média	Inc.	Média	Inc.	Média	Inc.	Média	Inc.
Cbil	0,19± 0,10	a	162± 81	a	19400± 2100	a	6000± 1300	a
Rspi	0,095± 0,007	a	71± 7	a	7700± 1000	a	4600± 490	a
Valt	0,19± 0,10	a	244± 25	a	6200± 2800	a	3847± 500	a
Vatr	0,077± 0,007	a	121± 14	a	5950± 1300	a	3700± 100	a
Vcar	0,20± 0,04	a	136± 44	a	10800± 900	a	5300± 1200	a
Vrod	0,14± 0,08	a	102± 8	a	5860± 330	a	4200± 280	a
Astr	3,65± 0,19	a	104± 17	a	16000± 1000	a	112± 12	c
Bzeb	1,2± 0,2	a	151± 66	a	20800± 6000	a	247± 27	c
Trec	4,0± 0,2	a	200± 8	a	14300± 300	a	820± 60	b
Tlol	0,058± 0,017	a	555± 70	a	6500± 790	a	2020± 190	a
Ttri	0,040± 0,009	a	412± 63	a	14800± 5700	a	1850± 40	a
	Rb		Sc*		Sr		Zn	
	Média	Inc.	Média	Inc.	Média	Inc.	Média	Inc.
Cbil	39± 4	a	5± 2	b,c	78± 14	a,b	35± 7	a,b
Rspi	7,7± 1,1	a	13,6± 1,0	a	36± 4	a	32,3± 1,2	a,b
Valt	8± 5	a	3,9± 0,7	c	30± 2	a,b	12,2± 1,1	b
Vatr	7± 2	a	2,6± 1,0	c	17,1± 1,5	b	15± 3	b
Vcar	15,3± 0,8	a	3,3± 0,3	c	32± 3	a,b	57± 19	a
Vrod	6,9± 0,9	a	5,8± 0,4	b,c	17,9± 1,5	b	23,2± 1,2	b
Astr	90± 4	a	21± 4	c	14± 3	b	11± 2	b
Bzeb	74± 34	a	10,3± 1,0	c	25± 2	a,b	16± 2	a,b
Trec	90± 6	a	46,3± 1,8	a,b	22± 3	a,b	13,6± 0,7	a,b
Tlol	15± 2	a	147± 20	b,c	22± 3	a,b	18,6± 1,4	b
Ttri	31± 16	a	106± 19	b,c	30± 6	a,b	22,0± 1,2	a,b

\* Concentrações em  $\mu\text{g kg}^{-1}$

Embora tenha sido encontrada alta concentração de Sr nas folhas de *C. billbergioides*, não houve diferença significativa em nível de 95% de confiança para este elemento. Isso se deve à normalização para eliminar o efeito da área sobre a composição química. Este problema da análise estatística afetou principalmente os locais em que foi amostrada uma única espécie de planta, como é o caso do PECB, e também os locais onde naturalmente as concentrações são elevadas para todas as espécies ocorrentes, como aconteceu para Cs na EEA.

*Tillandsia recurvata* apresentou 4,0 mg kg<sup>-1</sup> de Cs, sendo que esse elemento não é considerado essencial para plantas. De acordo com Markert (1998), Cs é normalmente encontrado em plantas vasculares entre 0,03 mg kg<sup>-1</sup> e 0,44 mg kg<sup>-1</sup>. Césio apresenta similaridade química com K e Rb, pertencendo também ao grupo 1A da tabela periódica. Conforme citado na Seção 4.2, esses valores elevados de Cs em *Tillandsia recurvata* e outras espécies parecem indicar fontes atmosféricas desse elemento na região. Cabe lembrar que a unidade de conservação EEA está próxima a áreas industriais e urbanas, cujos impactos sobre a disponibilidade de elementos químicos são crescentes.

As elevadas concentrações de escândio indicaram contaminação com terra na superfície das folhas, principalmente em *Tillandsia tricholepis* e *Tillandsia loliacea*. Esse elemento, como já mencionado anteriormente, pode ser usado para corrigir a influência de partículas de terra aderidas à superfície foliar na avaliação da composição química intrínseca (FERNANDES et al., 1993). Os valores de Ce e Fe, mais elevados em *Tillandsia tricholepis* e *Tillandsia loliacea*, parecem confirmar a contaminação da superfície das folhas com partículas de terra. A subfamília Tillandsioideae apresenta escamas bem visíveis na superfície foliar, funcionando

como um filtro para o particulado atmosférico, o que acaba dificultando o procedimento de lavagem das folhas.

As diferenças entre as espécies não permitem estabelecer um padrão único de distribuição para os elementos químicos encontrados nas folhas (Figura 4.6). Comparando-se os onze gráficos, não se encontra nenhuma combinação de duas espécies que apresentem um padrão claramente similar, mesmo tomando espécies do mesmo gênero. No geral, observa-se que as concentrações obtidas para *Vriesea atra* foram as menores entre as espécies estudadas, seguida de *Vriesea rodigasiana*. Os gráficos mostram também uma tendência de maior presença dos elementos químicos em *Canistropsis billbergioides* e nas três espécies do gênero *Tillandsia*, seguidas de *Vriesea carinata*.

Do ponto de vista multivariado, as rosetas das espécies foram agrupadas de acordo com o dendrograma da Figura 4.7, com exceção de *Tillandsia loliacea* e *Tillandsia tricholepis*, que se misturaram entre si. Vale ressaltar que o agrupamento também é influenciado pela unidade de conservação avaliada, sendo o primeiro grupo formado pelas espécies *Tillandsia tricholepis* e *Tillandsia loliacea*, da EEC; o segundo pelas espécies *Billbergia zebrina*, *Tillandsia recurvata* e *Acanthostachys strobilacea*, da EEA; o terceiro formado pelas espécies do gênero *Vriesea* e *Racinaea spiculosa*, do PEIC e, finalmente, o quarto grupo contendo as rosetas de *Canistropsis billbergioides*, do PCB. Dificuldade foi notada na separação da espécie *Vriesea carinata*, que esteve ora agrupada com as rosetas de *Vriesea atra*, ora com as rosetas de *Racinaea spiculosa*.

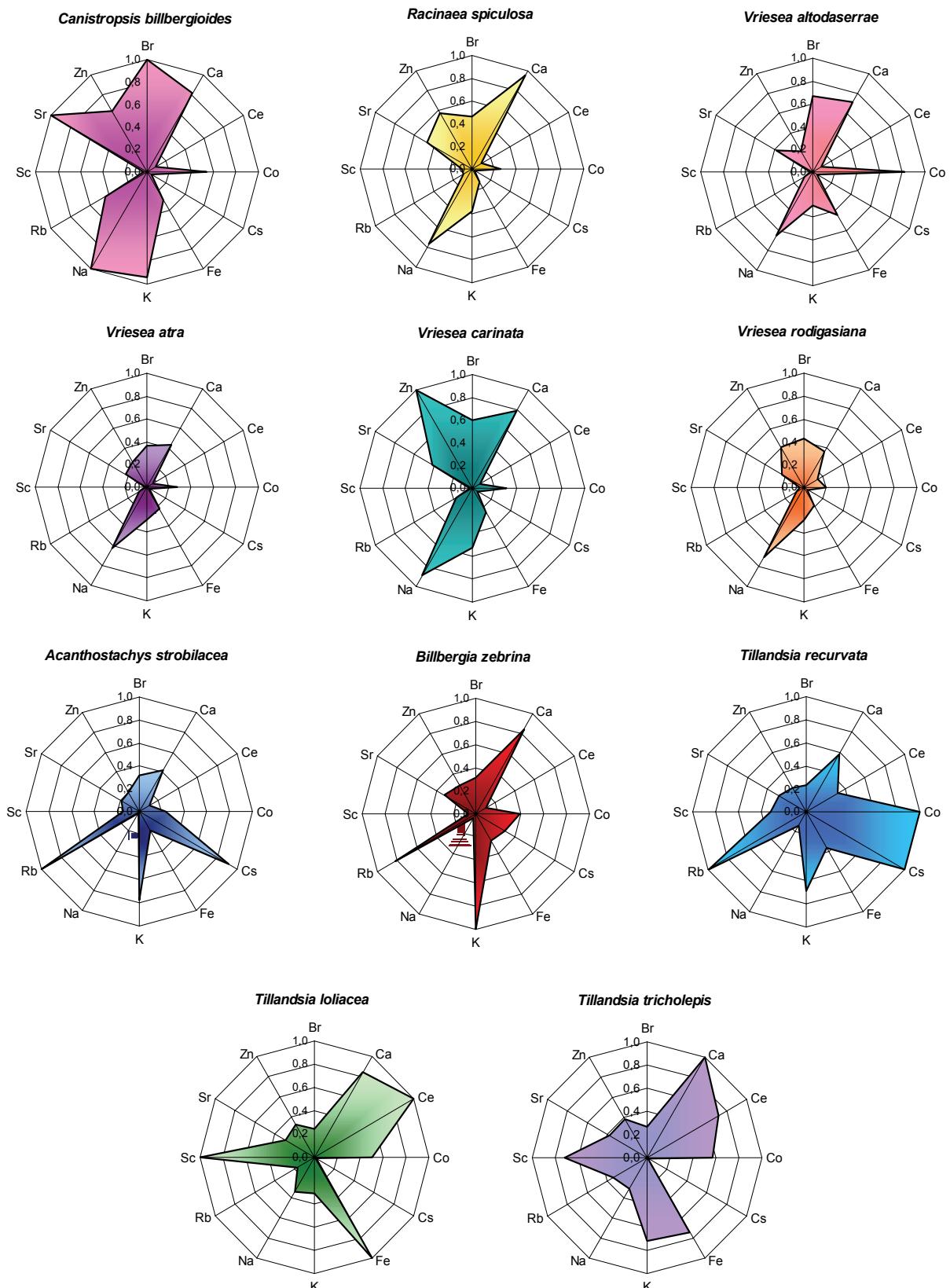


Figura 4.6 Resultados normalizados a partir da maior concentração média dos elementos químicos determinados nas folhas das bromélias

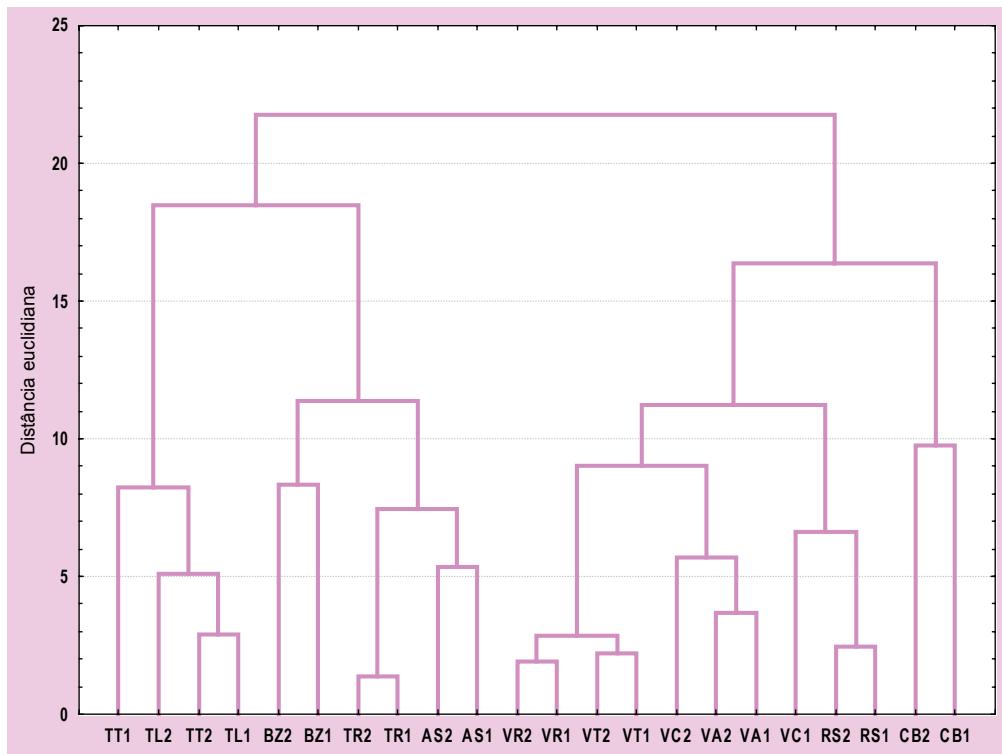


Figura 4.7 Dendrograma obtido a partir das concentrações de 12 elementos químicos determinados nas folhas das 11 espécies de bromélias estudadas. AS = *Acanthostachys strobilacea*, BZ = *Billbergia zeyheri*, CB = *Canistropsis billbergioides*, RS = *Racinaea spiculosa*, TL = *Tillandsia loliacea*, TR = *Tillandsia recurvata*, TT = *Tillandsia tricholepis*, VA = *Vriesea altodaserrae*, VT = *Vriesea atra*, VC = *Vriesea carinata*, VR = *Vriesea rodigasiana*. Os números representam as diferentes rosetas coletadas nas parcelas permanentes PEIC, PECB, EEC e EEA

Os resultados médios para as espécies do gênero *Tillandsia* foram maiores para seis dos doze elementos químicos avaliados nas folhas. No entanto, o índice de acumulação calculado para cada espécie apontou o maior valor (0,6) para *Canistropsis billbergioides*, como mostra o gráfico da Figura 4.8. Baseando-se nesse critério, *Canistropsis billbergioides* foi identificada como espécie acumuladora de elementos químicos, indicada para avaliação da composição química em florestas tropicais. Provavelmente, condições ambientais como luminosidade, depósito de serrapilheira e composição química atmosférica contribuíram para o maior acúmulo de elementos químicos nas folhas dessa bromélia. Embora esse resultado possa ser questionado, por envolver espécies coletadas em locais diferentes, confirma estudo

realizado previamente (ELIAS et al., 2006), que mostrou *Canistropsis billbergioides* com o maior índice de acumulação dentre onze espécies de bromélias avaliadas em uma mesma área de Mata Atlântica.

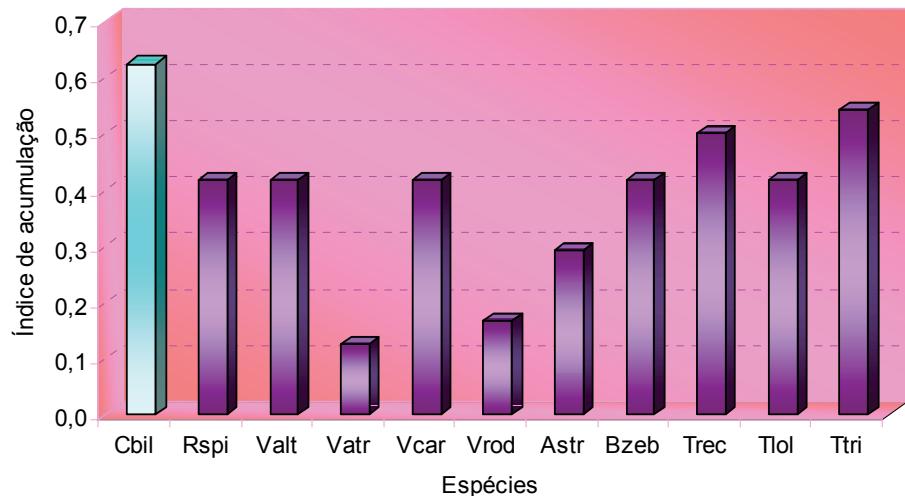


Figura 4.8 Índice de acumulação médio estimado a partir dos doze elementos químicos determinados nas onze espécies de bromélias. O cálculo foi baseado na atribuição de índices 0 ou 1 respectivamente para as concentrações menores ou maiores que a média de um dado elemento

Entretanto, o emprego amplo de *Canistropsis billbergioides* como biomonitora de poluição atmosférica seria dificultado, pois essa espécie não é adaptada a ambientes secos, com baixa umidade ou com ausência de serrapilheira. Essa dificuldade é menos freqüente nas espécies do gênero *Tillandsia*, que são mais largamente distribuídas, por sobreviverem em áreas de estresse hídrico, de altas temperaturas e elevada luminosidade. A especialização para a retirada de nutrientes e umidade exclusivamente da atmosfera, por meio de tricomas, é o principal mecanismo de adaptação. Contudo, em regiões com alta umidade relativa do ar e/ou baixa incidência luminosa, os tricomas podem permanecer fechados, impedindo trocas gasosas essenciais para o desenvolvimento da planta e, consequentemente,

para a acumulação de elementos químicos (BENZING; SEEMANN; RENFROW, 1978; BENZING, 2004).

#### **4.4 Estudo III – Modos de nutrição (atmosférico x tanque) e de crescimento (epifítico x terrícola)**

##### **4.4.1 Modos de nutrição (atmosférico x tanque)**

As concentrações de Br, Ca, K, Sr e Zn foram superiores na espécie de bromélia com presença de tanque, *Billbergia zebrina*, quando comparadas com aquelas obtidas nas folhas de *Tillandsia recurvata*, cujo modo de nutrição é exclusivamente atmosférico (Figura 4.9). Ambas as espécies ocorreram numa mesma área, o que permite a comparação direta entre os valores encontrados.

Os valores mais altos na bromélia-tanque podem ser explicados pela eficiência de absorção dos elementos químicos pelos tricomas foliares concentrados na base das folhas (região em contato com a água presente no tanque). A água armazenada é uma fonte reconhecida de matéria orgânica, em que os nutrientes são continuamente disponibilizados devido às condições favoráveis para a decomposição da serrapilheira depositada (OLIVEIRA, 2004).

Os elementos Ce, Co, Cs, Na, Rb e Sc tiveram concentrações superiores na bromélia atmosférica (Figura 4.9). Como a fonte de nutrição dessas plantas é exclusivamente atmosférica, pode-se inferir que concentrações elevadas seriam encontradas no compartimento atmosfera. Contudo, no caso de Ce e Sc, foi evidente a contribuição da contaminação da superfície das folhas com partículas de terra para as concentrações observadas. Apesar das características específicas de cada modo de nutrição, outro fator a ser considerado é a adaptabilidade de cada espécie em

acumular um elemento em particular, o que pode estar ou não associado ao modo de nutrição.

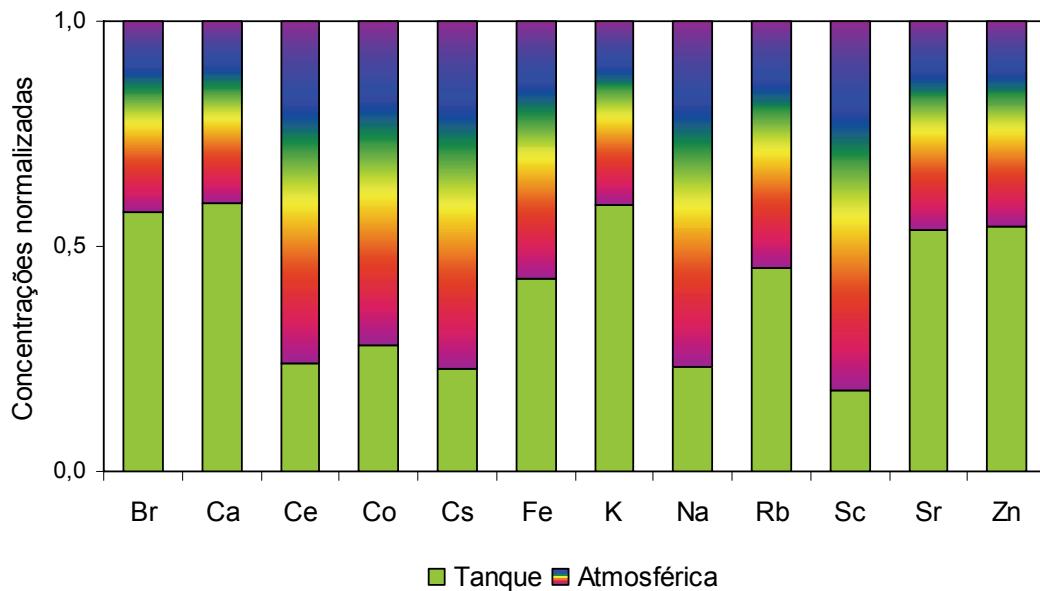


Figura 4.9 Comparação entre as espécies *Billbergia zebrina* e *Tillandsia recurvata* quanto aos modos de nutrição tanque e atmosférico, respectivamente. Resultados expressos como concentrações normalizadas

#### 4.4.2 Modos de crescimento (epifítico x terrícola)

Ao compararem-se as rosetas de *Vriesea carinata* coletadas no PEIC vegetando nos dois modos de crescimento, isto é, epifítico e terrícola, similaridade entre as composições químicas foi observada, com concentrações levemente superiores nas plantas epífíticas (Figura 4.10). As bromélias epífíticas retiram os nutrientes e água por estruturas especializadas dispostas na superfície das folhas (tricomas) e apresentam um sistema radicular modificado, dedicado apenas à fixação nos forófitos. Entretanto, essa bromélia accidentalmente estava vegetando sobre o solo, podendo suprimir parte da função dos tricomas e absorver os elementos químicos diretamente da solução do solo.

No caso da restinga, foi comum a presença de outras bromeliáceas vegetando sobre o solo, mesmo sob condições pouco favoráveis. Tal comportamento pode ser explicado pela manutenção da fisiologia original da planta, ou seja, o modo de nutrição tipo tanque, mesmo quando crescendo sobre o solo (MANTOVANI; IGLESIAS, 2005).

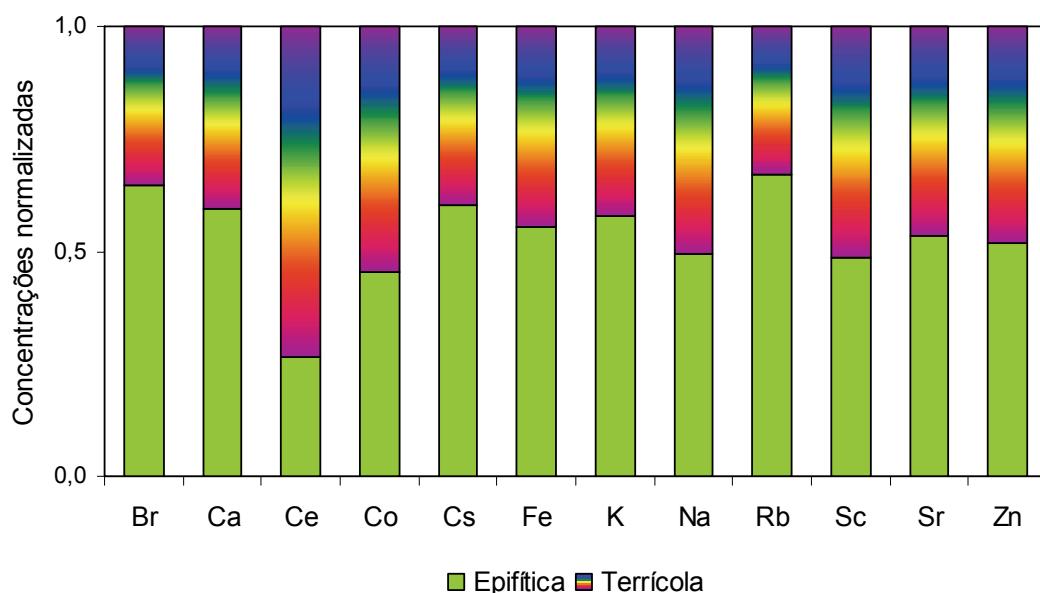


Figura 4.10 Comparação entre rosetas de *Vriesea carinata* vegetando nos modos epífítico e terrícola. Resultados expressos como concentrações normalizadas

#### 4.5 Estudo IV – Efeito do procedimento de lavagem na composição química

Os resultados individuais de composição química para as dez rosetas da bromélia *Vriesea carinata* coletadas no PEIC encontram-se no Apêndice B. Os valores médios para cada elemento químico, bem como os resultados da análise estatística para avaliar diferenças entre folhas lavadas (com Alconox e EDTA) e não-lavadas estão na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Composição química média ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) das folhas de bromélias lavadas e não-lavadas ( $n=10$ ), intervalo de confiança em nível de 95% de confiança ( $IC_{95\%}$ ) e resultados dos testes estatísticos para normalidade (Shapiro-Wilk) e médias pareadas (t/S)

Tratamento		Ba	Br	Ca*	Ce	Cs	Eu**	Hf	Hg**	K*
Lavada	Média	8	11,1	5,5	0,15	0,24	1,9	0,02	24	10,2
	$IC_{95\%}$	5 - 11	9,4 - 12,8	4,3 - 6,7	0,11 - 0,19	0,19 - 0,29	0,3 - 3,5	0,00 - 0,05	19 - 29	8,9 - 11,5
Não-lavada	Média	15	12,2	5,4	0,36	0,24	5	0,09	34	9,8
	$IC_{95\%}$	6 - 24	10,4 - 14	4,2 - 6,6	0,27 - 0,45	0,21 - 0,29	3 - 7	0,04 - 0,14	25 - 43	8,6 - 11
Shapiro Wilk		++	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns
Teste t/S		ns	+	ns	++	ns	ns	ns	+	ns
Tratamento		La	Na*	Rb	Sc**	Se**	Sm**	Sr	Th**	Zn
Lavada	Média	<0,07	6,6	17	2,3	69	< 7	35	19	24
	$IC_{95\%}$		6,1 - 7,1	13 - 21	1,8 - 2,8	56 - 82		29 - 41	11 - 27	21 - 27
Não-lavada	Média	0,16	5,8	17	48	124	17	34	44	23
	$IC_{95\%}$	0,12 - 0,20	5,3 - 6,3	13 - 21	37 - 59	111 - 137	14 - 20	27 - 41	31 - 57	20 - 26
Shapiro Wilk		-	ns	ns	ns	ns	-	ns	ns	ns
Testes t/S		-	++	ns	++	++	-	ns	+	ns

\* resultado em  $\text{g kg}^{-1}$

\*\* resultado em  $\mu\text{g kg}^{-1}$

ns = não significativo em nível de 95% de confiança

+ significativo ( $0,01 < \text{alfa} < 0,05$ )

++ altamente significativo ( $\text{alfa} < 0,01$ )

O teste estatístico Shapiro Wilk ( $\text{alfa} = 0,05$ ) mostrou a normalidade dos resultados para todos os elementos, exceto para Ba. A aplicação do teste t para dados pareados, por meio do procedimento UNIVARIATE do programa SAS (SAS INSTITUTE, 1996), indicou que Br, Ce, Hg, Na, Sc, Se e Th apresentaram diferenças significativas em nível de 95% de confiança entre as folhas lavadas e

não-lavadas. No caso de Ba, foi considerado o resultado do teste de ordens assinaladas, mostrando-se também significativo. Nas folhas lavadas, lantânio (La) e samário (Sm) tiveram as concentrações abaixo dos respectivos limites de detecção de  $0,07 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $7 \text{ } \mu\text{g kg}^{-1}$ . Embora esses elementos químicos não pudessem ser incluídos na análise estatística, as reduções nas concentrações para valores menores do que os limites de detecção foram devidas à lavagem das folhas, indicando que as concentrações desses elementos são extremamente baixas nas plantas.

Do ponto de vista multivariado, uma matriz de gráficos de dispersão foi construída (Figura 4.11), utilizando-se do procedimento INSIGHT do programa SAS (SAS INSTITUTE, 1996), de modo a permitir também a avaliação dos dados quanto à normalidade multivariada. Correlação entre elementos químicos são muito utilizadas para identificar suas origens. As correlações observadas entre os lantanóides x Sc, Hf x Sc e Th x Sc corroboram a contribuição de partículas de solo aderidas à superfície foliar. Do mesmo modo, correlações entre Ca x Sr e Ca x Ba, são muito comuns em folhas (FRANÇA, 2006), indicando fontes similares desses elementos.

A Figura 4.12 compara graficamente os resultados médios para todos os elementos químicos de acordo com o procedimento de lavagem. No geral, foram observados valores mais baixos em folhas lavadas para elementos de origem geológica, como Ce, Eu, Hf, La, Sc, Sm e Th. A soma dos lantanóides (La, Ce, Sm, Eu), por exemplo, reduziu após lavagem de  $5,44 \text{ mg kg}^{-1}$  para  $1,51 \text{ mg kg}^{-1}$ . Esse fato demonstra a eficiência na remoção de partículas de solo aderidas na superfície foliar, seguindo o procedimento de lavagem proposto por MARKERT (1995). Os lantanóides não são considerados elementos químicos essenciais, podendo ser

levemente tóxicos ao ambiente (MARKERT, 1998). Hoje em dia, a distribuição ambiental dos lantanóides é bastante discutida porque estão presentes em várias atividades industriais e agrícolas, que afetam a disponibilidade desses elementos químicos. Estudos têm sido realizados para avaliar a distribuição dos lantanóides em plantas brasileiras (TURRA et al., 2007).

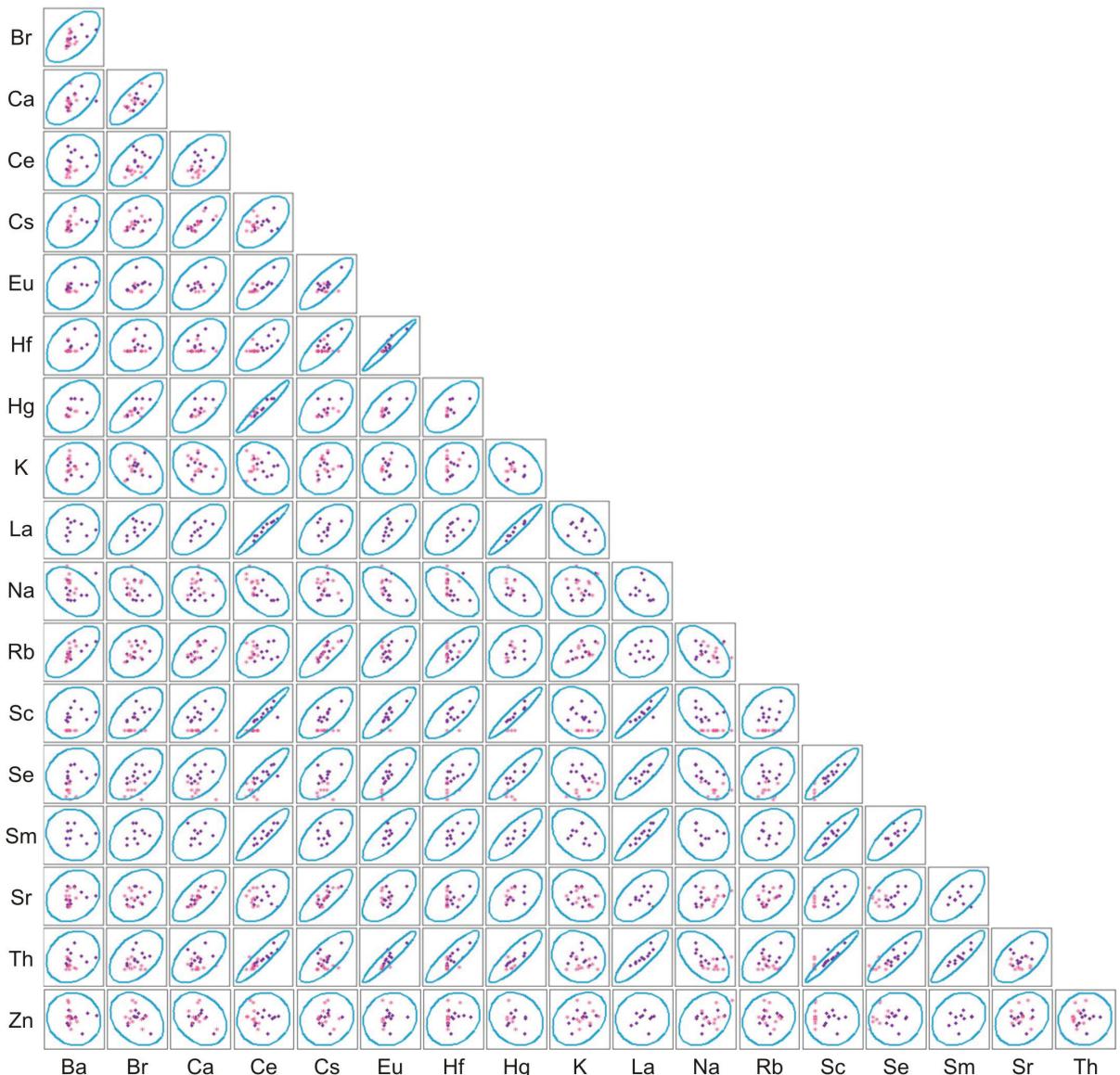


Figura 4.11 Matriz de gráficos de dispersão para as concentrações padronizadas dos elementos químicos determinados nas folhas lavadas (\*) e não-lavadas (●)

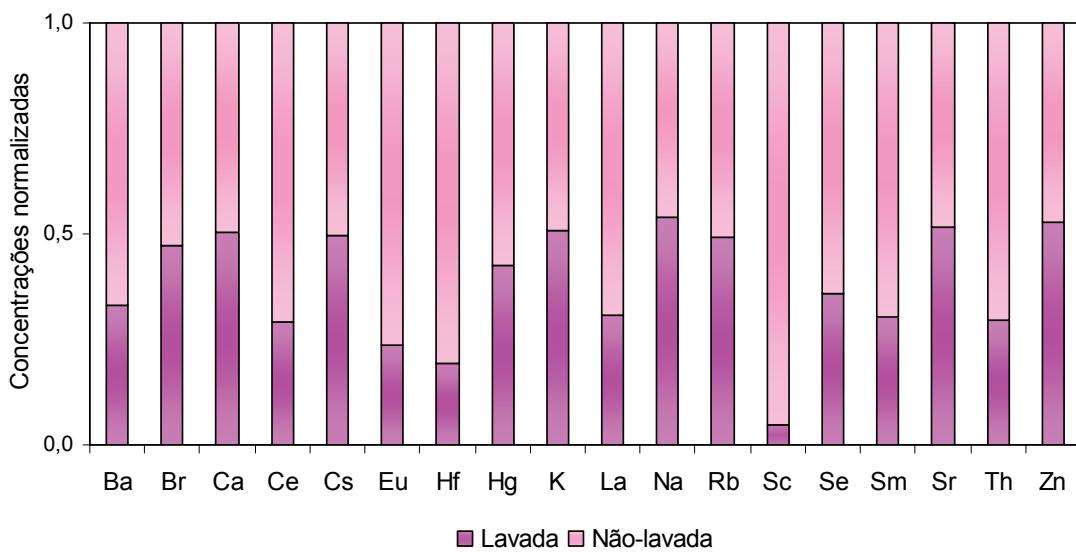


Figura 4.12 Composição química média ( $n=10$ ) de folhas lavadas e não-lavadas. Resultados expressos como concentrações normalizadas

Resultado maior para Na foi verificado nas folhas lavadas, o que pode ser atribuído a resíduos do próprio EDTA, uma vez que o produto possui dois átomos de Na em sua composição ( $C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$ ). Concentrações superiores a  $40\text{ mg kg}^{-1}$  de Br podem ser causadas por deposição de poluição atmosférica (KABATA-PENDIAS, 2001), entretanto todas as bromélias mostraram valores abaixo de  $20\text{ mg kg}^{-1}$ . Além disso, a concentração de Br não mudou significativamente entre os tratamentos, corroborando que não há importante contribuição exógena.

Bário foi determinado em altos níveis em folhas não-lavadas, chegando até  $45\text{ mg kg}^{-1}$  (Apêndice B) sendo reduzido pela lavagem, o que indica a associação deste elemento com a contaminação de superfície foliar. Nesse caso, Ba pode ser proveniente do material biológico “capturado” da serrapilheira e depositado no tanque da bromélia. Segundo Markert (1998), esse elemento apresenta uma possível essencialidade para mamíferos. Como indicação desse fato, em florestas tropicais, é bastante comum as folhas das bromélias constituirem a dieta alimentar

mais procurada pelos macacos-prego quando a disponibilidade dos alimentos preferenciais torna-se menor (IZAR, 1999).

Atenção especial foi dada a Hg devido à sua importância no ambiente. Esse elemento é extremamente volátil na atmosfera e pode prender-se no vapor de água ou particulado atmosférico, aumentando sua disponibilidade (AMADO FILHO et al., 2002). Apesar de Hg estar dentro da faixa esperada para plantas ( $0,005 \text{ mg kg}^{-1}$  -  $0,2 \text{ mg kg}^{-1}$ ), há alguma indicação de contaminação na superfície devido aos valores mais altos encontrados em folhas não-lavadas. No caso de Se, houve grandes diferenças entre as folhas lavadas e não-lavadas. Em trabalho de FRANÇA (2006), foi encontrada associação entre Se e contaminação de superfície foliar. Este elemento apresenta toxicidade bastante elevada nas formas inorgânicas selenito e selenato (MARKERT, 1998). Fontes atmosféricas de Hg e Se não estão bem definidas para ecossistemas litorâneos brasileiros. Entretanto, esses elementos foram determinados em relativamente altos níveis em diversas plantas da floresta ombrófila densa, localizada a 100 km do PEIC (FRANÇA, 2006).

Concentrações de Sc nas folhas lavadas variaram de  $0,0014 \text{ mg kg}^{-1}$  a  $0,0033 \text{ mg kg}^{-1}$ , sendo cerca de vinte vezes menor que valores obtidos para folhas não-lavadas. Esses resultados são compatíveis aos encontrados em trabalhos anteriores (FERNANDES, 1997; FERRARI et al., 2006; WYTTEENBACH; TOBLER, 1998), em que esse elemento foi usado para correção da influência de contaminação superficial de plantas com solo.

Os resultados apresentados demonstraram a necessidade de um procedimento de lavagem para eliminar a influência de material externo presente nas folhas. Sendo assim, recomenda-se a utilização de procedimento de lavagem para estudos ecológicos, em que se deseja obter a composição intrínseca de plantas.

## **4.6 Estudo V - Amostragem sustentável em unidades de conservação**

### **4.6.1 Amostragem sustentável vs. Amostragem usual**

A amostragem sustentável foi baseada na retirada de discos de folhas dos terços inferior, médio e superior das plantas e das folhas de 11 espécies de bromélias coletadas nas unidades de conservação PEIC, PECB, EEC e EEA. Os resultados da composição química obtida a partir da amostragem sustentável encontram-se no Apêndice C, enquanto as concentrações determinadas nas amostras de folhas pulverizadas conforme o procedimento usual de análise estão no Apêndice A.

Para facilitar a avaliação da amostragem sustentável, foram aplicados tratamentos estatísticos para averiguar a concordância dos resultados obtidos pelas amostragens sustentável (discos) e usual (amostras pulverizadas), tomando-se todas as espécies em conjunto. A primeira análise estatística envolveu a estimativa da média utilizando os dados de todos os terços das plantas (Apêndice C), comparando-se com o resultado conseguido a partir da amostragem usual (Apêndice A). Em seguida, foram avaliadas individualmente as médias dos terços inferior, médio e superior das plantas, confrontando-as com o resultado da amostragem usual. Finalmente, foram calculadas as correlações para os desvios observados entre os dois tipos de amostragem, procurando agrupar elementos químicos com comportamento semelhante. Além dessas análises estatísticas, houve avaliação gráfica dos desvios entre os dois tipos de amostragem e também dos resultados observados individualmente para cada planta.

### *Amostragem sustentável: todos os terços*

Após a verificação da normalidade pelo teste de Shapiro-Wilk, rejeitou-se a hipótese da normalidade univariada para a maioria dos elementos químicos (Tabela 4.4). Assim, para comparação dos procedimentos de amostragem, foi utilizado o teste não paramétrico das ordens assinaladas ( $p > 0,05$ ) para dados pareados por meio do procedimento UNIVARIATE do programa SAS (SAS INSTITUTE, 1996). Os valores obtidos da análise estatística para a média de todos os terços das plantas em comparação com a amostragem usual não mostraram diferenças significativas para Br, Cs, K, Na, Rb, Sc e Zn em nível de 95% de confiança.

Tabela 4.4 - Probabilidades obtidas do teste de normalidade Shapiro-Wilk (Prob < W) e do teste de ordens assinaladas (Prob > S) para dados pareados das concentrações dos elementos químicos determinados nas folhas das bromélias submetidas à amostragem sustentável e usual

	Todos os terços		Terço inferior		Terço médio		Terço superior	
	Prob < W	Prob > S	Prob < W	Prob > S	Prob < W	Prob > S	Prob < W	Prob > S
Br	<b>&lt;0,0001</b>	0,3402	<b>0,0030</b>	0,3500	<b>&lt;0,0001</b>	0,5235	0,5079	0,3265*
Ca	0,2038	<b>0,0005*</b>	0,8096	0,0691*	0,2197	0,0581*	0,3308	<b>0,0174*</b>
Ce	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0019</b>	0,0397	<b>0,0359</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,1338**	<b>0,0452</b>	0,1627
Co	<b>0,0002</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0106</b>	<b>0,0029</b>	<b>0,0084</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,1522	<b>0,0026*</b>
Cs	<b>&lt;0,0001</b>	0,1089**	<b>&lt;0,0001</b>	1,0000**	<b>&lt;0,0001</b>	0,2863**	<b>&lt;0,0001</b>	0,1338**
Fe	<b>0,0003</b>	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0070</b>	0,2068	0,7052	<b>0,0073*</b>	<b>0,0180</b>	<b>0,0012</b>
K	<b>0,0091</b>	0,1168	0,1463	0,1709*	<b>0,0021</b>	<b>0,0410</b>	0,4181	<b>0,0234*</b>
Na	<b>0,0005</b>	0,2440	<b>0,0457</b>	0,8385	<b>0,0018</b>	0,2870	0,1345	0,6257*
Rb	<b>&lt;0,0001</b>	0,5715	<b>0,0002</b>	<b>0,0004</b>	<b>&lt;0,0001</b>	0,0703	<b>0,0023</b>	<b>0,0359</b>
Sc	<b>&lt;0,0001</b>	0,0629	<b>&lt;0,0001</b>	0,8318**	<b>&lt;0,0001</b>	0,3335	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0258</b>
Sr	<b>&lt;0,0001</b>	<b>0,0187**</b>	<b>0,0002</b>	0,1338**	0,1506	<b>0,0257*</b>	<b>0,0142</b>	0,1173
Zn	<b>&lt;0,0001</b>	0,5209	0,0824	0,8017*	0,0644	0,3494*	<b>0,0009</b>	0,5819

\* test t

\*\* teste de sinais (problemas de assimetria e curtose na distribuição normal)

### *Amostragem sustentável: terços*

Como aconteceu para a análise utilizando as médias dos discos da amostragem sustentável, a maioria dos dados das concentrações para as análises dos terços individualmente também não apresentou normalidade dos dados (Tabela 4.4), recorrendo-se ao teste não paramétrico das ordens assinaladas para avaliar as diferenças entre as amostragens. Comparando-se a amostragem usual somente com o terço inferior, Br, Ca, Cs, Fe, K, Na, Sc, Sr e Zn não apresentaram diferenças significativas em nível de 95% de confiança, enquanto para o terço médio não houve diferenças para Br, Ca, Ce, Cs, Na, Rb, Sc e Zn. Por sua vez, para o terço superior, Br, Ce, Cs, Na, Sr e Zn não apresentaram diferenças significativas em nível de 95% de confiança entre as duas amostragens.

Para as combinações de terço da planta e elementos químicos em que não foram observadas diferenças significativas, a amostragem sustentável pode ser considerada representativa, fornecendo resultados de qualidade analítica comparáveis ao da amostragem usual. Assim, o terço inferior apresentou resultados mais semelhantes aos da amostragem usual do que os outros terços avaliados. Os terços médio e superior mostraram tendência de apresentar resultados mais elevados. Na avaliação da qualidade ambiental, é comum a utilização de organismos biomonitoras dado o baixo custo envolvido. Para a escolha de um organismo monitor, uma das principais características avaliadas é a capacidade de acumulação de diversos elementos químicos simultaneamente. Por isso, os terços das plantas com resultados mais elevados podem ser bastante interessantes em programas de avaliação de qualidade ambiental.

### *Correlações entre os desvios*

Utilizando-se do procedimento CORR do SAS (SAS INSTITUTE, 1996), uma matriz de correlação de Pearson foi construída para as diferenças entre as amostragens sustentável e usual, calculadas a partir das concentrações dos elementos químicos nos terços inferior, médio e superior e os resultados da amostragem usual (Tabela 4.5). Verificaram-se fortes correlações ( $r > 0,7$ ) para elementos característicos de matriz geológica, principalmente entre Ce x Fe, Ce x Sc, além de Fe x Sc, admitidas como sendo causadas pela contribuição de partículas de solo aderidas na superfície das folhas. As correlações entre Br x Cs, Cs x Zn, além de Co x Cs, parecem indicar possíveis fontes atmosféricas impactantes. As correlações entre Ca x Sr, Cs x K, além de K x Rb, comuns em folhas de plantas (FRANÇA, 2006), evidenciam a similaridade química entre esses elementos. Foi observada, ainda, correlação entre Br x Na, provavelmente associada com influência marinha.

Tabela 4.5 - Matriz de correlação de Pearson para as diferenças entre as concentrações dos elementos químicos determinados nos terços das bromélias e os resultados da amostragem usual

	Br	Ca	Ce	Co	Cs	Fe	K	Na	Rb	Sc	Sr	Zn
Br	1,00											
Ca	<b>0,46</b>	1,00										
Ce	-0,02	<b>0,25</b>	1,00									
Co	0,06	<b>0,30</b>	<b>0,31</b>	1,00								
Cs	<b>-0,40</b>	<b>-0,31</b>	-0,19	<b>0,28</b>	1,00							
Fe	<b>-0,25</b>	0,11	<b>0,67</b>	<b>0,54</b>	0,04	1,00						
K	<b>0,28</b>	<b>0,29</b>	-0,19	0,12	<b>0,25</b>	-0,10	1,00					
Na	<b>0,73</b>	<b>0,39</b>	0,10	0,23	<b>-0,50</b>	-0,14	-0,04	1,00				
Rb	-0,19	-0,12	-0,24	0,21	<b>0,77</b>	-0,01	<b>0,73</b>	<b>-0,44</b>	1,00			
Sc	<b>-0,38</b>	0,04	<b>0,61</b>	<b>0,46</b>	0,10	<b>0,97</b>	-0,10	<b>-0,29</b>	0,05	1,00		
Sr	<b>0,78</b>	<b>0,68</b>	0,06	<b>0,30</b>	<b>-0,25</b>	-0,05	<b>0,48</b>	<b>0,64</b>	-0,03	-0,16	1,00	
Zn	<b>0,50</b>	<b>0,49</b>	0,10	<b>0,50</b>	<b>-0,25</b>	0,03	<b>0,30</b>	<b>0,65</b>	-0,04	-0,12	<b>0,62</b>	1,00

Correlações em negrito indicam nível de significância entre 1% e 5%

Correlações em negrito e itálico indicam nível de significância menor que 1%

### *Amostragem sustentável: uma avaliação geral dos desvios*

O objetivo da amostragem sustentável é a garantia de resultados comparáveis com a amostragem usual, podendo ser empregada para estudos ambientais em unidades de conservação. Desse modo, para melhor comparar os resultados, a Figura 4.13 mostra os desvios entre os valores de concentração nos discos retirados dos terços das plantas e nas amostras usuais (pulverizadas) para Br, Co, Fe, K e Rb. Com exceção do Br, houve diferenças significativas entre as amostragens em nível de 95% de confiança (Tabela 4.4).

Pela Figura 4.13, nota-se que os melhores resultados da amostragem sustentável foram realmente conseguidos para Br, cujos valores das diferenças entre os resultados dos terços e da amostragem usual tendem a se aproximar de zero (linha vermelha). Na verdade, a média calculada para as diferenças de Br com relação à amostragem usual foi  $-0,08 \text{ mg kg}^{-1}$  para um valor médio do elemento de  $7,6 \text{ mg kg}^{-1}$  nos terços, representando desvio relativo de apenas -1%. Para Rb, cujos resultados dos testes para médias pareadas foram significativos para os terços inferior e superior (Tabela 4.4), o desvio médio foi  $-2,8 \text{ mg kg}^{-1}$  para uma média de  $32,2 \text{ mg kg}^{-1}$ , proporcionando diferença de -8,6%. Situação semelhante aconteceu para K, cuja diferença média foi  $+630 \text{ mg kg}^{-1}$  para uma concentração de  $12.300 \text{ mg kg}^{-1}$ , resultando em um desvio de +5%. Por outro lado, os resultados mais discrepantes ocorreram para Co e Fe, cujos desvios relativos foram 75% e 37%, respectivamente, devido às respectivas diferenças médias de  $-0,078 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $-55,3 \text{ mg kg}^{-1}$  para concentrações de  $0,10 \text{ mg kg}^{-1}$  e  $150 \text{ mg kg}^{-1}$  nos discos. Quanto a Co e Fe, é importante lembrar que os dois elementos podem estar associados à contaminação por metal durante a moagem das amostras no procedimento usual.

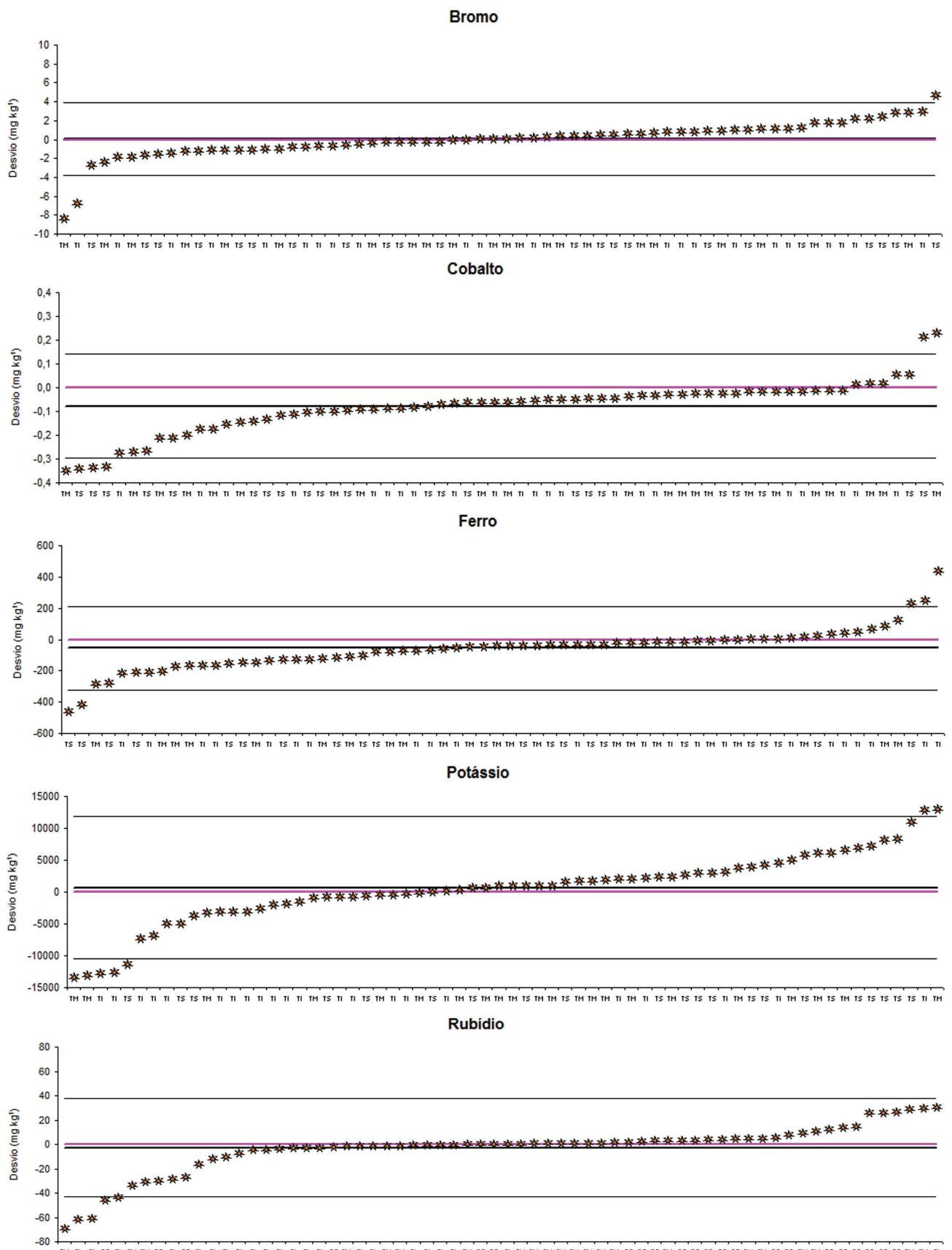


Figura 4.13 Diferenças ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) entre os resultados de concentrações dos elementos químicos determinados nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das plantas e aqueles obtidos pela amostragem usual. Linha vermelha indica diferenças iguais a zero

Na Figura 4.13, observa-se também que as maiores freqüências de diferenças positivas em relação à amostragem usual foram obtidas para os terços médio e superior no caso de K (85% dos casos) e Rb (90%). Por outro lado, para Co e Fe, respectivamente, cerca de 89% e 74% dos resultados foram inferiores à média da amostragem usual (linha vermelha), independentemente do terço avaliado. Parece evidente que o procedimento de moagem contribuiu para os valores mais elevados encontrados nas amostras pulverizadas, principalmente por tratar-se de plantas fibrosas de difícil redução. Com isso, os valores de concentrações de Co e Fe proporcionados pela amostragem sustentável podem ser considerados mais representativos da real composição das bromélias.

#### *Amostragem sustentável: bromélias do PEBC e PEIC*

A avaliação da amostragem sustentável realizada individualmente para cada planta, permitiu verificar as tendências das médias dos terços em relação aos resultados da amostragem usual. A bromélia *Canistropsis billbergioides* foi coletada no PEBC e a avaliação da amostragem sustentável está na Figura 4.14. São comparados resultados dos discos para os terços das plantas com os valores da amostragem usual, sendo considerados também as incertezas combinadas dos resultados dos terços e os intervalos de confiança dos valores da amostragem usual. Da mesma forma, nas Figuras 4.15 a 4.19, são apresentados os resultados dessa comparação para as espécies coletadas no PEIC, ou seja, *Racinaea spiculosa*, *Vriesea altodaserrae*, *Vriesea atra*, *Vriesea carinata* e *Vriesea rodigasiana*, respectivamente.

De modo geral, incertezas relativamente grandes foram observadas para os resultados da amostragem sustentável (Figuras 4.14 a 4.19), o que pode ser

explicado pela pequena massa dessas amostras, cerca de 10 mg, implicando na indução de baixas atividades na irradiação, com conseqüente prejuízo para a estatística de contagem nos fotópicos e diminuição da precisão dos resultados. Devido ao caráter conservativo da amostragem sustentável proposta, procurou-se tomar a menor porção possível das bromélias, a fim de reduzir ao máximo o dano ao indivíduo e ao ambiente estudado, mesmo com alguma perda na qualidade dos resultados.

Grande parte dos valores médios da amostragem sustentável diferiram da média da amostragem usual, mesmo considerando os intervalos de confiança. Os melhores resultados foram encontrados para Br e Cs, que apresentaram a maioria dos valores médios da amostragem sustentável dentro da faixa de incerteza da amostragem usual. Por outro lado, conforme já salientado na seção anterior (Amostragem sustentável: uma avaliação geral dos desvios), os resultados mais discrepantes foram obtidos para Co e Fe.

Tomando-se as médias da amostragem sustentável que se encontram fora da faixa de incerteza da amostragem usual, uma propensão de obter valores mais altos foi observada para Ca, Ce e Sr, enquanto valores geralmente menores do que da amostragem usual foram verificados para Co e Fe. Para os demais elementos não há uma tendência definida. Cabe salientar o comportamento semelhante notado para pares de elementos pertencentes ao mesmo grupo periódico, como Ca-Sr e K-Rb. A variação notada entre os resultados se deve primordialmente à distribuição não homogênea dos elementos químicos nas folhas e não a problemas analíticos.

No caso de *Canistropsis billbergioides*, houve tendência da amostragem sustentável proporcionar médias elevadas para Ca, Ce, K, Rb e Sr (Figura 4.14).

Além disso, valores mais elevados de Zn foram observados para a roseta número 1 nos três terços analisados.

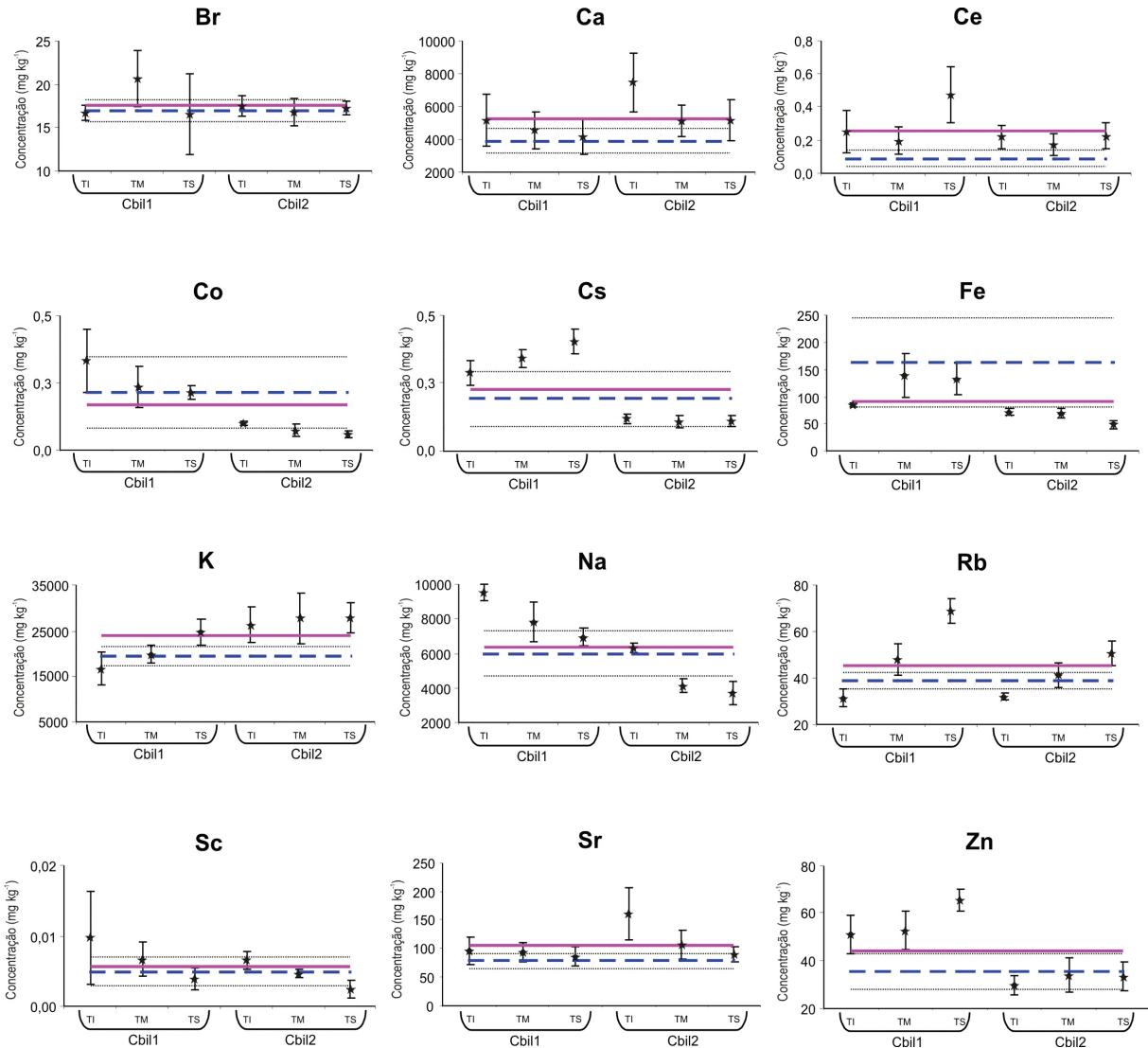


Figura 4.14 Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Canistropsis billbergioides* (Cbil1 e Cbil2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para média populacional em nível de 95%

Considerando-se as incertezas analíticas, *Racinaea spiculosa* teve os resultados provenientes dos discos para a maioria dos elementos químicos dentro da faixa de incerteza da amostragem usual (Figura 4.15).

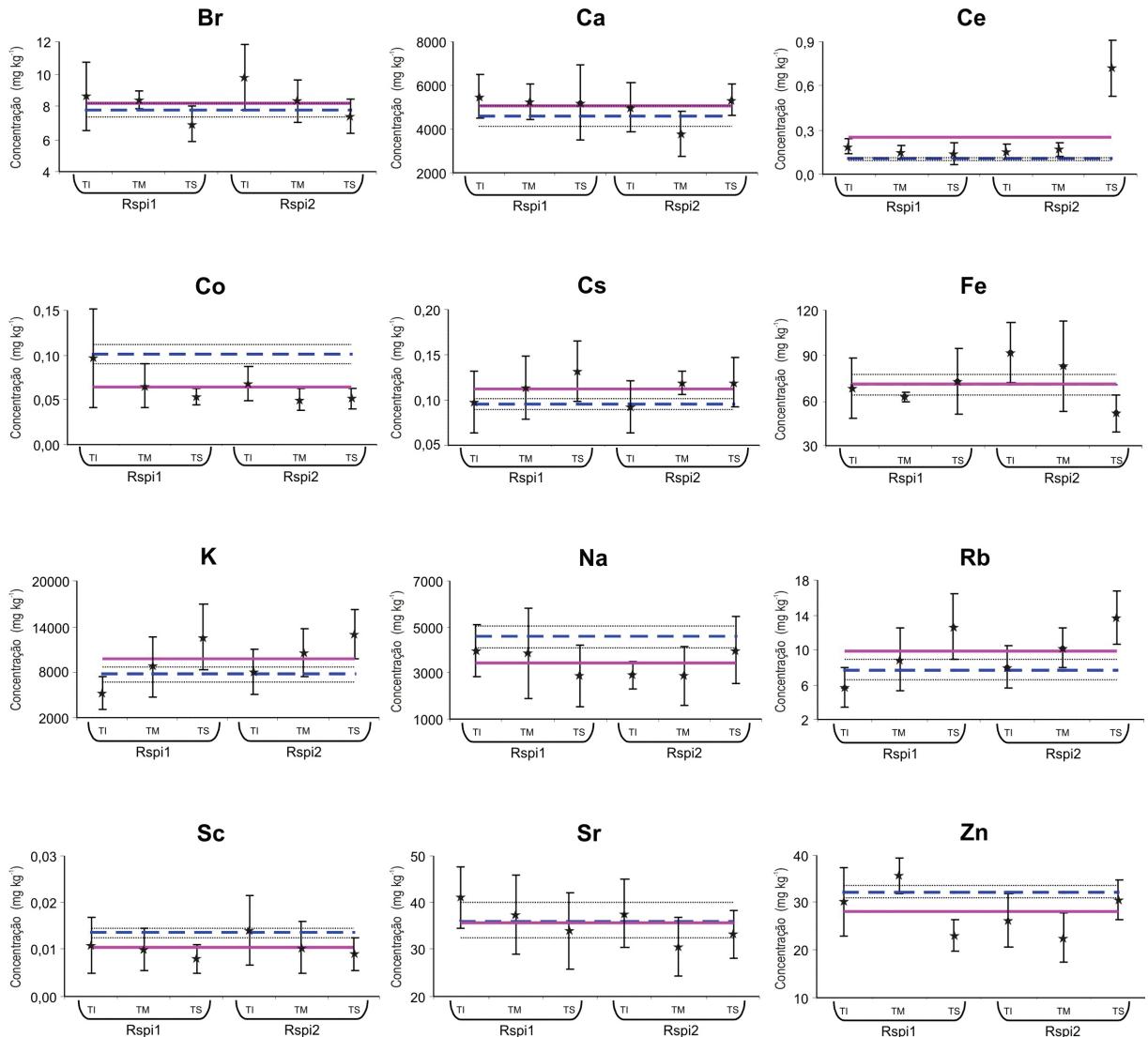
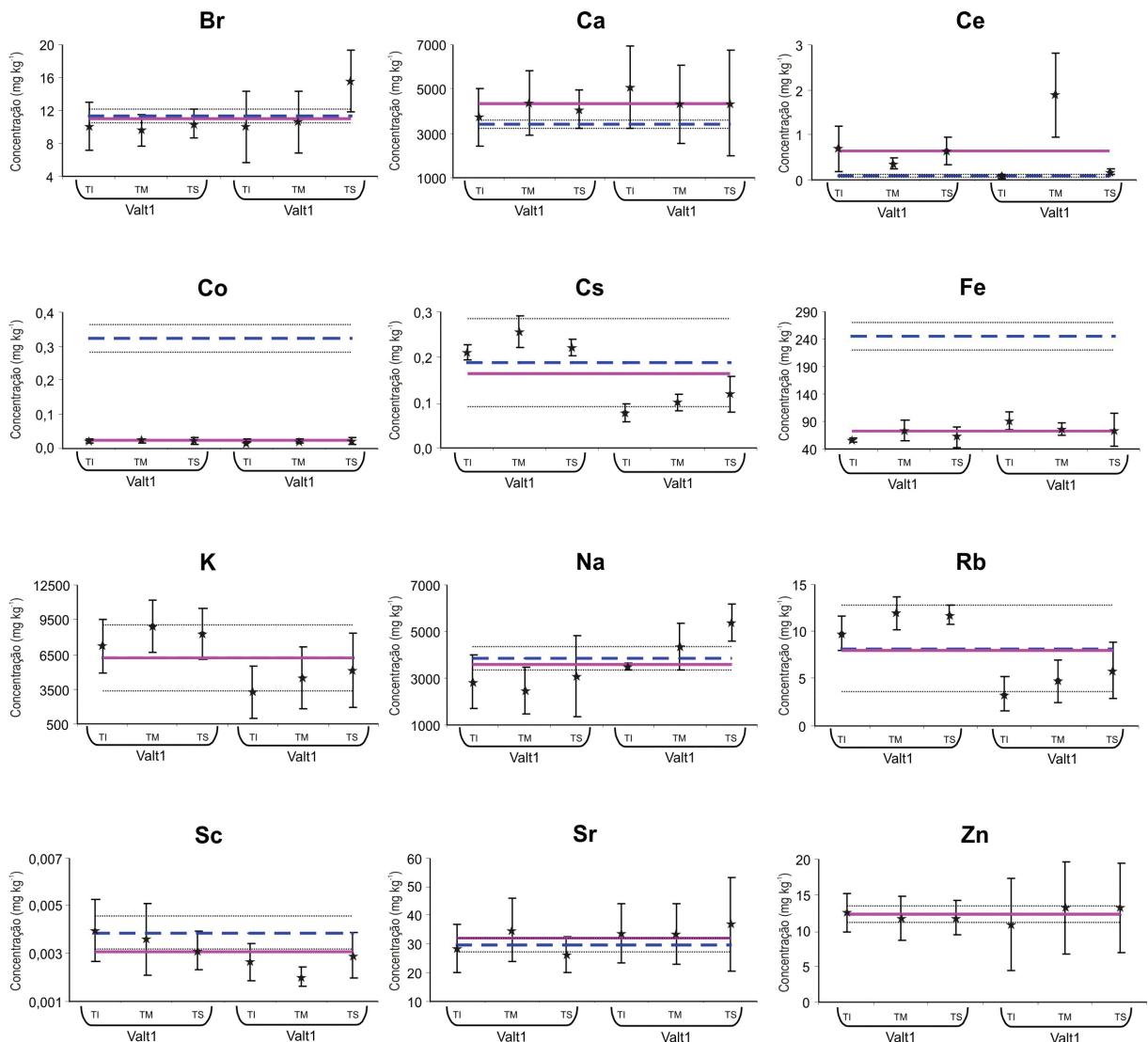


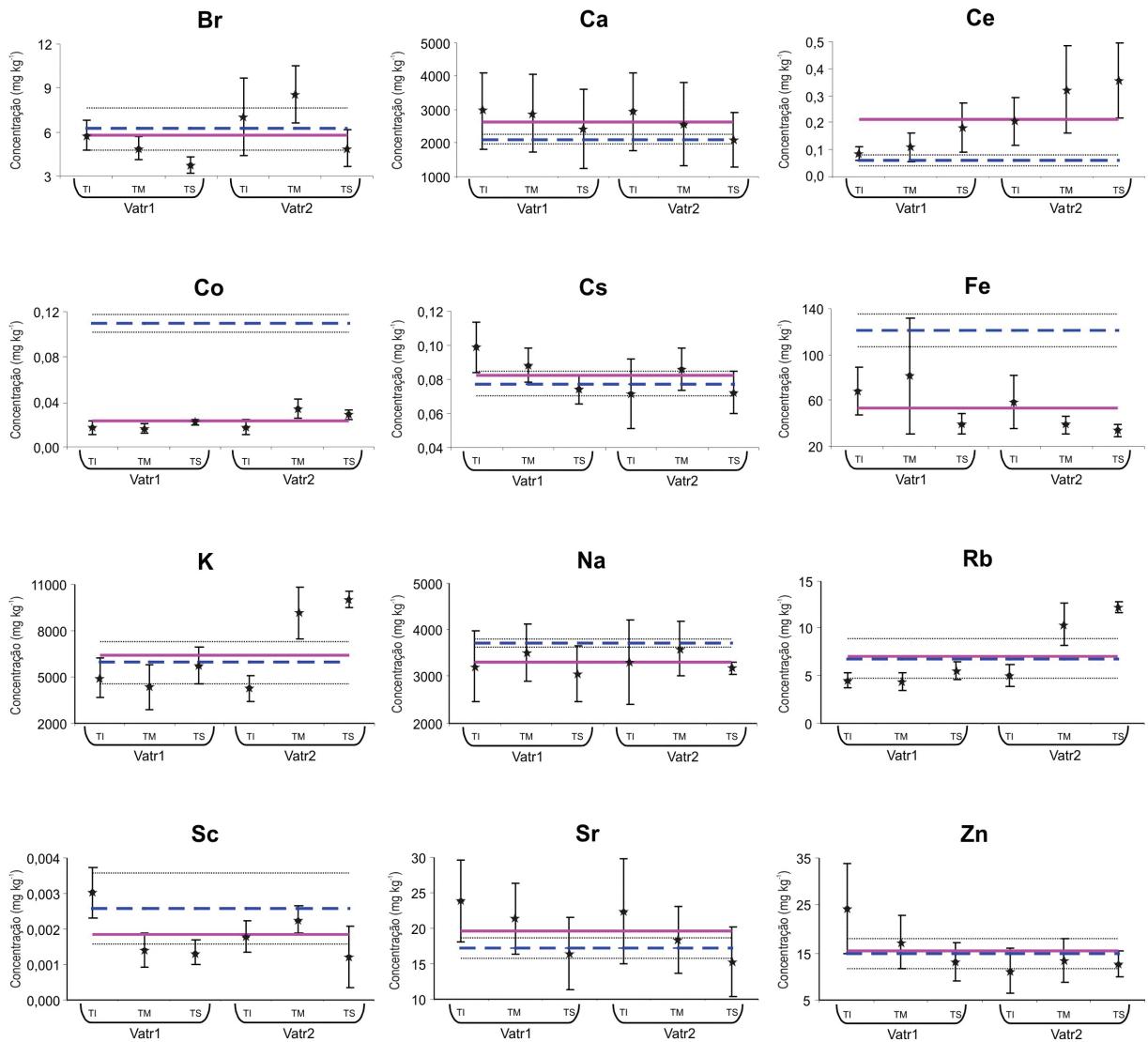
Figura 4.15 Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Racinaea spiculosa* (Rspi1 e Rspi2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%

As espécies *Vriesea altodaserrae* (Figura 4.16) e *Vriesea atra* (Figura 4.17) apresentaram a melhor concordância entre os dois procedimentos de amostragem, sendo a média dos resultados dos discos comparáveis à da amostragem usual para oito elementos químicos, dos doze determinados. Contudo, para essas espécies, foram observados valores extremamente discrepantes para Co e Fe, indicando

incremento substancial nas respectivas concentrações devido provavelmente ao procedimento de moagem.



**Figura 4.16** Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Vriesea altodaserrae* (Valt1 e Valt2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%



**Figura 4.17** Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Vriesea atra* (Vatr1 e Vatr2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%

Em oposição aos resultados obtidos para *Vriesea altodaserrae* e *Vriesea atra*, forte tendência de resultados mais altos na amostragem sustentável foi notada para *Vriesea carinata* (Figura 4.18) com onze valores maiores do que os da amostragem usual, sendo oito fora da faixa de incerteza, ou seja, Ca, Ce, Co, Cs, K, Rb, Sc e Sr. A concentração de Zn em uma roseta de *V. carinata* atingiu cerca de  $90 \text{ mg kg}^{-1}$ , o maior valor entre as espécies do PEIC.

A tendência para maiores valores da amostragem sustentável foi observada para os elementos Ca, K, Rb e Sr na bromélia *Vriesea rodigasiana* (Figura 4.19), embora as incertezas estimadas, na maioria dos casos, estejam parcialmente contidas nos intervalos de confiança da média da amostragem usual.

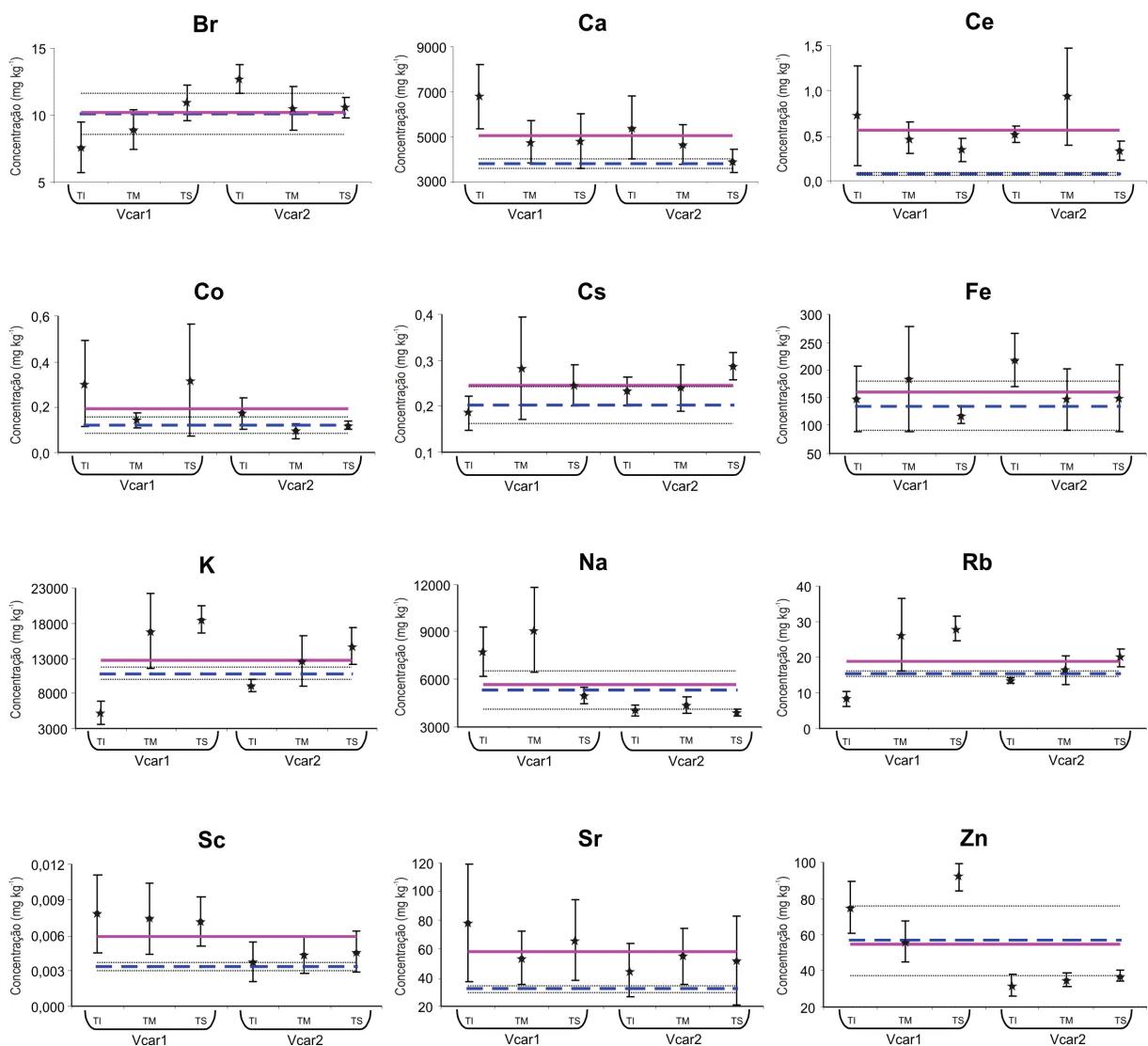
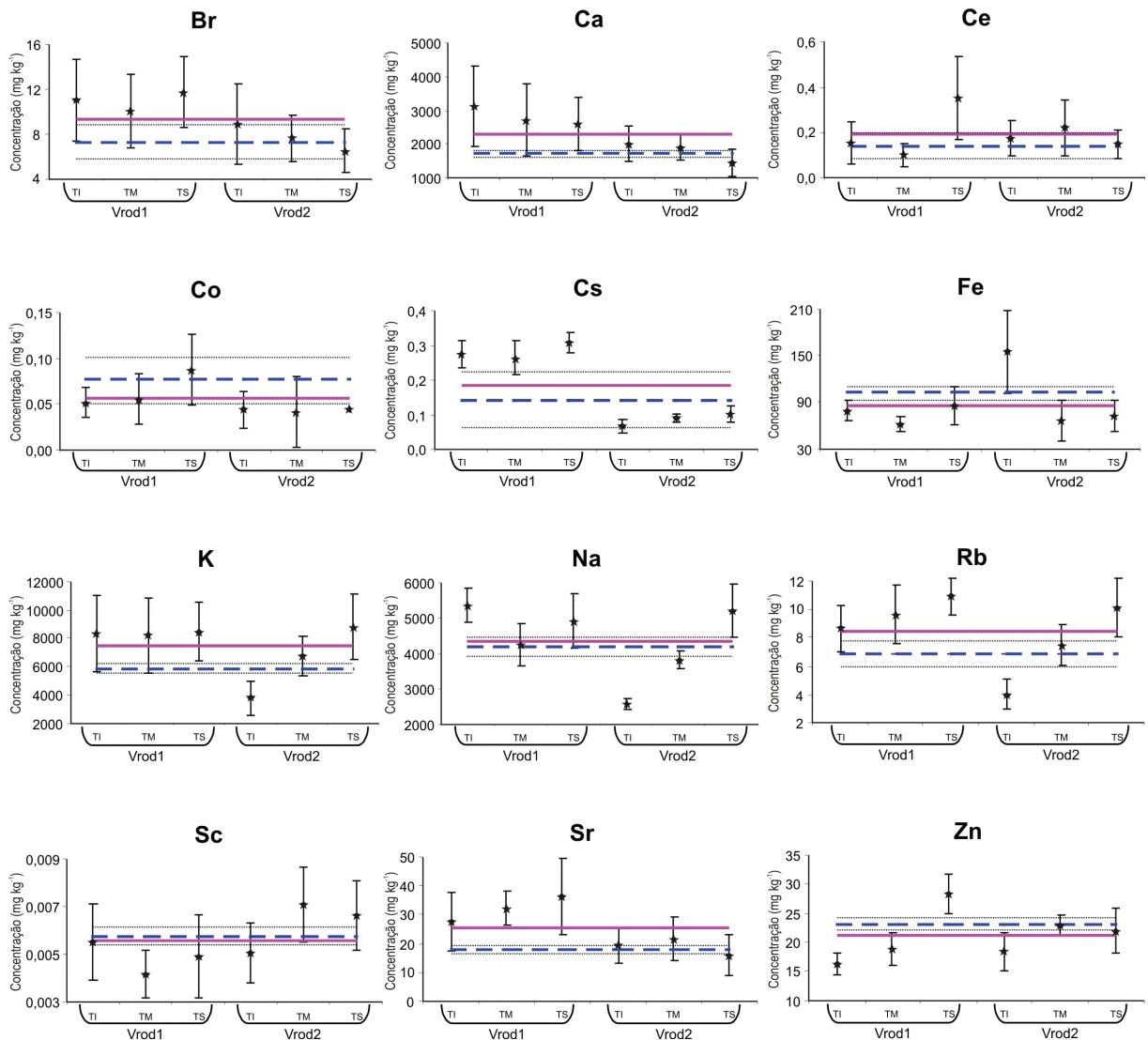


Figura 4.18 Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Vriesea carinata* (Vcar1 e Vcar2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%



**Figura 4.19** Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Vriesea rodigasiiana* (Vrod1 e Vrod2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%

#### Amostragem sustentável: bromélias da EEC e EEA

As espécies *Acanthostachys strobilacea* (Figura 4.20), *Tillandsia recurvata* (Figura 4.21), *Tillandsia loliacea* (Figura 4.22) e *Tillandsia tricholepis* (Figura 4.23) apresentaram os resultados mais discrepantes na amostragem sustentável, ou seja, com maior freqüência de valores fora dos intervalos de confiança em nível de 95%

de confiança. No caso dessas plantas, ao invés de discos foram retirados fragmentos, uma vez que as folhas são filiformes e de pequeno porte, não sendo possível amostrar nas diversas posições das folhas como ocorreu para a espécie *Billbergia zebrina* (Figura 4.24).

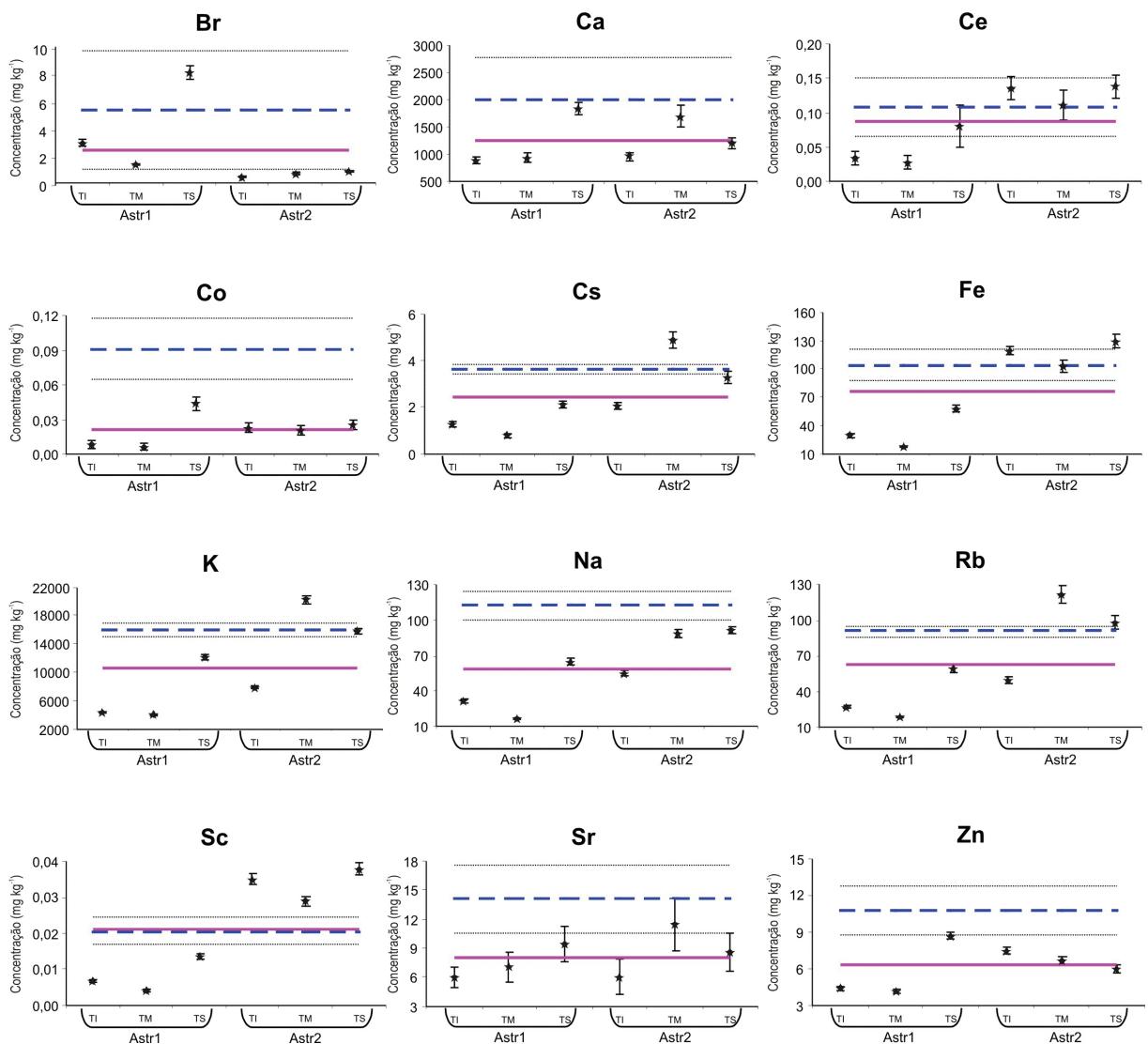


Figura 4.20 Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Acanthostachys strobilacea* (Astr1 e Astr2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%

Forte tendência de resultados mais baixos na amostragem sustentável foi observada para *Acanthostachys strobilacea* (Figura 4.20), uma vez que as médias de onze elementos químicos foram menores do que as da amostragem usual, sendo nove inclusive abaixo do intervalo de confiança em nível de 95%.

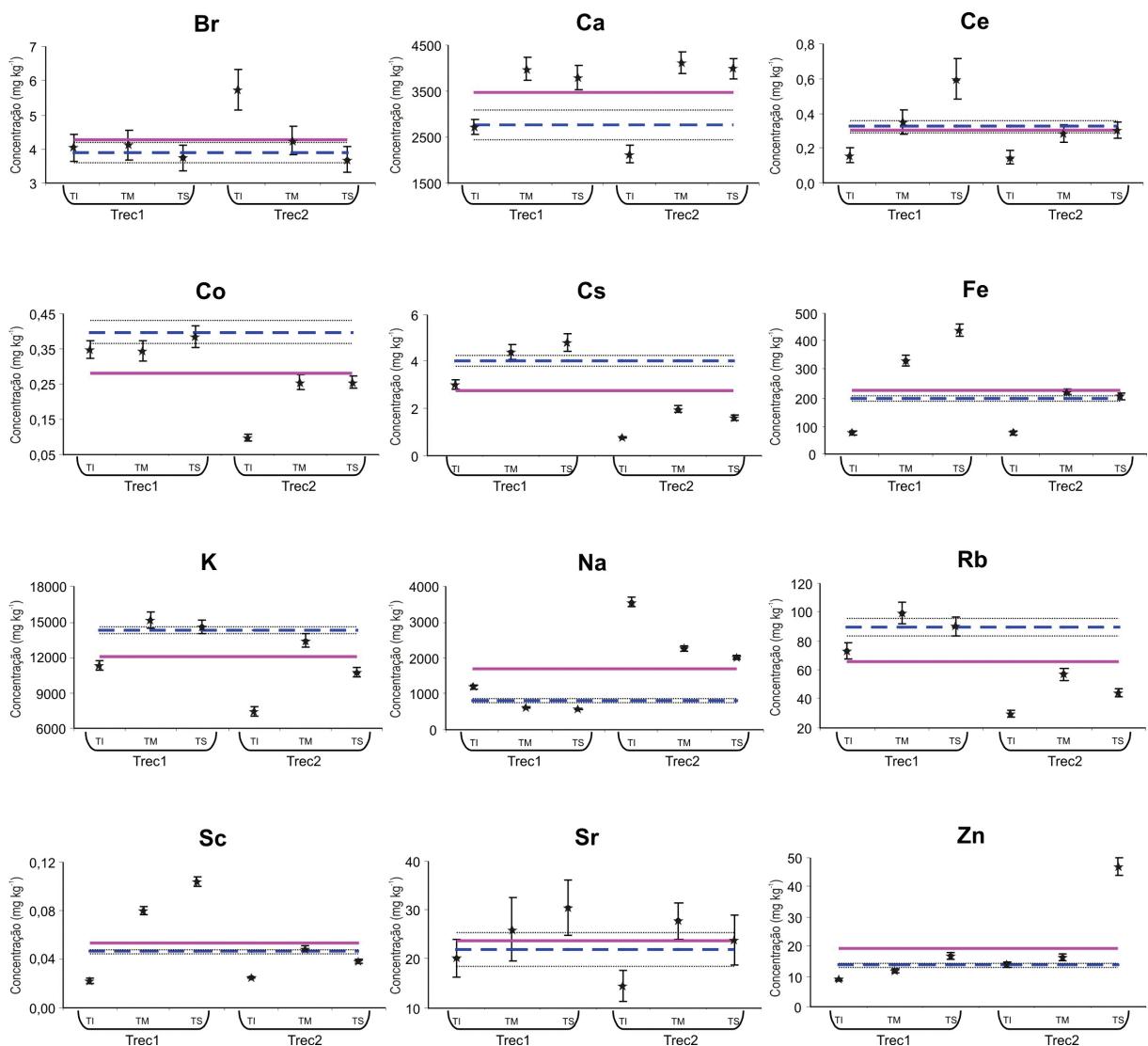
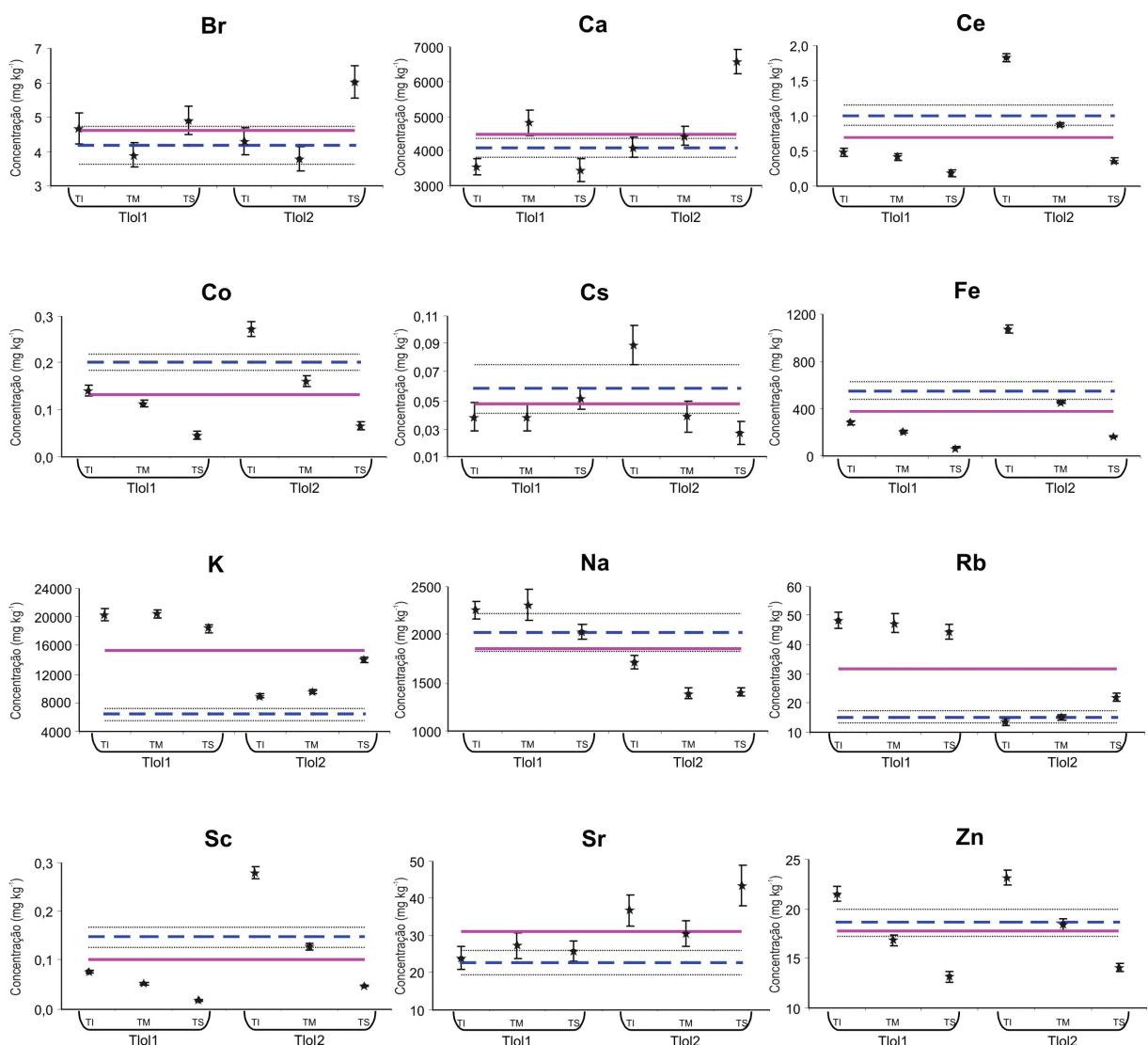


Figura 4.21 Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Tillandsia recurvata* (Trec1 e Trec2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%

Dentre as espécies de um mesmo gênero, comportamento diferenciado para a amostragem sustentável foi observado para *Tillandsia recurvata* (Figura 4.21) em comparação com *Tillandsia loliacea* (Figura 4.22) e *Tillandsia tricholepis* (Figura 4.23) para os elementos químicos Ce, Co, Fe, Sc e Zn. Para *Tillandsia recurvata*, o terço superior mostrou maiores concentrações para Ce, Fe, Sc e Zn, enquanto para *Tillandsia loliacea* e *Tillandsia tricholepis* a tendência foi inversa.



**Figura 4.22** Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Tillandsia loliacea* (Tlol1 e Tlol2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%

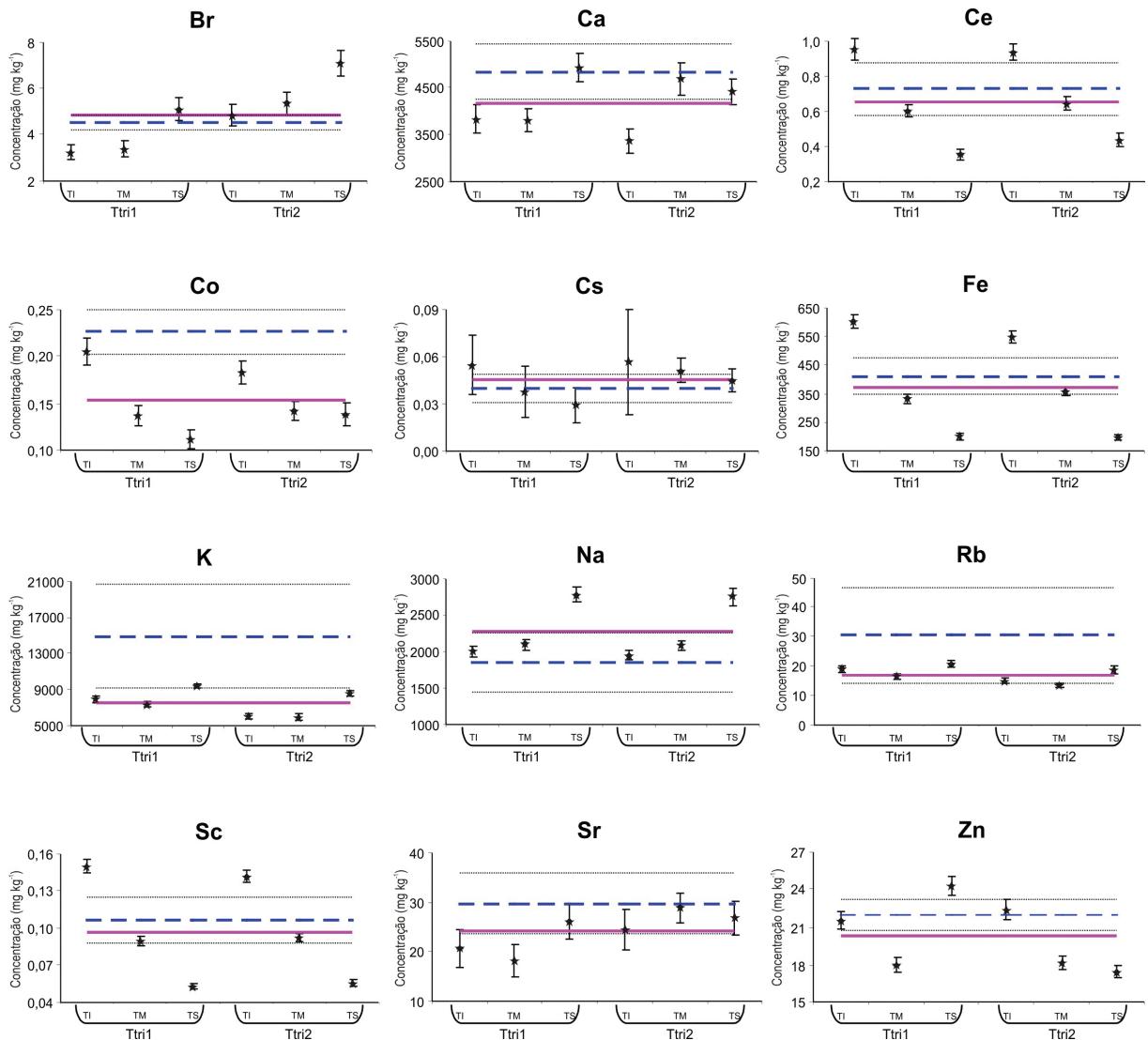


Figura 4.23 Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Tillandsia tricholepis* (Ttri1 e Ttri2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%

Para a única espécie de bromélia-tanque coletada em EEC e EEA, a amostragem sustentável produziu resultados mais semelhantes àquelas da amostragem usual (Figura 4.24). Cabe ressaltar as elevadas concentrações de K e Rb em *Billbergia zebrina*. O terço superior atingiu a quantia considerável de 4% de K e 120 mg kg⁻¹ de Rb. Potássio pode ser um elemento limitante para ecossistemas como a floresta estacional semidecidual (FRANÇA et al., 2003) e o cerradão.

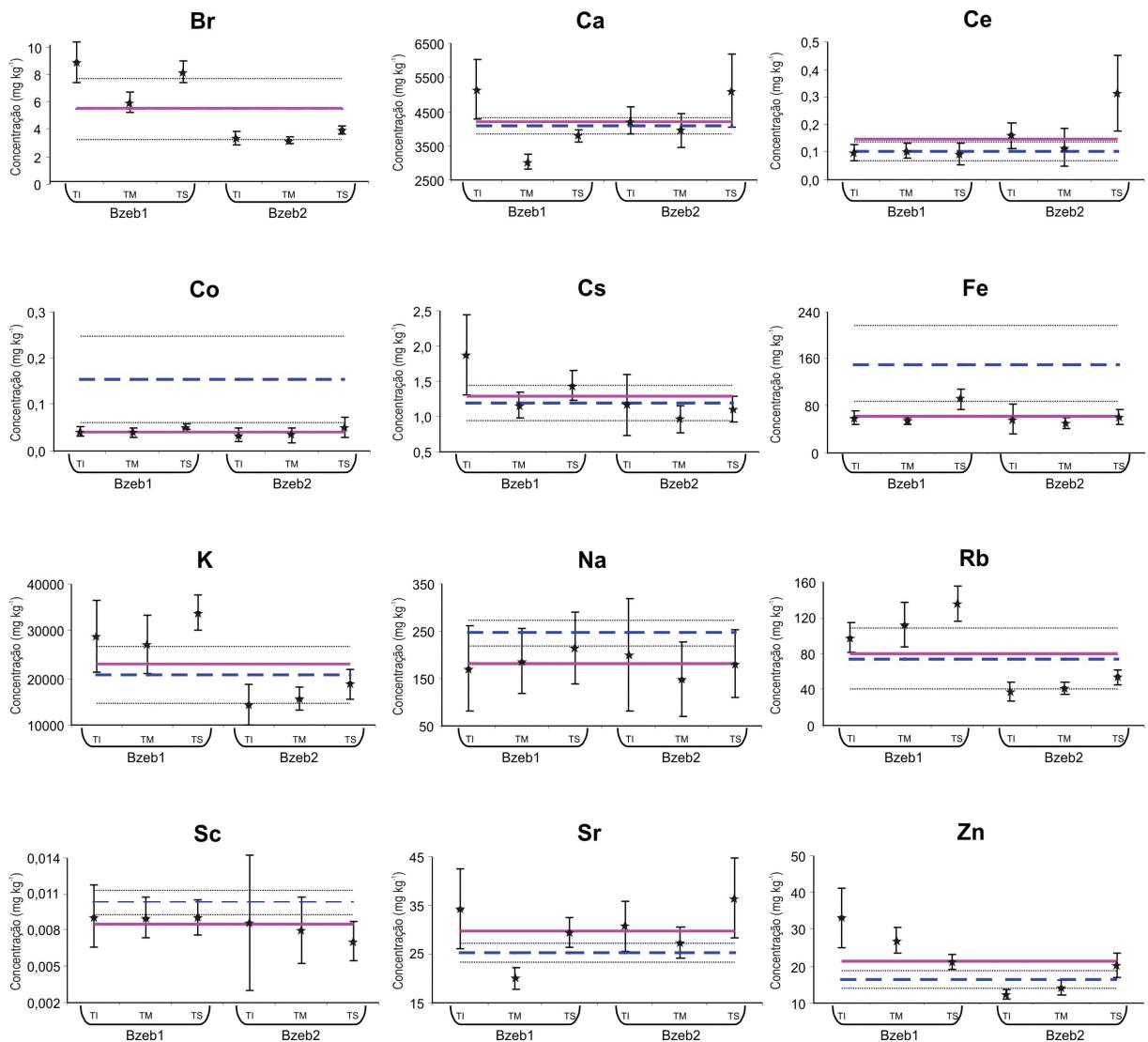


Figura 4.24 Resultados da amostragem sustentável para os terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das rosetas de *Billbergia zebrina* (Bzeb1 e Bzeb2). As barras de erro são referentes às incertezas combinadas. A linha lilás representa a média dos discos. A linha azul representa a média proveniente da amostragem usual. As linhas tracejadas referem-se ao intervalo de confiança para a média populacional em nível de 95%

#### 4.6.2 Variabilidade entre os diferentes estádios fenológicos das folhas

A seção anterior enfatizou as diferenças obtidas entre a amostragem sustentável e a amostragem usual. Neste item, é discutida a variabilidade entre os diferentes estádios fenológicos das folhas das bromélias avaliadas. Por convenção, o terço inferior foi considerado como aquele que possui mais folhas em estado de senescência, seguido por folhas maduras do terço médio e folhas jovens do terço superior. As Figuras 4.25 e 4.26 apresentam as concentrações normalizadas dos elementos químicos determinados nas folhas senescentes, maduras e jovens das bromélias analisadas nas parcelas permanentes. Os gráficos foram organizados de modo a buscar a identificação das tendências dos elementos em relação à idade das folhas amostradas.

Para Ca, elemento considerado de mobilidade baixa em plantas (NAYYAR, 2003), foram observados resultados mais elevados nas folhas senescentes (Figura 4.25), com exceção de *Acanthostachys strobilacea* e as espécies do gênero *Tillandsia*. Esse elemento nas plantas desempenha principalmente função estrutural, devido a isso não ocorre ou é totalmente limitada sua translocação para tecidos mais jovens (SILVA; SANTOS; PAIVA, 1998). Ele está presente nos cristais de oxalato de cálcio que compõem a lamela média da parede celular (MALAVOLTA, 2006; NAYYAR, 2003). Para o elemento traço Sr, comportamento semelhante foi encontrado devido à similaridade química com Ca.

Potássio apresentou as maiores concentrações nas folhas jovens, exceto para *Tillandsia recurvata* (Figura 4.25). Esse elemento é considerado essencial (LEIGH; WYN JONES, 1984) e altamente móvel, ocorrendo o transporte a longas distâncias (RAIJ, 1991). É absorvido pelas plantas principalmente durante o estádio inicial de crescimento vegetativo (RAIJ, 1991). Há grande eficiência na redistribuição de K

para tecidos mais jovens (MALAVOLTA, 2006), principalmente para espécies de bromélias. Rubídio seguiu a mesma tendência do K para todas as bromélias, inclusive na exceção observada para *Tillandsia recurvata* (Figura 4.25). Esses elementos apresentam similaridade química, pois pertencem à Família 1A da tabela periódica. Em plantas deficientes de K, os elementos Na e Rb podem estimular seu crescimento (KABATA-PENDIAS, 2001), embora Rb em altas concentrações seja bastante tóxico para plantas (KABATA-PENDIAS, 2001).

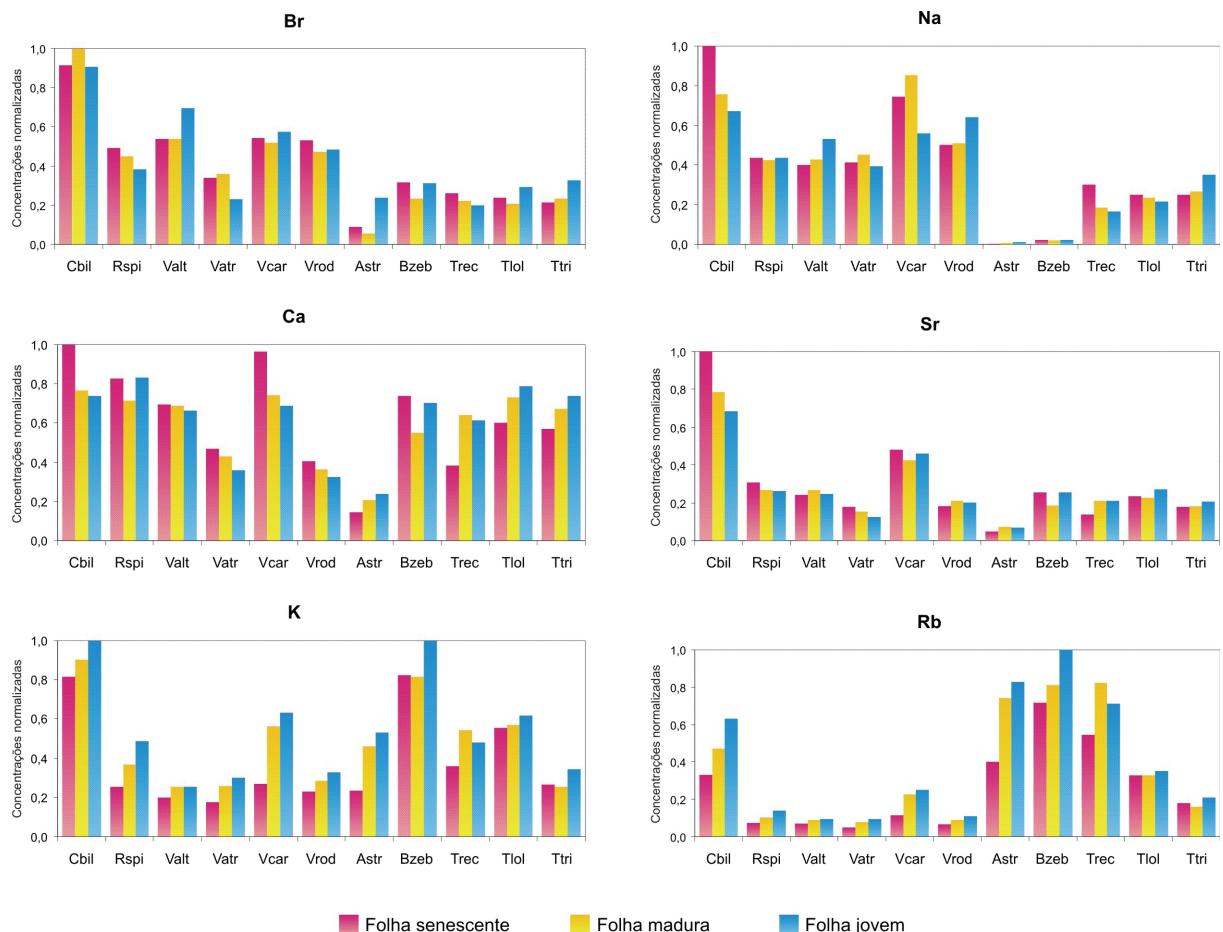


Figura 4.25 Concentrações normalizadas pela máxima concentração dos elementos químicos determinados nos diferentes estádios fenológicos das folhas das bromélias, isto é, senescente, madura e jovem

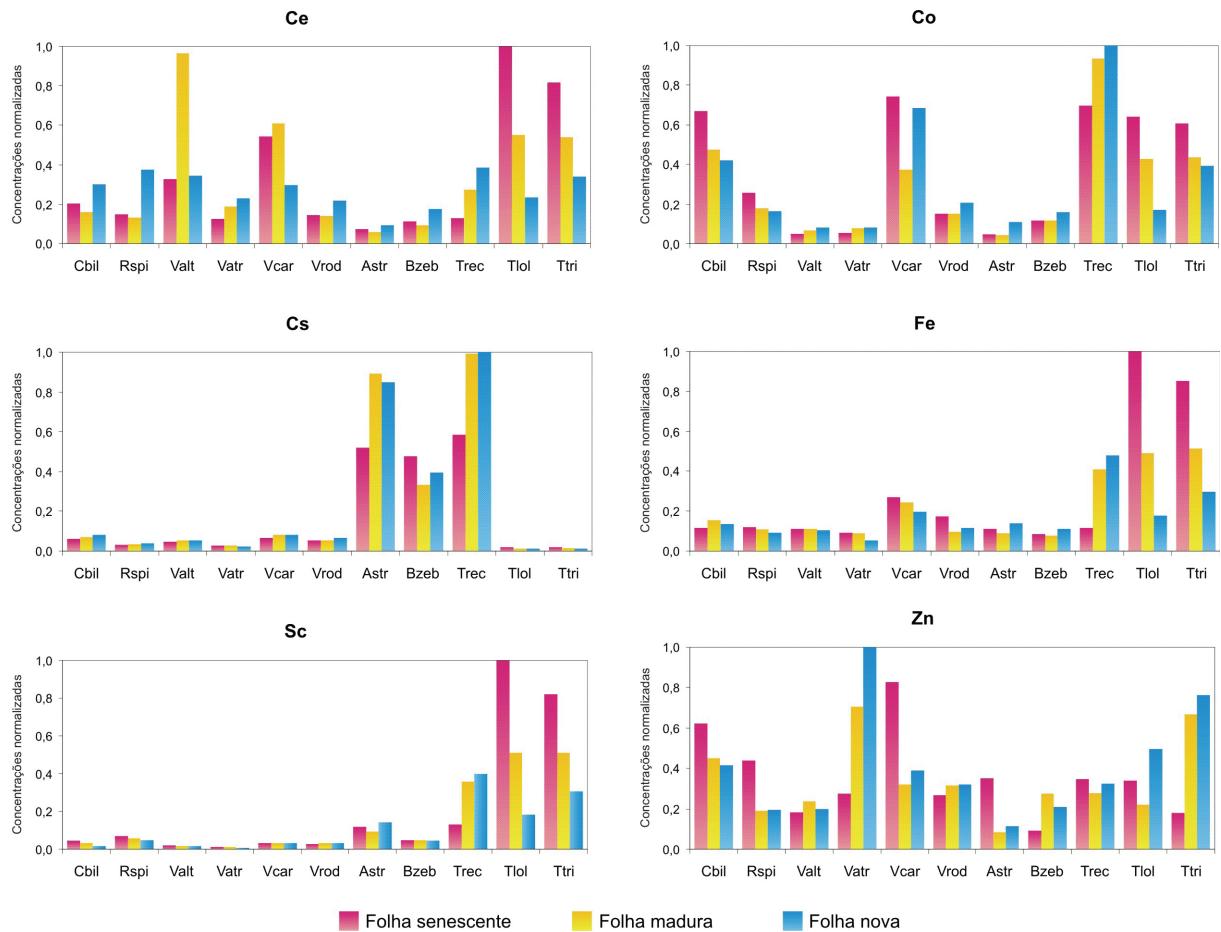
Embora também pertença à Família 1A, césio (Figura 4.26) não apresentou um padrão de acumulação entre os diferentes estádios fenológicos das folhas, mas mostrou tendência de valores mais baixos nas folhas senescentes. Segundo Kabata-Pendias (2001), este elemento acumulou-se nas raízes e folhas senescentes de várias culturas. Dentre as plantas estudadas, apenas as espécies *Billbergia zebrina*, *Tillandsia loliacea* e *Tillandsia tricholepis* tiveram as maiores concentrações nas folhas senescentes.

Ferro teve as maiores concentrações nas folhas senescentes das bromélias *Tillandsia loliacea* e *Tillandsia tricholepis*, ambas espécies da EEC (Figura 4.26). Esse elemento participa da síntese de clorofila (MARKERT, 1998) e não é facilmente transportado em tecidos (MAAS et al., 1988), ocorrendo um aumento nas folhas mais velhas e podendo as folhas mais jovens acabar desenvolvendo deficiência (KABATA-PENDIAS, 2001). No entanto, Ce e Sc apresentaram também as maiores concentrações para essas bromélias (Figura 4.26), indicando que o procedimento de lavagem não foi suficiente para a remoção da terra aderida à superfície das folhas.

Cobalto apresentou tendência de acúmulo nas folhas senescentes para cinco espécies, enquanto outras espécies mostraram valores elevados nas folhas jovens, principalmente *Tillandsia recurvata* (Figura 4.26). O acúmulo de Co aumenta em função da idade da folha e praticamente não há redistribuição foliar desse elemento para tecidos em crescimento (PALIT; SHARMA; TALUKDER, 1994). Co não é considerado elemento essencial para plantas, porém, está na composição da vitamina B12, sendo essencial para os animais. Além disso, é necessário para a fixação biológica de nitrogênio (PALIT; SHARMA; TALUKDER, 1994; RAIJ, 1991).

Para parte das espécies, Zn teve os maiores valores nas folhas senescentes, mas as folhas jovens de algumas espécies, como *Vriesea atra* e *Tillandsia tricholepis*

apresentaram altas concentrações desse elemento (Figura 4.26). Zn é considerado regulatório nas plantas e necessário para a formação da clorofila (MARKERT, 1998). Possui baixa redistribuição (HASLETT; REID; RENGEL, 2001), dependendo, entretanto, da disponibilidade desse elemento na planta (MALAVOLTA, 2006). Geralmente, Zn acumula-se em folhas com mais idade (KABATA-PENDIAS, 2001).



**Figura 4.26** Concentrações normalizadas pela máxima concentração dos elementos químicos determinados nos diferentes estádios fenológicos das folhas das bromélias, isto é, senescente, madura e jovem

#### **4.6.3 Variabilidade química entre os terços das folhas**

O delineamento amostral realizado nas bromélias estudadas para a amostragem sustentável, além de permitir os diversos estudos já apresentados, ainda possibilitou o estudo da variabilidade química entre os terços avaliados das folhas. A seguir são mostrados os principais resultados referentes aos elementos químicos para amostras tomadas dos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas nos diferentes períodos de desenvolvimento vegetativo (folhas jovens, maduras e senescentes). No caso de *Acanthostachys strobilacea*, *Tillandsia loliacea*, *Tillandsia recurvata* e *Tillandsia tricholepis*, a morfologia dessas plantas não permitiu a amostragem de discos dos diferentes terços das folhas, sendo tomadas apenas amostras dos terços da planta conforme discutido na seção anterior. Portanto, essas quatro espécies não foram incluídas neste estudo.

Bromo apresentou maiores concentrações no terço superior, evidenciadas pelo predomínio de desvios positivos, independentemente do estádio vegetativo das folhas (Figura 4.27), exceto para *Canistropsis billbergioides* e *Vriesea carinata*. As bromélias *Vriesea rodigasiana* e *Billbergia zebrina* mostraram, respectivamente, a maior e a menor variação entre os terços das folhas jovens e maduras. Nas folhas senescentes, foram observadas as maiores variações do elemento, principalmente com valores bastante discrepantes nos terços inferior e superior. Nas folhas senescentes de *Canistropsis billbergioides*, foram observados os menores desvios para Br. Em geral, pode-se dizer que Br apresenta maiores concentrações no terço superior das folhas e menores no terço inferior.

Notou-se variabilidade relativamente grande entre os terços das folhas para Ca, sendo os menores desvios observados para *Billbergia zebrina* (Figura 4.28). Como ocorreu para Br, os valores mais elevados de Ca foram observados nos terços

superiores das folhas, enquanto os terços inferiores e médios apresentaram menor concentração, com algumas exceções, principalmente para *Vriesea carinata* e *Billbergia zebrina*. De acordo com Raven, Evert e Eichhorn (1996), a folha cessa seu crescimento primeiramente no ápice e depois na base foliar. Ca é normalmente imóvel e de baixa redistribuição para partes em crescimento na planta, o que justifica sua menor presença nos terços médio e inferior das folhas. Corroborando essa informação, Pyatt et al. (1999) também não verificaram a translocação de Ca de partes mais velhas para outras em crescimento na *Tillandsia usneoides*. Similarmente ao Ca, estrôncio apresentou os maiores valores no terço superior das folhas (Figura 4.29). Entretanto, essa tendência foi menos acentuada e exceções ocorreram para *Vriesea carinata*, *Vriesea rodigasiana* e *Billbergia zebrina* (Figura 4.29).

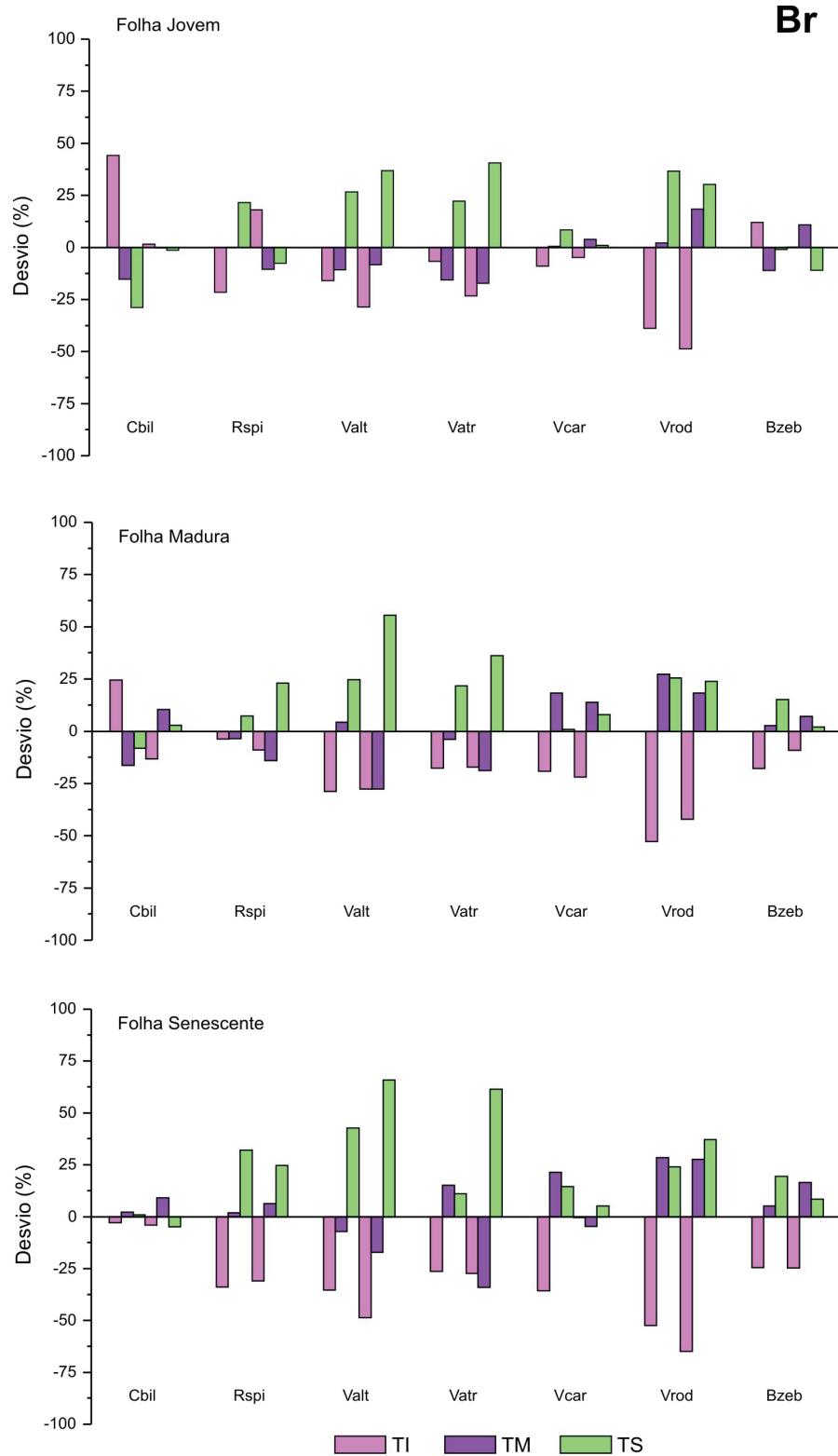
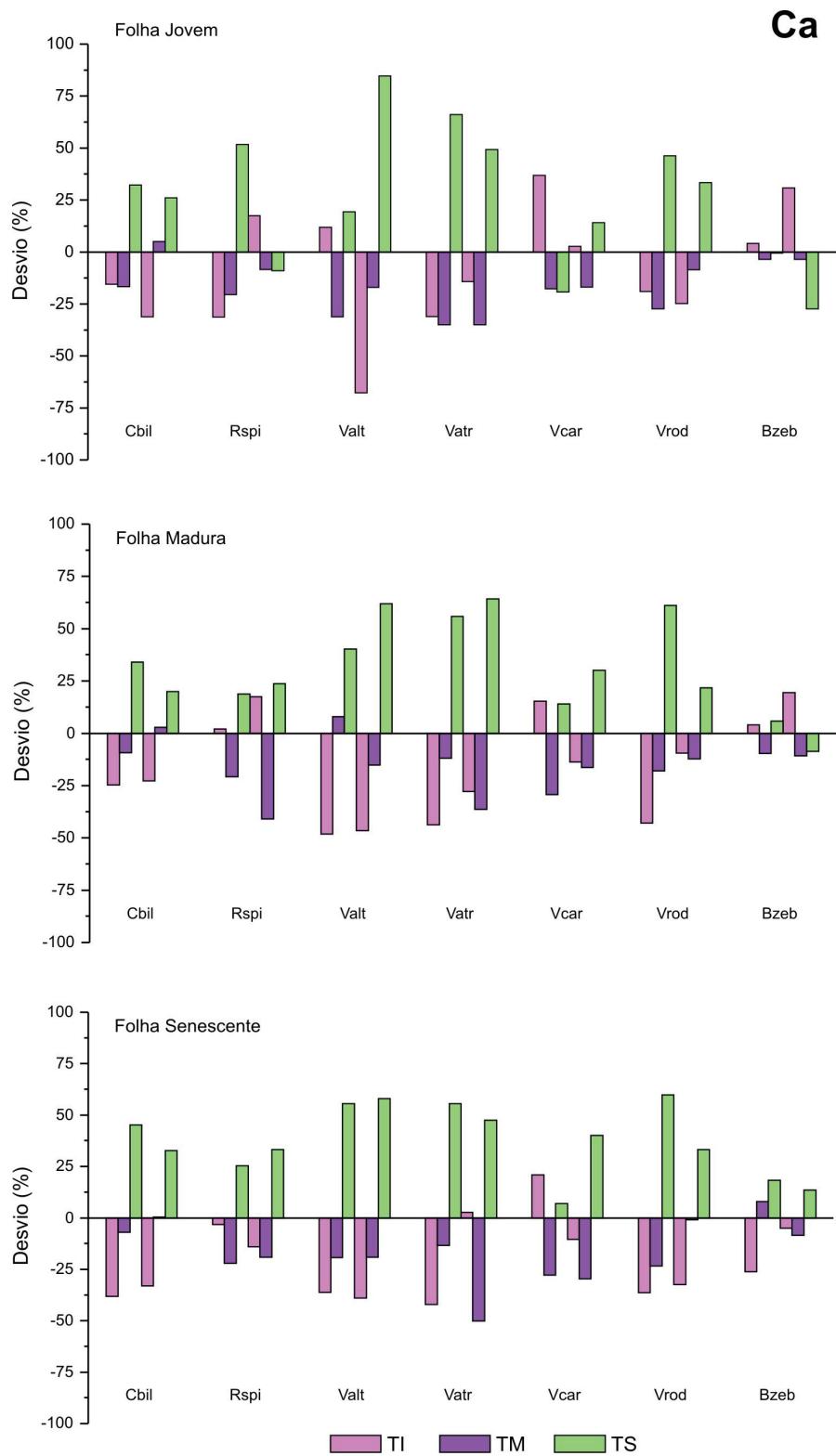


Figura 4.27 Desvios relativos calculados entre os resultados de Br nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)



**Figura 4.28** Desvios relativos calculados entre os resultados de Ca nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

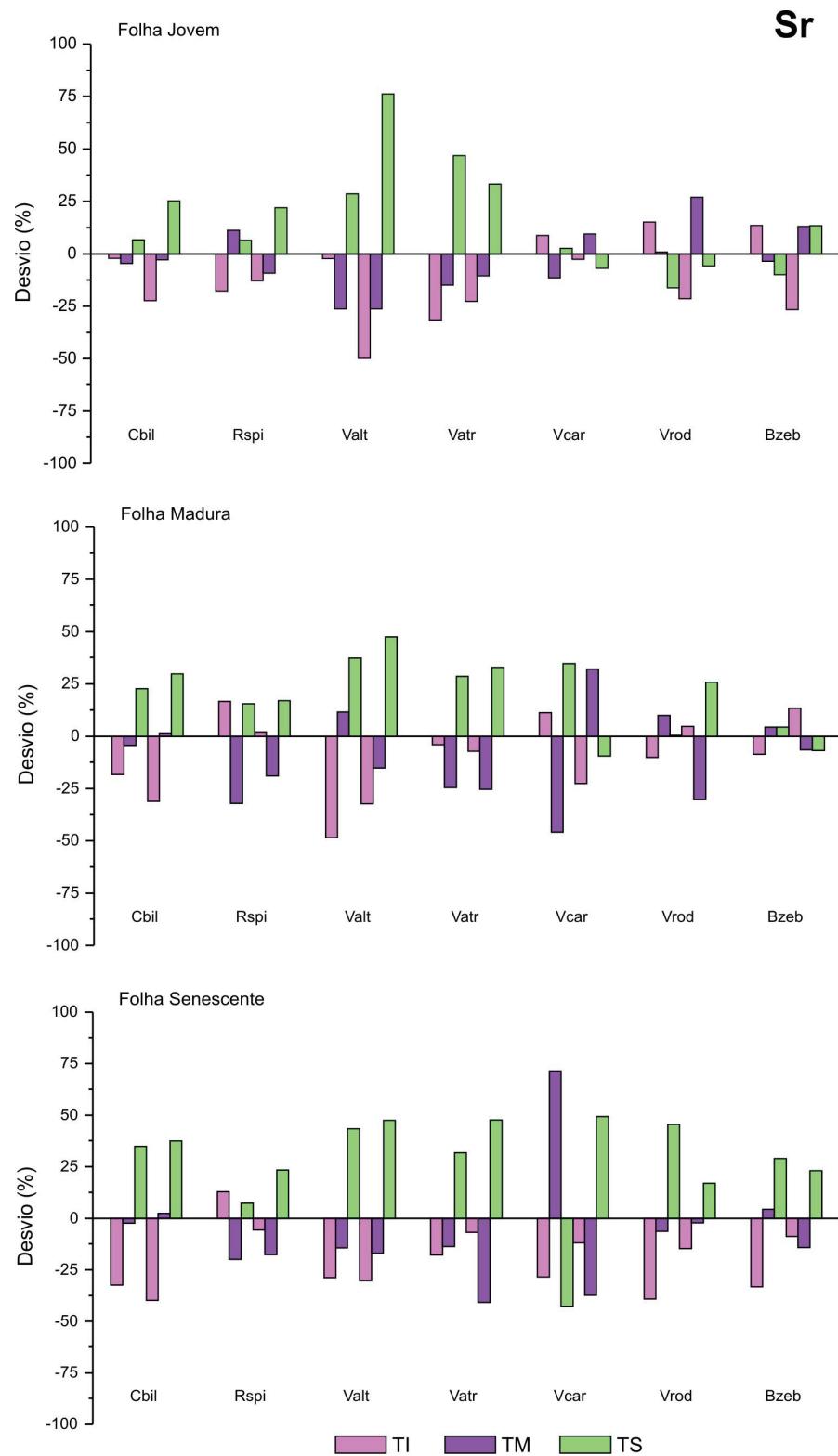
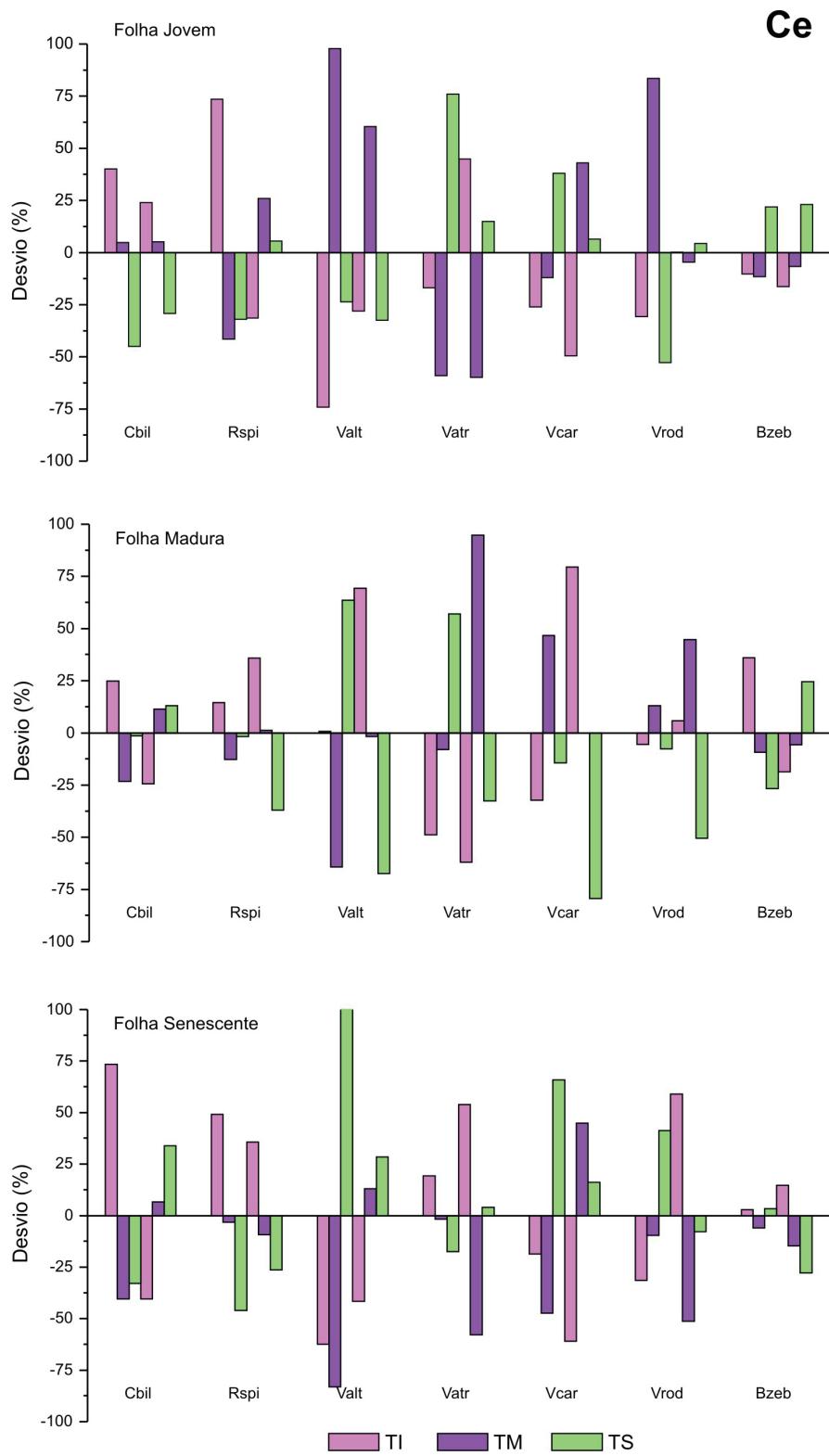


Figura 4.29 Desvios relativos calculados entre os resultados de Sr nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

Cério apresentou grande variabilidade entre os terços da folha, entretanto não houve tendência clara de acúmulo em um dos terços (Figura 4.30). Por outro lado, Fe e Sc, assim como Ce, indicativos de contaminação com terra na superfície das folhas, tiveram as maiores concentrações no terço inferior (Figuras 4.31 e 4.32). Principalmente nessa parte, região próxima à bainha, as folhas tendem a ter superfície mais rugosa, dificultando a remoção das partículas de terra depositadas, o que explica as concentrações mais elevadas desses elementos.

Para Co, também foi observada grande variabilidade entre os terços foliares (Figura 4.33) e tendência de valores mais altos nos terços inferiores das folhas. *Vriesea rodigasiana* apresentou resultados apenas para uma roseta nas folhas jovens e senescentes, sendo os demais valores abaixo do limite de detecção de  $0,05 \text{ mg kg}^{-1}$ . Para uma roseta de *V. carinata*, os maiores valores foram observados no terço superior. Cobalto, quando transportado na corrente transpiratória das plantas, acumula-se nas margens e pontas das folhas (MALAVOLTA, 2006), o que pode explicar a distribuição observada nas folhas de *V. carinata*.



**Figura 4.30** Desvios relativos calculados entre os resultados de Ce nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

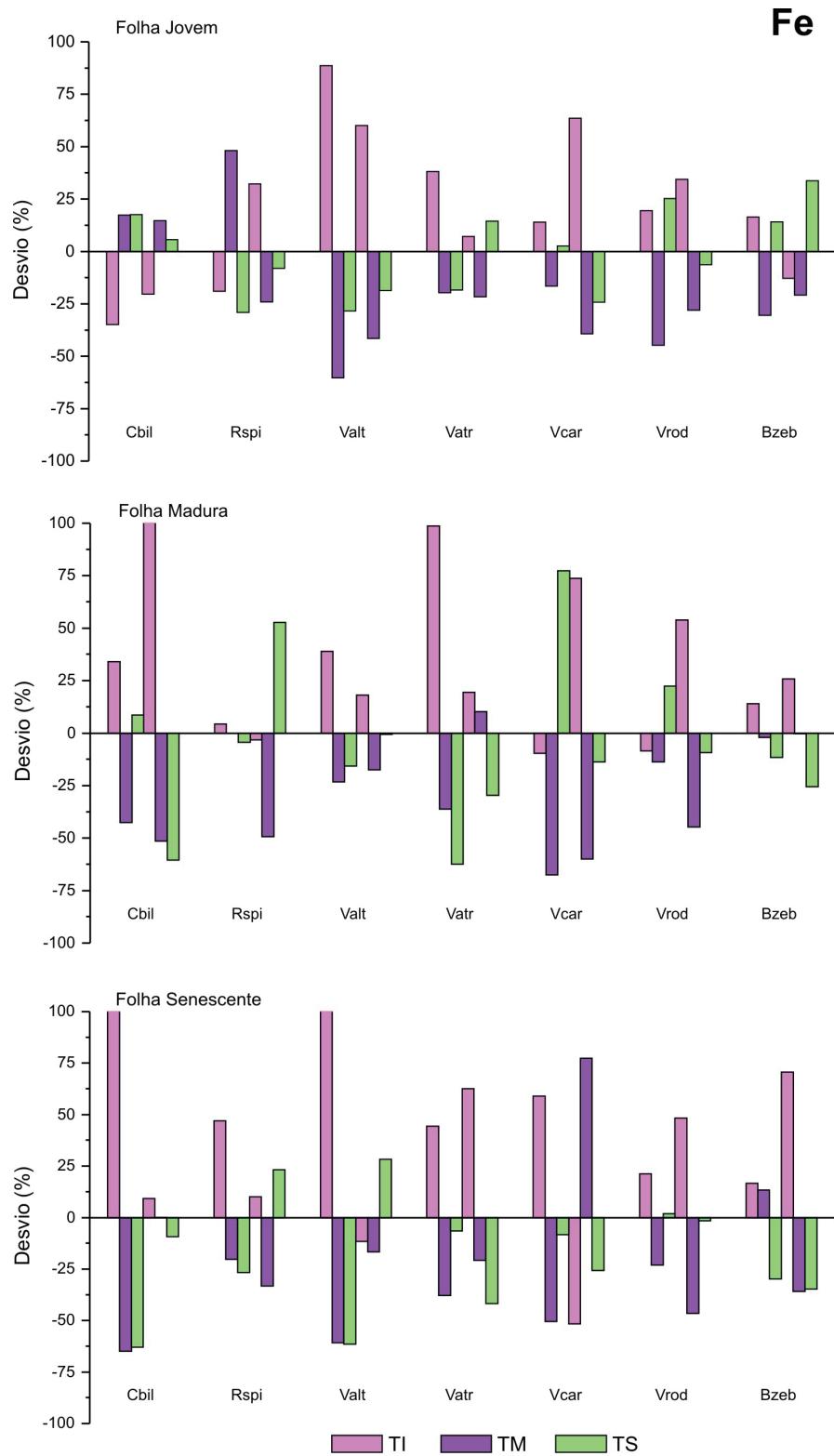
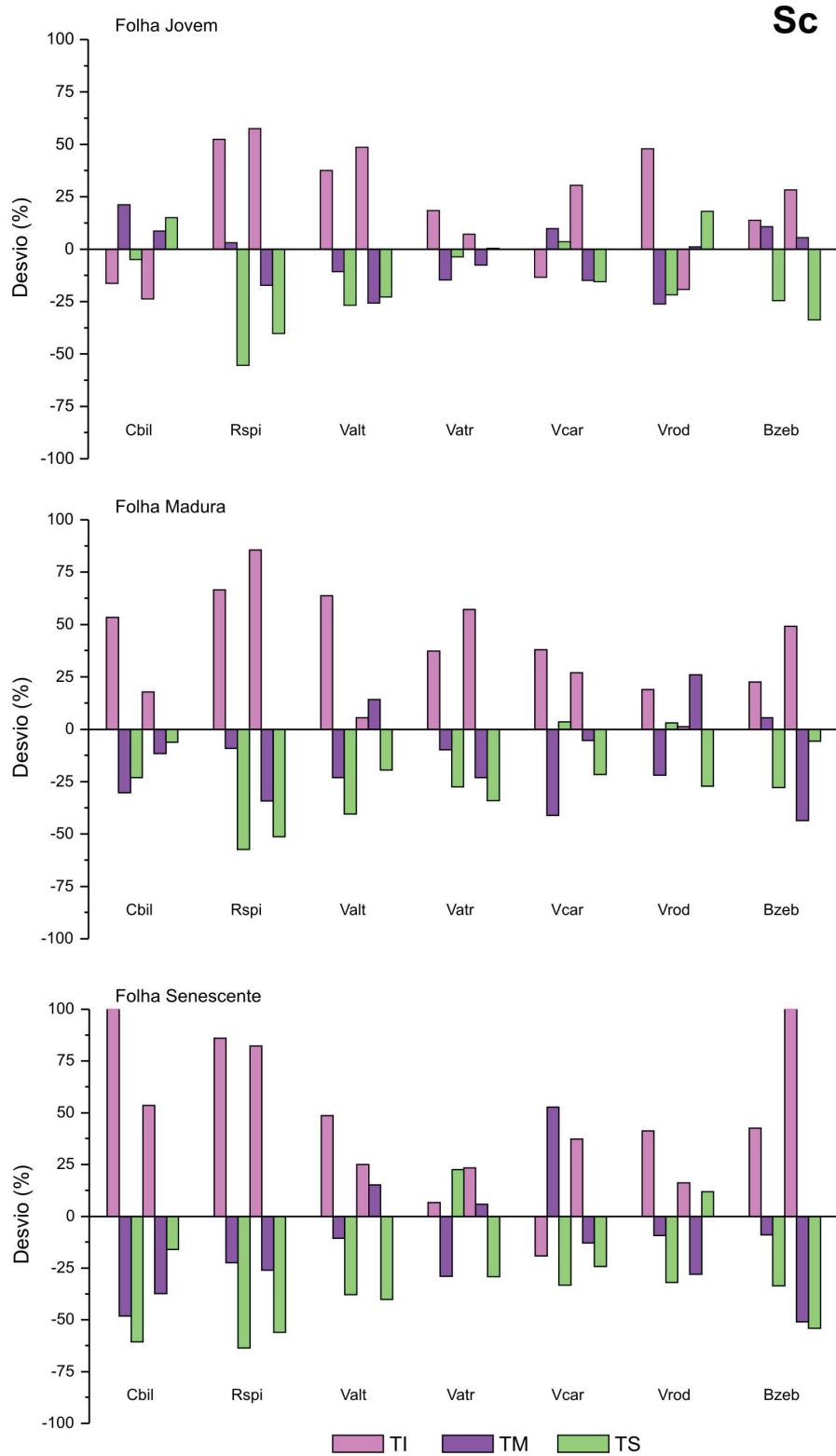


Figura 4.31 Desvios relativos calculados entre os resultados de Fe nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)



**Figura 4.32** Desvios relativos calculados entre os resultados de Sc nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

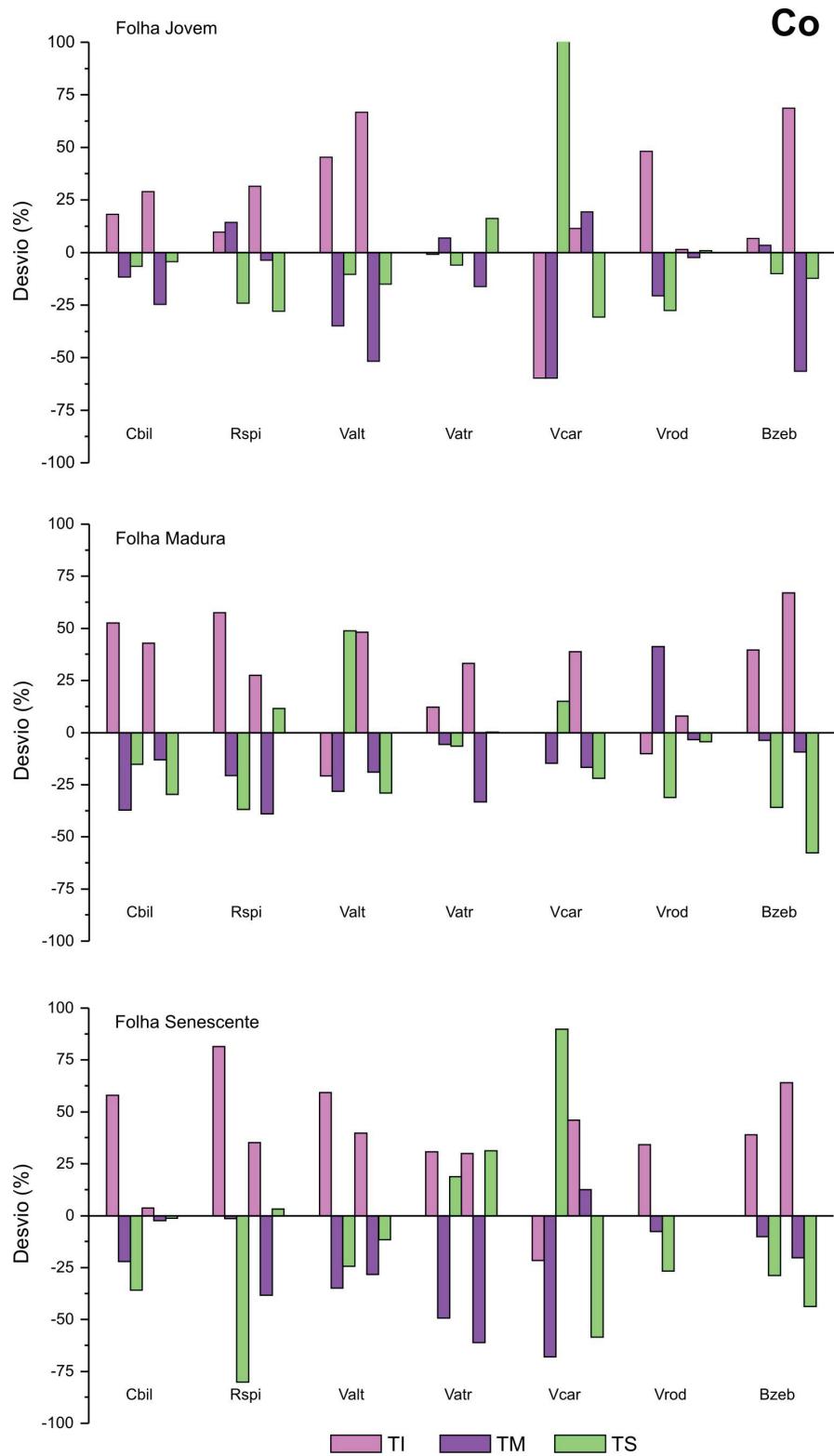
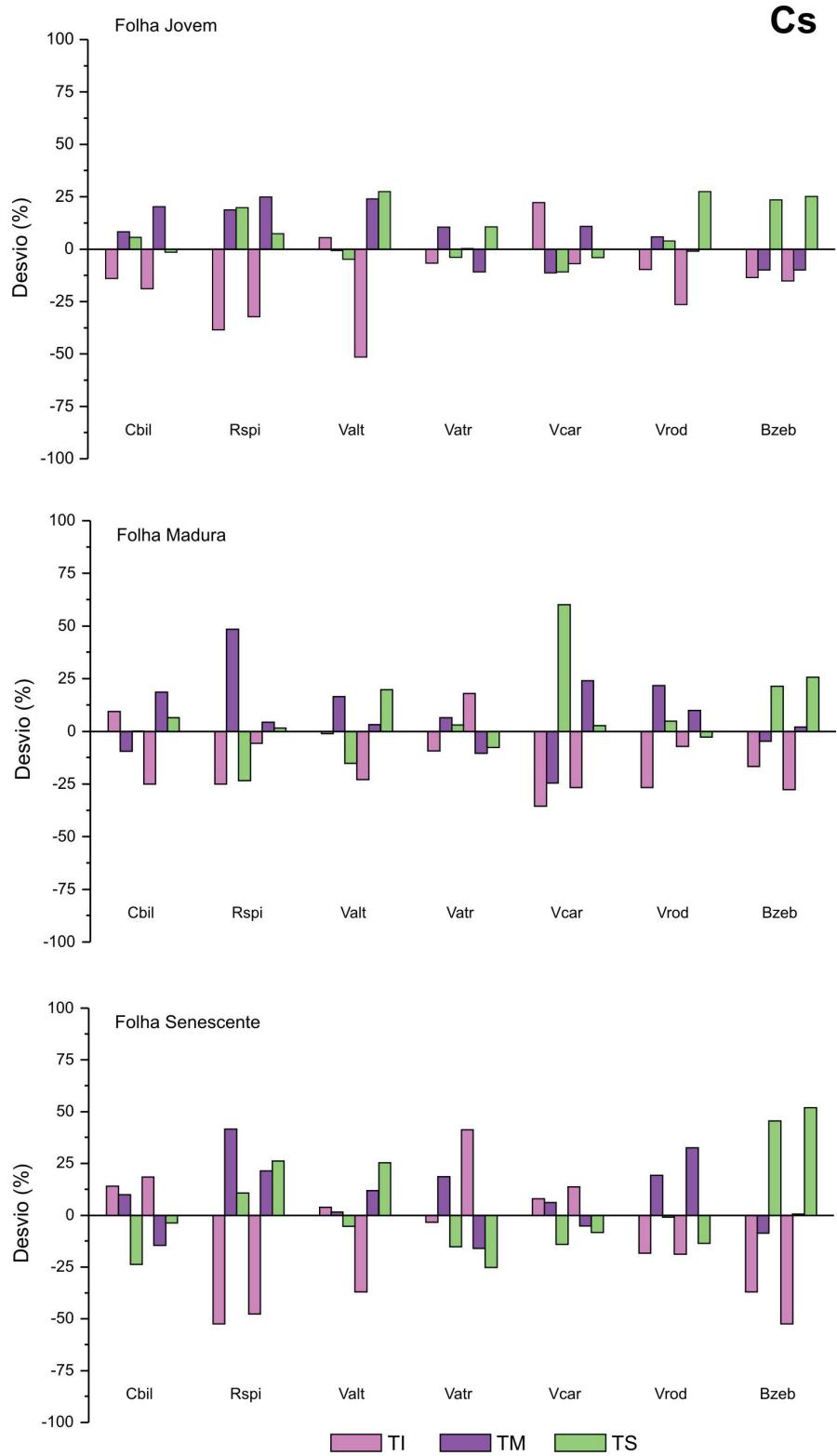


Figura 4.33 Desvios relativos calculados entre os resultados de Co nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

A característica conservativa do Cs (Figura 4.34) também foi notada entre os terços das folhas, pois sua variabilidade foi a menor dentre os elementos avaliados. Ainda assim, houve clara tendência de Cs apresentar menores concentrações nos terços inferiores. Comportamento semelhante foi observado para K (Figura 4.35), todavia com maiores variações entre os terços das folhas. Na verdade, é sabido que Cs apresenta similaridade química com K, por isso é absorvido pela planta, embora não tenha papel fisiológico claro. A menor presença de K nos terços inferiores das folhas pode ser explicada por sua função no processo de fotossíntese, participando na regulação da abertura e fechamento dos estômatos (MALAVOLTA, 2006). A atividade fotossintética é normalmente mais elevada nos terços médio e superior das folhas. Além disso, altos valores de K foram detectados no ápice de *Tillandsia usneoides* (PYATT et al., 1999), corroborando os resultados obtidos neste trabalho.

Rubídio apresentou distribuição bastante semelhante a K, devido ao comportamento químico similar, tendo as menores concentrações nos terços inferiores das folhas (Figura 4.36). Assim como para K, a menor variabilidade para Rb foi observada em *Canistropsis billbergiodes*, enquanto *Racinaea spiculosa* e *Vriesea altodaserrae* apresentaram a maior variação entre os terços para os dois elementos químicos (Figuras 4.35 e 4.36).



**Figura 4.34** Desvios relativos calculados entre os resultados de Cs nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

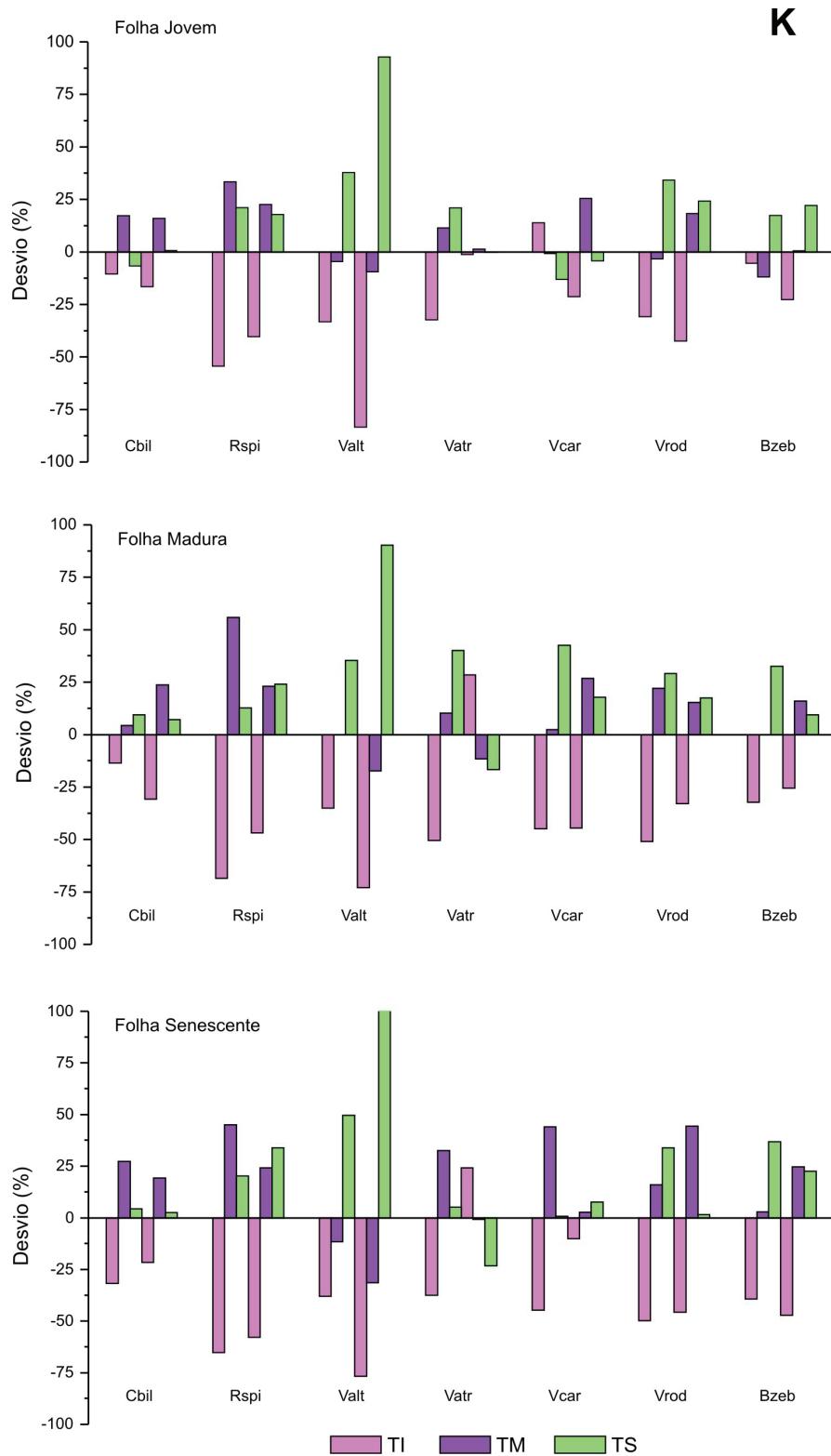
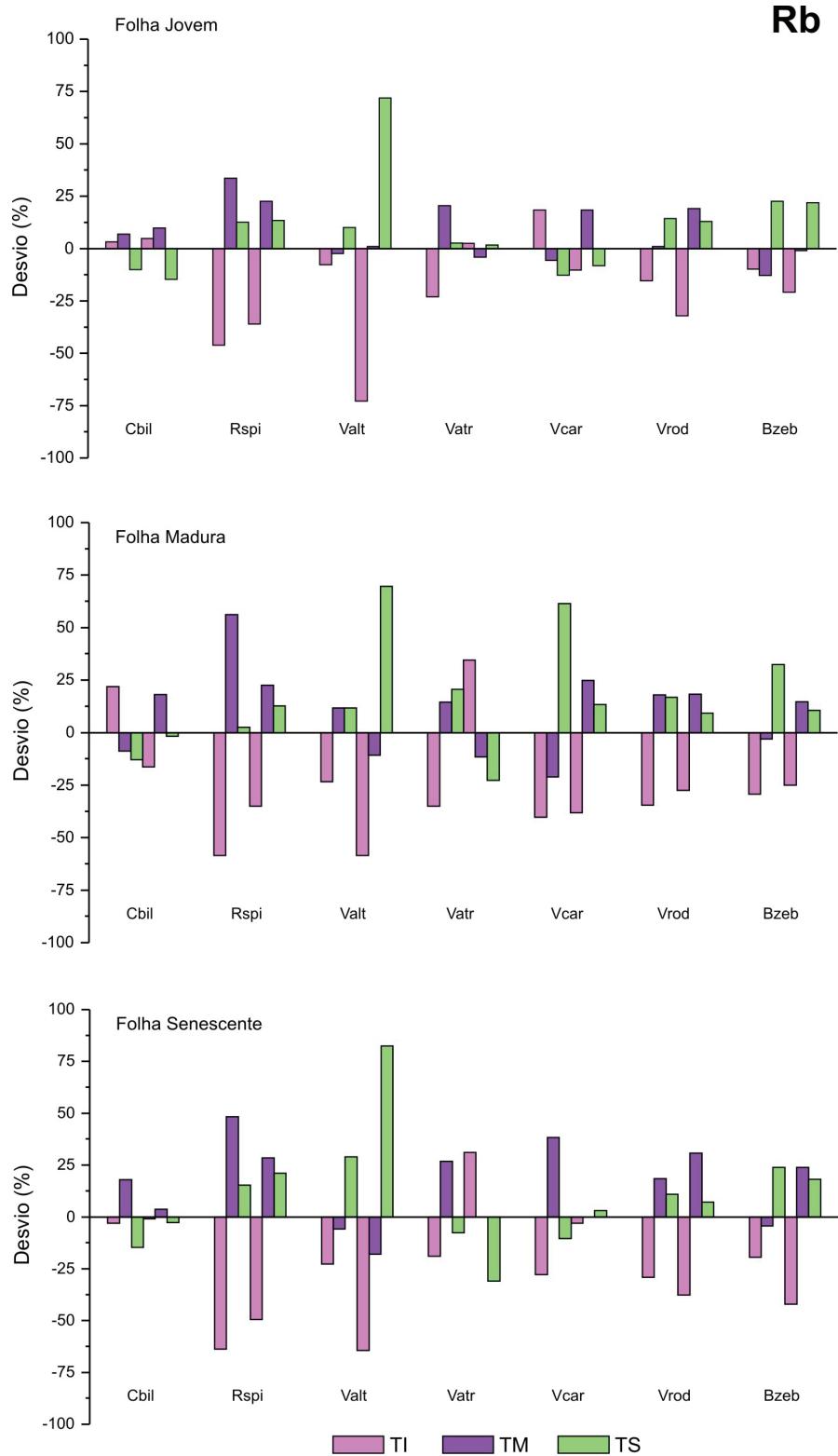


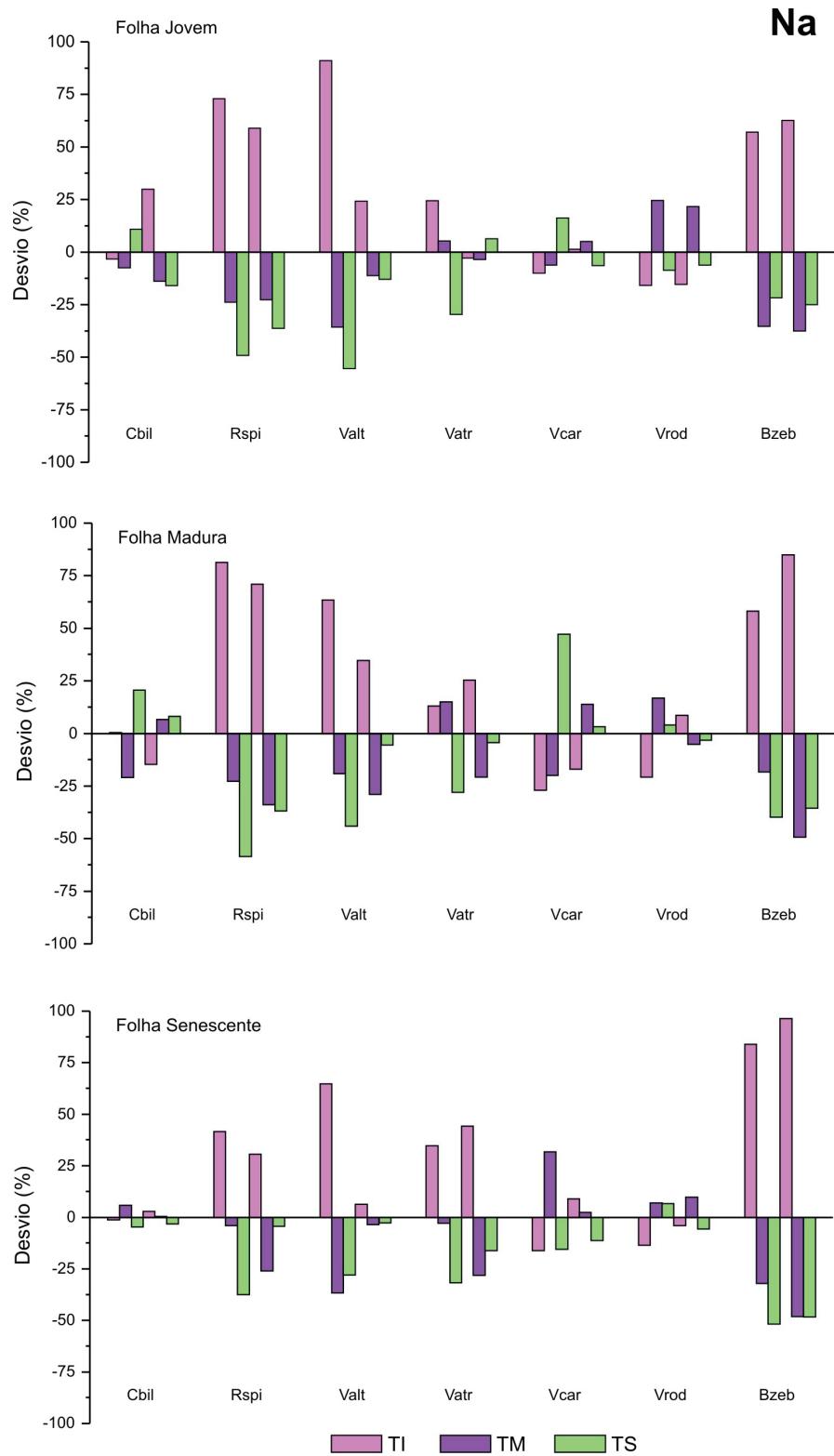
Figura 4.35 Desvios relativos calculados entre os resultados de K nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)



**Figura 4.36** Desvios relativos calculados entre os resultados de Rb nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

Os desvios para os resultados de Na foram menores para *Canistropsis billbergioides*, *Vriesea atra*, *Vriesea carinata* e *Vriesea rodigasiana*, enquanto *Racinaea spiculosa*, *Vriesea altodaserrae* e *Billbergia zebrina* apresentaram grande variabilidade entre os resultados dos terços das folhas, independentemente do estádio vegetacional (Figura 4.37). No geral, as maiores concentrações foram observadas nos terços inferiores das folhas. Em plantas com metabolismo ácido das crassuláceas (CAM), como ocorre para a maioria das bromélias (ZOTZ; HIETZ, 2001), sódio parece não ter função fisiológica claramente definida. Entretanto, em plantas que possuem via fotossintética C4, pode serativamente absorvido, substituindo parcialmente K no processo osmótico (RAVEN; EVERET; EICHHORN, 1996). Aparentemente, Na é absorvido pelos tricomas foliares presentes no terço inferior das folhas dos tanques das bromélias e, devido à ausência de papel fisiológico específico, não é translocado para os terços mais jovens.

Por ser elemento enzimático, zinco foi grandemente acumulado nos terços superiores das folhas das *Vriesea altodaserrae* e *Vriesea atra*, enquanto nas outras espécies mostrou menor variabilidade na distribuição (Figura 4.38). Por ser constituinte ou ativador de muitas enzimas, entre elas a anidrase carbônica (MALAVOLTA, 2006), participante no processo de fotossíntese, Zn tende a apresentar maior acúmulo no terço superior das folhas, como aconteceu para K (Figura 4.35). Entretanto, ao contrário de K, Zn não é facilmente remobilizado das partes com mais idade (MALAVOLTA, 2006), sendo pouco móvel na planta.



**Figura 4.37** Desvios relativos calculados entre os resultados de Na nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

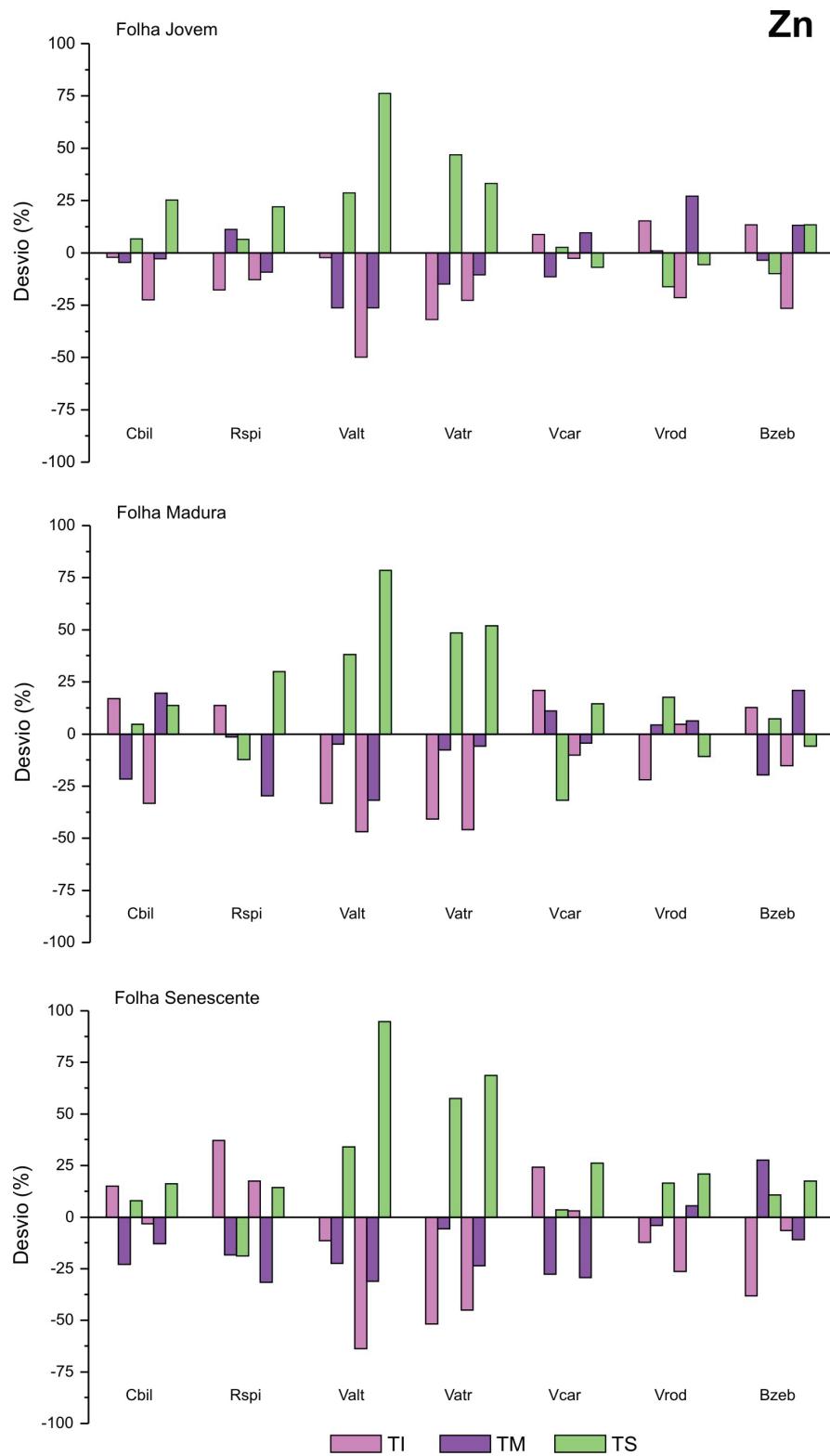


Figura 4.38 Desvios relativos calculados entre os resultados de Zn nos terços inferior (TI), médio (TM) e superior (TS) das folhas e a média estimada por terço das plantas (folha jovem, madura e senescente)

Considerando-se todos os elementos, os terços médios das folhas apresentaram resultados com menores desvios, ou seja, mais próximos do valor médio das folhas. Os elementos Br, Ca, Cs, K, Rb, Sr e Zn concentraram-se preferencialmente nos terços superiores; Co, Fe, Na e Sc apresentaram maiores valores nos terços inferiores das folhas, enquanto Ce não mostrou uma tendência clara na sua distribuição nas folhas. Observou-se, portanto, a propensão de acúmulo no terço superior para os elementos relacionados com os mais importantes processos bioquímicos. Considerando as sete espécies avaliadas, *Canistropsis billbergioides* apresentou a menor variabilidade entre os terços, indicando uma distribuição mais homogênea dos elementos nas diferentes posições amostradas das folhas.

## 5 CONCLUSÕES

Dentre os estudos realizados, isto é, (I) a avaliação da composição química de bromélias nos diversos tipos vegetacionais, (II) a avaliação da composição química das diferentes espécies de bromélias, (III) a avaliação da contribuição dos modos nutricionais (tanque e atmosférico) e dos modos de crescimento (epifítico e terrícola) para a composição química de folhas de bromélias nativas, (IV) o efeito da lavagem sobre os elementos químicos presentes nas partículas de solo contaminante das folhas e (V) a avaliação da amostragem sustentável, incluindo a variabilidade da composição química nos fragmentos tomados nos diferentes terços das folhas e terços das plantas, foi possível concluir que:

- 🕒 as bromélias apresentaram diferenças quanto à composição química de acordo com as unidades de conservação estudadas Parque Estadual Carlos Botelho (PECB), Parque Estadual Ilha do Cardoso (PEIC), Estação Ecológica de Assis (EEA) e Estação Ecológica dos Caetetus (EEC). As evidências mais claras foram obtidas para Br e Na, cujas concentrações foram muito mais elevadas nas áreas com influência oceânica, ou seja, PEIC e PECB, independentemente da espécie estudada
- 🕒 as espécies não demonstraram um padrão único na distribuição dos elementos químicos, mesmo para as bromélias ocorrentes numa mesma área de estudo, corroborando uma composição química inerente de cada espécie
- 🕒 a espécie *Canistropsis billbergioides* foi identificada como acumuladora de elementos químicos, sendo indicada para avaliar a qualidade ambiental quanto à composição química de florestas tropicais

- 🌿 bromélias atmosféricas, como as espécies *Tillandsia recurvata*, *Tillandsia loliacea* e *Tillandsia tricholepis* forneceram uma indicação da disponibilidade de elementos químicos da atmosfera nas unidades de conservação EEA e EEC
- 🌿 a presença de tanque na bromélia *Billbergia zebrina* aparentemente garantiu maior eficiência na absorção de elementos químicos considerados essenciais para plantas, como Ca, K e Zn.
- 🌿 folhas de *Vriesea carinata* apresentaram concentrações levemente maiores no modo epífítico quando comparadas com o modo terrícola
- 🌿 a espécie atmosférica *T. recurvata* teve as maiores concentrações para os elementos químicos terrígenos Ce, Fe e Sc, devido à densa camada de tricomas presentes na superfície foliar, que dificultou a remoção das partículas aderidas
- 🌿 o procedimento de lavagem testado removeu eficientemente o material exógeno da superfície das folhas sem lixiviação de elementos químicos do interior do tecido, fornecendo dados de melhor qualidade sobre a composição química inerente das bromélias. O procedimento de lavagem reduziu significativamente as concentrações de Br, Ce, Hg, Sc, Se e Th nas folhas das bromélias
- 🌿 a amostragem sustentável proporcionou resultados comparáveis com a amostragem usual, principalmente para o terço inferior da planta que mostrou concentrações similares para nove dos doze elementos avaliados, ou seja, Br, Ca, Cs, Fe, K, Na, Sc, Sr e Zn

- ¶ para alguns elementos, a amostragem sustentável forneceu resultados mais confiáveis, dada a redução do número de etapas no processo de preparo de amostras, minimizando possíveis fontes de contaminação, o que ficou evidenciado por valores mais elevados de Co e Fe na amostragem usual
- ¶ quanto aos terços das plantas, nas folhas senescentes foram observados valores maiores para os elementos considerados de baixa mobilidade, como é o caso de Ca, Co, Fe e Zn. Elementos de alta mobilidade, como K, apresentaram maiores concentrações nas folhas jovens
- ¶ quanto aos terços das folhas, no ápice (terço superior) foi verificada tendência de acúmulo de elementos químicos relacionados com atividades fotossintéticas, como é o caso de K e Zn, enquanto elementos provenientes da contaminação superficial apresentaram maior acúmulo no terço inferior
- ¶ o acompanhamento temporal de algumas bromélias estudadas permitiu demonstrar a sustentabilidade da amostragem com discos em unidades de conservação, uma vez que não acarretou impacto às plantas.

## REFERÊNCIAS

- ADAMS III, W. W.; MARTIN, C. E. Morphological changes accompanying the transition from juvenile (atmospheric) to adult (tank) forms in the Mexican epiphyte *Tillandsia deppeana* (Bromeliaceae). **American Journal of Botany**, New York, v.73, n.8, p.1207-1214, 1986.
- ALCÂNTARA, A. **Mar de dentro**. São Paulo: TOP Magazine, 2006. 136p.
- ALFASSI, Z. B. **Chemical analysis by nuclear methods**, John Wiley & Sons, 1994. 556p.
- ALVES, E. S.; MOURA, B. B.; DOMINGOS, M. Structural analysis of *Tillandsia usneoides* L. exposed to air pollutants in São Paulo City–Brazil. **Water, Air and Soil Pollution**, Guelph, v.189, n.1-4, p.61-68, 2008.
- AMADO FILHO, G. M.; ANDRADE, L. R.; FARINA, M.; MALM, O. Hg localisation in *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), an atmospheric biomonitor. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.36, n.5, p.881-887, 2002.
- ANDRADE, M. A. R. **Recurso floral para aves em uma comunidade de Mata Atlântica de encosta: sazonalidade e distribuição vertical**. 2006. 118p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.
- ARMBRUSTER, P.; HUTCHINSON, R. A.; COTGREAVE, P. Factors influencing community structure in a South American tank bromeliad fauna. **Oikos**, Kobenhavn, v.96, n.2, p.225-234, 2002.
- BACCHI, M. A.; FERNANDES, E. A. N.; OLIVEIRA, H. A. Brazilian experience on  $k_0$  standardized neutron activation analysis. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.245, n.1, p.217-222, 2000.
- BACCHI, M. A.; FERNANDES, E. A. N. Quantu - design and development of a software package dedicated to  $k_0$ -standardized INAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.257, n.3, p.577-582, 2003.
- BARGAGLI, R. The elemental composition of vegetation and the possible incidence of soil contamination of samples. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.176, n.1-3, p.121-128, 1995.
- BATTIROLA, L. D.; MARQUES, M. I.; ADIS, J.; DELABIE, J. H. C. Composição da comunidade de Formicidae (Insecta, Hymenoptera) em copas de *Attalea phalerata* Mart. (Arecaceae), no Pantanal de Poconé, Mato Grosso, Brasil. **Revista Brasileira de Entomologia**, Curitiba, v.49, n.1, p.107-117, 2005.
- BENZING, D. H. An investigation of two bromeliad myrmecophytes: *Tillandsia butzii* Mez, *T. caput-medusae* E. Morren, and their ants. **Bulletin of the Torrey Botanical Club**, New York, v.97, n.2, p.109-115, 1970.
- BENZING, D. H.; RENFROW, A. The mineral nutrition of Bromeliaceae. **Botanical Gazette**, Chicago, v.135, n.4, p.281-288, 1974.
- BENZING, D. H.; HENDERSON, K.; KESSEL, B.; SULAK, J. The absorptive capacities of bromeliad trichomes. **American Journal of Botany**, New York, v.63, n.7, p.1009-1014, 1976.

BENZING, D. H.; SEEMANN, J.; RENFROW, A. The foliar epidermis in Tillandsioideae (Bromeliaceae) and its role in habitat selection. **American Journal of Botany**, New York, v.65, n.3, p.359-365, 1978.

BENZING, D. H.; GIVNISH, T. J.; BERMUDES, D. Absorptive trichomes in *Brocchinia reducta* (Bromeliaceae) and their evolutionary and systematic significance. **Systematic Botany**, Notre Dame, v.10, n.1, p.81-91, 1985.

BENZING, D. H. Vascular epiphytism: taxonomic participation and adaptive diversity. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, Saint Louis, v.74, n.2, p.183-204, 1987.

BENZING, D. H. **Vascular epiphytes**: general biology and related biota. Cambridge: Cambridge University Press, 1990. 354p.

BENZING, D. H. Vascular epiphytes. In: LOWMAN, M.; BRUCE RINKER, H. **Forest canopies**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004. p.175-211.

BERGAMASCHI, L.; RIZZIO, E.; GIAVERI, G.; PROFUMO, A.; LOPPI, S.; GALLORINI, M. Determination of baseline element composition of lichens using samples from high elevations. **Chemosphere**, Oxford, v.55, n.7, p.933-939, 2004.

BERNARDI, J. V. E.; LANDIM, P. M. B.; BARRETO, C. L.; MONTEIRO, R. C. Estudo espacial do gradiente de vegetação do Parque Estadual Ilha do Cardoso, SP, Brasil. **Holos Environment**, Rio Claro, v.5, n.1, p.1-22, 2005.

BODE, P.; FERNANDES, E. A. N.; GREENBERG, R. R. Metrology for chemical measurements and the position of INAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.245, n.1, p.109-114, 2000.

BONNET, A. **Caracterização fitossociológica das bromélias epífitas e suas relações com os fatores ambientais na planície do rio Iguaçu, Paraná, Brasil**. 2006. 359p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

BONNET, A.; QUEIROZ, M. H. Estratificação vertical de bromélias epífitas em diferentes estádios sucessionais da floresta ombrófila densa, Ilha de Santa Catarina, Santa Catarina, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.29, n.2, p.217-228, 2006.

BORGES, M.; SILVA, S. M. Epífitos vasculares em fragmentos de floresta ombrófila mista, Curitiba, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.26, n.3, p.391-401, 2003.

BREIER, T. B. **O epifitismo vascular em florestas do Sudeste do Brasil**. 2005. 139p. Tese (Doutorado em Biologia Vegetal) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

BRIGHIGNA, L.; MONTAINI, P.; FAVILLI, F.; TREJO, A. C. Role of the nitrogen-fixing bacterial microflora in the epiphytism of *Tillandsia* (Bromeliaceae). **American Journal of Botany**, New York, v.79, n.7, p.723-727, 1992.

BRIGHIGNA, L.; RAVANELLI, M.; MINELLI, A.; ERCOLI, L. The use of an epiphyte (*Tillandsia caput-medusae morren*) as bioindicator of air pollution in Costa Rica. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.198, n.2, p.175-180, 1997.

BROWN, G. K.; GILMARTIN, A. J. Stigma structure and variation in Bromeliaceae - neglected taxonomic characters. **Brittonia**, New York, v.36, n.4, p.364-374, 1984.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MEASURES - BIPM. Consultative committee for amount of substance: metrology in chemistry - CCQM. In: MEETING OF THE COMMITTEE FOR WEIGHTS AND MEASURES, 13., 2007, Sèvres. p.7-9.

BUREAU INTERNATIONAL DES POIDS ET MEASURES - BIPM. **International Vocabulary of Metrology - Basic and General Concepts and Associated Terms - VIM**. 3. ed. Sèvres: JCGM 200, 2008. 90p.

CALASANS, C. F.; MALM, O. Elemental mercury contamination survey in a chlor-alkali plant by the use of transplanted Spanish moss, *Tillandsia usneoides* (L.). **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.208, n.3, p.165-177, 1997.

CALLAWAY, R. M.; REINHART, K. O.; TUCKER, S. C.; PENNINGS, S. C. Effects of epiphytic lichens on host preference of the vascular epiphyte *Tillandsia usneoides*. **Oikos**, Kobenhavn, v.94, n.3, p.433-441, 2001.

CARRERAS, H. A.; PIGNATA, M. L. Comparison among air pollutants, meteorological conditions and some chemical parameters in the transplanted lichen *Usnea ambloclada*. **Environmental Pollution**, London, v.111, n.1, p.45-52, 2001.

CARVALHO, L. C. **A importância e a beleza das bromélias**. Disponível em: <<http://www.bioletim.hpg.ig.com.br/III-3/Artigos/carvalho.htm>>. Acesso em: 22 jun. 2008.

CHIARENZELLI, J.; ASPLER, L.; DUNN, C.; COUSENS, B.; OZARKO, D.; POWIS, K. Multi-element and rare earth element composition of lichens, mosses, and vascular plants from the Central Barrenlands, Nunavut, Canada. **Applied Geochemistry**, Oxford, v.16, n.2, p.245-270, 2001.

COGLIATTI-CARVALHO, L.; FREITAS, A. F. N.; ROCHA, C. F. D.; VAN SLUYS, M. Variação na estrutura e na composição de Bromeliaceae em cinco zonas de restinga no Parque Nacional da Restinga de Jurubatiba, Macaé, RJ. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.1, p.1-9, 2001.

COSTA, A. F.; WENDT, T. *Bromeliaceae* na região de Macaé de Cima, Nova Friburgo, Rio de Janeiro, Brasil. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.58, n.4, p.905-939, 2007.

COSTA NETO, J. B.; MARETTI, C. C.; LINO, C. F.; ALBUQUERQUE, J. L. R. **A Reserva da biosfera da Mata Atlântica no Estado de São Paulo**. São Paulo: Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, 1997. 44p.

CRAYN, D. M.; WINTER, K.; SMITH, J. A. C. Multiple origins of crassulacean acid metabolism and the epiphytic habit in the neotropical family Bromeliaceae. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA**, Washington, v.101, n.10, p.3703-3708, 2004.

CHRISTOPHER, J. T.; HOLTUM, J. A. M. Carbohydrate partitioning in the leaves of Bromeliaceae performing C3 photosynthesis or crassulacean acid metabolism. **Australian Journal of Plant Physiology**, Melbourne, v.25, n.3, p.371-376, 1998.

DE CORTE, F. The standardization of standardless NAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.248, n.1, p.13-20, 2001.

DEJEAN, A.; OLMSTED, I.; SNELLING, R. R. Tree-epiphyte-ant relationships in the low inundated forest of Sian Ka'an Biosphere Reserve, Quintana Roo, Mexico. **Biotropica**, Washington, v.27, n.1, p.57-70, 1995.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SAITO, M.; BAITELLO, J. B. Estrutura e diversidade do componente arbóreo da floresta na Estação Ecológica dos Caetetus, Gália, SP. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.23, n.3, p.361-373, 2000.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F.; FRANCO, G. A. D. C.; BRIDGEWATER, S.; RATTER, J. A. The vegetation of priority areas for Cerrado conservation in São Paulo State, Brazil. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v.60, n.2, p.217-241, 2003.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SIQUEIRA, M. F. A vegetação dos remanescentes de cerrado no estado de São Paulo. In: BITENCOURT, M. D.; RAMOS, R. **Viabilidade de Conservação dos Remanescentes de Cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo: Annablume, 2005, p.29-56.

DURIGAN, G.; SIQUEIRA, M. F.; FRANCO, G. A. D. C. Threats to the Cerrado remnants of the State of São Paulo, Brazil. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.4, p.355-363, 2007.

DYBCZYŃSKI, R.; DANKO, B.; KULISA, K.; MALESZEWSKA, E.; POLKOWSKA-MOTRENKO, H.; SAMCZYŃSKI, Z.; SZOPA, Z. **Preparation and certification of the Polish reference material: Tea Leaves (INCT-TL-1) for inorganic trace analysis**. Warszawa: Institute of Nuclear Chemistry and Technology, 2002. 56p. (Raporty IChTJ Seria A, 3/2002).

EHMANN, W. D.; VANCE, D. E. **Radiochemistry and nuclear methods of analysis**, Amsterdam: John Wiley & Sons, 1991. 531p.

ELIAS, C.; FERNANDES, E. A. N.; FRANÇA, E. J.; BACCHI, M. A. Seleção de epífitas acumuladoras de elementos químicos na Mata Atlântica. **Biota Neotropica**, Campinas, v.6, n.1, 2006.

ENDRES, L.; MERCIER, H. Amino acid uptake and profile in bromeliads with different habits cultivated *in vitro*. **Plant Physiology and Biochemistry**, Paris, v.41, n.2, p.181-187, 2003.

ENGWALD, S.; SCHMIT-NEUERBURG, V.; BARTHLOTT, W. Epiphytes in rain forests of Venezuela - diversity and dynamics of a biocenosis. In: SYMPOSIUM BY THE A.F.W SCHIMPER-FOUNDATION, 1., 1998, Hoheneim. **Proceedings...** Stuttgart: Verlag Günter Heimbach, 2000. p.425-434.

FERNANDES, E. A. N. Scandium as tracer in the sugar and alcohol agroindustry. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.168, n.1, p.41-46, 1993.

FERNANDES, E. A. N. Dirt in cane removal influenced by soil characteristics. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.216, n.2, p.285-288, 1997.

FERRARI, A. A.; FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A. Surface contamination effects on leaf chemical composition in the Atlantic Forest. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.270, n.1, p.69-73, 2006.

FERREIRA, M. E.; FERREIRA JÚNIOR, L. G.; FERREIRA, N. C.; ROCHA, G. F.; NEMAYER, M. Desmatamentos no bioma Cerrado: uma análise temporal (2001-2005) com base nos dados MODIS - MOD13Q1. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p.3877-3883.

FIGUEIREDO, A. M. G.; SAIKI, M.; TICIANELLI, R. B.; DOMINGOS, M.; ALVES, E. S.; MARKET, B. Determination of trace elements in *Tillandsia usneoides* by neutron activation analysis for environmental biomonitoring. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.49, n.2, p.391-395, 2001.

FIGUEIREDO, A. M. G.; ALCALÁ, A. L.; TICIANELLI, R. B.; DOMINGOS, M.; SAIKI, M.; The use of *Tillandsia usneoides* L. as bioindicator of air pollution in São Paulo, Brazil. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.259, n.1, p.59-63, 2004.

FIGUEIREDO, A. M. G.; NOGUEIRA, C. A.; SAIKI, M.; MILIAN, F. M.; DOMINGOS, M. Assessment of atmospheric metallic pollution in the metropolitan region of São Paulo, Brazil, employing *Tillandsia usneoides* L. as biomonitor. **Environmental Pollution**, London, v.145, n.1, p.279-292, 2007.

FINA, B. G. **Florística e fitossociologia em uma área de cerradão, município de Pirassununga, SP.** 1999. 90p. Dissertação (Mestrado em Entomologia) - Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1999.

FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A.; TAGLIAFERRO, F. S. Pathway of rare-earth elements in a Brazilian forestry fragment. **Journal of Alloys and Compounds**, Lausanne, v.344, n.1-2, p.21-26, 2002.

FRANÇA, E. J.; BACCHI, M. A.; FERNANDES, E. A. N.; GANDOLFI, S. Mata de Santa Genebra, SP, Brazil: Can mineral cycling in urban forestry fragment reveal anthropogenic activities? In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON BIOMONITORING OF ATMOSPHERIC POLLUTION (WITH EMPHASIS ON TRACE ELEMENTS), 2., 2000, Praia da Vitória. **Proceedings...** Vienna: IAEA, 2003. p.308-316. (IAEA - TECDOC, 1338).

FRANÇA, E. J.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A. Ni-Cr alloy as neutron flux monitor: composition and homogeneity assessment by NAA. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.257, n.1, p.113-115, 2003.

FRANÇA, E. J. **A biomonitoração da Mata Atlântica na conservação da biodiversidade: Espécies arbóreas nativas acumuladoras de elementos químicos.** 2006. 362p. Tese (Doutorado Direto em Ecologia Aplicada) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

FUGA, A.; SAIKI, M.; MARCELLI, M. P.; SALDIVA, P. H. Atmospheric pollutants monitoring by analysis of epiphytic lichens. **Environmental Pollution**, London, v.151, n.2, p.334-340, 2008.

GARTH, R. E. The ecology of Spanish Moss (*Tillandsia usneoides*): Its growth and distribution. **Ecology**, Brooklyn, v.45, n.3, p.470-481, 1964.

GENTRY, A. H.; DODSON, C. Contribution of nontrees to species richness of a tropical rain forest. **Biotropica**, Washington, v.19, n.2, p.149-156, 1987a.

GENTRY, A. H.; DODSON, C. Diversity and biogeography of neotropical vascular epiphytes. **Annals of the Missouri Botanical Garden**, Saint Louis, v.74, n.2, p.205-233, 1987b.

GILMARTIN, A. J. Evolution of mesic and xeric habits in *Tillandsia* and *Vriesea* (Bromeliaceae). **Systematic Botany**, Notre Dame, v.8, n.3, p.233-242, 1983.

GILMARTIN, A. J.; BROWN, G. K. Cladistic tests of hypotheses concerning evolution of xerophytes and mesophytes within *Tillandsia* Subg. *Phytorrhiza* (Bromeliaceae). **American Journal of Botany**, New York, v.73, n.3, p.387-397, 1986.

GILMARTIN, A. J.; BROWN, G. K. Bromeliales, related monocots, and resolution of relationships among Bromeliaceae subfamilies. **Systematic Botany**, Notre Dame, v.12, n.4, p.493-500, 1987.

GOMES, F. H.; VIDAL-TORRADO, P.; MACÍAS, F.; GHERARDI, B.; PEREZ, X. L. O. Solos sob vegetação de restinga na Ilha do Cardoso (SP). I - Caracterização e classificação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.31, n.6, p.1563-1580, 2007.

HASLETT, B. S.; REID, R. J.; RENGEL, Z. Zinc mobility in wheat: Uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. **Annals of Botany**, Oxford, v.87, n.3, p.379-386, 2001.

HAYNES, R. J.; GOH, K. M. Review on physiological pathways of foliar absorption. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.7, n.4, p.291-302, 1977.

HAZEN, W. E. Analysis of spatial pattern in epiphytes. **Ecology**, Brooklyn, v.47, n.4, p.634-635, 1966.

HIETZ, P.; HIETZ-SEIFERT, U. Composition and ecology of vascular epiphyte communities along an altitudinal gradient in central Veracruz, Mexico. **Journal of Vegetation Science**, Uppsala, v.6, n.4, p.487-498, 1995.

HINTON, T. G.; KOPP, P.; IBRAHIM, S.; BUBRYAK, I.; SYOMOV, A.; TOBLER, L.; BELL, C. A comparison of techniques used to estimate the amount of resuspended soil on plant surfaces. **Health Physics**, New York, v.68, n.4, p.523-531, 1995.

HOELTGEBAUM, M. P. **Composição florística e distribuição espacial de bromélias epífitas em diferentes estádios sucessionais da floresta ombrófila densa – Parque Botânico do Morro Baú – Ilhota/SC**. 2003. 138p. Dissertação (Mestrado em Biologia Vegetal) - Centro de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

HUSK, G. J.; WEISHAMPEL, J. F.; SCHLESINGER, W. H. Mineral dynamics in Spanish Moss, *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae), from Central Florida, USA. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.321, n.1-3, p.165-172, 2004.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY - IAEA. **Practical aspects of operating a neutron activation analysis laboratory**. Vienna: IAEA, 1990. 251p. (IAEA - TECDOC, 564).

INTERNATIONAL UNION OF PURE AND APPLIED CHEMISTRY – IUPAC. **Gold Book**, 2008. Disponível em: <<http://goldbook.iupac.org.br/about.html>>. Acesso em: 7 jul. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - IBAMA. **Ecossistemas brasileiros.** Disponível em: <[http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/mata\\_atlantica.htm](http://www.ibama.gov.br/ecossistemas/mata_atlantica.htm)>. Acesso em: 8 jun. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL - INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia.** 4. ed. revisada. Rio de Janeiro, 2007. 72p.

INSELSBACHER, E.; CAMBUI, C. A.; RICHTER, A.; STANGE, C. F.; MERCIER, H.; WANEK, W. Microbial activities and foliar uptake of nitrogen in the epiphytic bromeliad *Vriesea gigantea*. **New Phytologist**, London, v.175, n.2, p.311-320, 2007.

IZAR, P. **Aspectos de ecologia e comportamento de um grupo de macacos-prego (*Cebus apella*) em área de Mata Atlântica, São Paulo.** 1999. 144p. Tese (Doutorado em Psicologia Experimental) - Instituto de Psicologia, Universidade de São Paulo, 1999.

KABATA-PENDIAS, A. **Trace elements in soils and plants.** 3. ed. Florida: Boca Raton, 2001. 413p.

KERNAN, C.; FOWLER, N. Differential substrate use by epiphytes in Corcovado National Park, Costa Rica: A source of guild structure. **The Journal of Ecology**, Oxford, v.83, n.1, p.65-73, 1995.

KERSTEN, R. A.; SILVA, S. M. Composição florística do componente epífítico vascular em floresta da planície litorânea na Ilha do Mel, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.24, n.2, p.213-226, 2001.

KERSTEN, R. A. **Epifitismo vascular na bacia do Alto Iguaçu, Paraná.** 2006. 218p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado brasileiro. **Megadiversidade**, Belo Horizonte, v.1, n.1, p.147-155, 2005.

KROMMER, V.; ZECHMEISTER, H. G.; RODER, I.; SCHARF, S.; HANUS-ILLNAR, A. Monitoring atmospheric pollutants in the biosphere reserve Wienerwald by a combined approach of biomonitoring methods and technical measurements. **Chemosphere**, Oxford, v.67, n.10, p.1956-1966, 2007.

LEIGH, R. A.; WYN JONES, R. G. A hypothesis relating critical potassium concentrations for growth to the distribution and functions of this ion in the plant cell. **New Phytologist**, London, v.97, n.1, p.1-13, 1984.

LEITÃO FILHO, H. F. Considerações sobre a florística de florestas tropicais e sub-tropicais do Brasil. **Revista do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n.35, p.41-46, 1987.

LEME, E. M.; MARIGO, L. C. **Bromélias na natureza.** Rio de Janeiro: Marigo Comunicação Visual, 1993. 183p.

LEME, E. M. C. **Canistrum – Bromélias da Mata Atlântica.** Rio de Janeiro: Salamandra, 1997. 107p.

LINDSTROM, R. M.; BYRNE, A. R.; BECKER, D. A.; SMODIŠ, B.; GARRITY, K. M. Characterization of the mineral fraction in botanical reference materials and its influence on homogeneity and analytical results. **Fresenius' Journal of Analytical Chemistry**, Heidelberg, v.338, n.4, p.569-571, 1990.

LINO, C. F. **A Mata Atlântica que conhecemos**. Reserva da Biosfera da Mata Atlântica, dez. 2002. Disponível em: <[http://www.rbma.org.br/anuario/mata\\_02\\_dma.asp](http://www.rbma.org.br/anuario/mata_02_dma.asp)>. Acesso em: 8 jun. 2008.

LITTLE, P. A study of heavy metal contamination of leaf surfaces. **Environmental Pollution**, London, v.5, n.3, p.159-172, 1973.

LÜTTGE, U. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism (CAM). **Annals of Botany**, Oxford, v.93, n.6, p.629-652, 2004.

MAAS, F. M.; van de WETERING, D. A. M.; van BEUSICHEM, M. L.; BIENFAIT, H. F. Characterization of phloem iron and its possible role in the regulation of Fe-efficiency reactions. **Plant Physiology**, Rockville, v.87, n.1, p.167-171, 1988.

MACHADO, R. B.; RAMOS NETO, M. B.; PEREIRA, P. G. P.; CALDAS, E. F.; GONÇALVES, D. A.; SANTOS, N. S.; TABOR, K.; STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro**. Brasília: Conservação Internacional, 2004. 25p. (Relatório Técnico).

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Agronômica Ceres, 2006. 638p.

MANTOVANI, A.; IGLESIAS, R. R. Quando aparece a primeira escama? Estudo comparativo sobre o surgimento de escamas de absorção em três espécies de bromélias terrestres de restinga. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.56, n.87, p.73-84, 2005.

MARKERT, B. Sample preparation (cleaning, drying, homogenization) for trace element analysis in plant matrices. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.176, n.1-3, p.45-61, 1995.

MARKERT, B. Distribution and biogeochemistry of inorganic chemicals in the environment. In: SCHÜÜRMANN, G.; MARKERT, B. **Ecotoxicology**. Amsterdam: John Wiley & Sons, 1998. p.165-222.

MARKERT, B.; WAPPELHORST, O.; WECKERT, V.; HERPIN, U.; SIEWERS, U.; FRIESE, K.; BREULMANN, G. The use of bioindicators for monitoring the heavy-metal status of the environment. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.240, n.2, p.425-429, 1999.

MARKERT, B.; WUENSCHMANN, S.; FRAENZLE, S.; WAPPELHORST, O.; WECKERT, V.; BREULMANN, G.; DJINGOVA, R.; HERPIN, U.; LIETH, H.; SCHRÖDER, W.; SIEWERS, U.; STEINNES, E.; WOLTERBEEK, B.; ZECHMEISTER, H. On the road from environmental biomonitoring to human health aspects: monitoring atmospheric heavy metal deposition by epiphytic/epigeic plants: present status and future needs. **International Journal of Environment and Pollution**, Geneva, v.32, n.4, p.486-498, 2008.

MARTIN, C. E. Physiological ecology of the Bromeliaceae. **The Botanical Review**, Lancaster, v.60, n.1, p.1-82, 1994.

MARTINELLI, G.; AZOURY, R. The bromeliads of the Atlantic Forest. **Scientific American Magazine**, New York, v. 282, n.3, p.86-93, mar. 2000.

MATTOS, I. F. A.; ROSSI, M.; SILVA, D. A.; PFEIFER, R. M. Levantamento do meio biofísico e avaliação da fragilidade do ecossistema na Estação Ecológica dos Caetetus - SP. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 1., 1996, Uberlândia. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.8, n.15, p.388-393, 1996.

MEDINA, E. Dark CO<sub>2</sub> fixation, habitat preference and evolution within the Bromeliaceae. **Evolution**, Lancaster, v.28, n.4, p.677-686, 1974.

MELO, A. C. G.; DURIGAN, G.; GORENSTEIN, M. R. Efeito do fogo sobre o banco de sementes em faixa de borda de floresta estacional semidecidual, SP, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, São Paulo, v.21, n.4, p.927-934, 2007.

MERWLN, M. C.; RENTMEESTER, S. A.; NADKARNI, N. M. The influence of host tree species on the distribution of epiphytic bromeliads in experimental monospecific plantations, La Selva, Costa Rica. **Biotropica**, Washington, v.35, n.1, p.37-47, 2003.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE – MMA. **Primeiro relatório nacional para a convenção sobre diversidade biológica**: Brasil. Brasília: MMA, 1998. 283p.

MIYAMOTO, Y.; KAJIKAWA, A.; ZAIDI, J. H.; NAKANISHI, T.; SAKAMOTO, K. Reply to the comment by A. Wyttenbach and L. Tobler and correction for errata on "Minor and trace element determination of food spices and pulses of different origins by NAA and PAA". **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.247, n.2, p.459-463, 2001.

MOREIRA, B. A.; WANDERLEY, M. G. L.; CRUZ-BARROS, M. A. V. **Bromélias**: importância ecológica e diversidade. São Paulo: Instituto de Botânica, Programa de Pós Graduação em Biodiversidade Vegetal e Meio Ambiente, 2006. 12p.

MYERS, N.; MITTERMEIER, R. A.; MITTERMEIER, C. G.; FONSECA, G. A. B.; KENT, J. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, London, v.403, p.853-858, 2000.

NADKARNI, N. M. Epiphyte biomass and nutrient capital of a neotropical Elfin Forest. **Biotropica**, Washington, v.16, n.4, p.249-256, 1984.

NADKARNI, N. M.; MATELSON, T. J. Bird use of epiphyte resources in neotropical trees. **The Condor**, Santa Clara, v.91, n.4, p.891-907, 1989.

NADKARNI, N. M.; MATELSON, T. J. Fine litter dynamics within the tree canopy of a tropical cloud forest. **Ecology**, Brooklyn, v.72, n.6, p.2071-2082, 1991.

NADKARNI, N. M.; MATELSON, T. J. Biomass and nutrient dynamics of epiphytic litterfall in a neotropical montane forest, Costa-Rica. **Biotropica**, Washington, v.24, n.1, p.24-30, 1992.

NADKARNI, N. M. Diversity of species and interactions in the upper tree canopy of forest ecosystems. **American Zoologist**, McLean, v.34, n.1, p.70-78, 1994.

NADKARNI, N. M.; MERWLN, M. C.; NIEDER, J. Forest canopies: plant diversity. In: LEVIN, S. A. **Encyclopedia of biodiversity**. San Diego: Academic Press, 2001. v.3, p.27-40.

NAVES-BARBIERO, C. C.; FRANCO, A. C.; BUCCI, S. J.; GOLDSTEIN, G. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerradão. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Londrina, v.12, n.2, p.119-134, 2000.

NOGUEIRA, C. A. **Avaliação da poluição atmosférica por metais na região metropolitana de São Paulo utilizando a bromélia *Tillandsia usneoides* L. como biomonitor**. 2006. 110p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

NUNES-FREITAS, A. F.; ROCHA-PESSÔA, T. C.; COGLIATTI-CARVALHO, L.; ROCHA, C. F. D. Bromeliaceae da restinga da Reserva Biológica Estadual da Praia do Sul: composição, abundância e similaridade da comunidade. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v.20, n.3, p.709-717, 2006.

NYMAN, L. P.; DAVIS, J. P.; O'DELL, S. J.; ARDITTI, J.; STEPHENS, G. C.; BENZING, D. H. Active uptake of amino acids by leaves of an epiphytic vascular plant, *Tillandsia paucifolia* (Bromeliaceae). **Plant Physiology**, Rockville, v.83, n.3, p.681-684, 1987.

NAYYAR, H. Calcium as environmental sensor in plants. **Current science**, Bangalore, v.84, n.7, p.893-902, 2003.

OLIVEIRA, R. R. Importância das bromélias epífitas na ciclagem de nutrientes da Floresta Atlântica. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v.18, n.4, p.793-799, 2004.

OLIVEIRA-FILHO, A. T.; FONTES, M. A. L. Patterns of floristic differentiation among Atlantic Forests in Southeastern Brazil and the influence of climate. **Biotropica**, Washington, v.32, n.4, p.793-810, 2000.

PALIT, S.; SHARMA, A.; TALUKDER, G. Effects of cobalt on plants. **The Botanical Review**, Lancaster, v.60, n.2, p.149-181, 1994.

PIGNATA, M. L.; GUDIÑO, G. L.; WANNAZ, E. D.; PLÁ, R. R.; GONZÁLEZ, C. M.; CARRERAS, H. A.; ORELLANA, L. Atmospheric quality and distribution of heavy metals in Argentina employing *Tillandsia capillaris* as a biomonitor. **Environmental Pollution**, London, v.120, n.1, p.59-68, 2002.

PINHEIRO, E. S.; KUX, H. J. H. Avaliação de imagens *quickbird*, numa seção da Mata Atlântica no Rio Grande do Sul: esboço metodológico. In: SEMINÁRIO DE ATUALIZAÇÃO EM SENSORIAMENTO REMOTO E SISTEMAS DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS APLICADOS À ENGENHARIA FLORESTAL, 5., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba, 2002. p.215-217.

PROSPERO, J. M.; OLMEZ, I.; AMES, M. Al and Fe in PM 2.5 and PM 10 suspended particles in South-Central Florida: the impact of the long range transport of African mineral dust. **Water, Air and Soil Pollution**, Guelph, v.125, n.1, p.291-317, 2001.

PYATT, F. B.; GRATTAN, J. P.; LACY, D.; PYATT, A. J.; SEWARD, M. R. D. Comparative effectiveness of *Tillandsia usneoides* L. and *Parmotrema praesorediosum* (nyl.) Hale as bioindicators of atmospheric pollution in Louisiana (U.S.A.). **Water, Air and Soil Pollution**, Guelph, v.111, n.1-4, p.317-326, 1999.

QUEVAUVILLER, Ph. Conclusions of the workshop - improvements of trace element determinations in plant matrices. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.176, n.1-3, p.141-148, 1995.

- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. 343p.
- RATTER, J. A.; BRIDGEWATER, S.; RIBEIRO, J. F. Analysis of the floristic composition of the Brazilian Cerrado vegetation III: comparison of the woody vegetation of 376 areas. **Edinburgh Journal of Botany**, Edinburgh, v.60, n.1, p.57-109, 2003.
- RAVEN, P. H.; EVERET, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1996. 728p.
- REIMANN, C.; KOLLER, F.; KASHULINA, G.; NISKAVAARA, H.; ENGLMAIER, P. Influence of extreme pollution on the inorganic chemical composition of some plants. **Environmental Pollution**, Londres, v.115, n.2, p.239-252, 2001.
- REITZ, R. **Bromélias**, 2007. Disponível em: <<http://pt.shvoong.com/exact-sciences/biology/1100027-bromelias/>>. Acesso em: 22 jun. 2008.
- REMSEN JÚNIOR, J. V.; PARKER III, T. A. Arboreal dead-leaf-searching birds of the neotropics. **The Condor**, Santa Clara, v.86, n.1, p.36-41, 1984.
- REYNOLDS, B. C.; HUNTER, M. D. Nutrient cycling. In: LOWMAN, M.; BRUCE RINKER, H. **Forest canopies**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2004. p.387-396.
- RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. **Bioma cerrado**. Vegetação florestal - Cerradão. Agência de Informação Embrapa. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 3 jul. 2008.
- RICHARDSON, B. A. The bromeliad microcosm and the assessment of faunal diversity in a neotropical forest. **Biotropica**, Washington, v.31, n.2, p.321-336, 1999.
- ROCHA, P. K. **Desenvolvimento de bromélias em ambientes protegidos com diferentes alturas e níveis de sombreamento**. 2002. 90p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- RODRIGUES, R. R. **A vegetação de Piracicaba e municípios do entorno**. Piracicaba: IPEF, 1999. 20p. (Circular Técnica, 189).
- RODRIGUES, R. R. **Parcelas permanentes em 40 ha de florestas do Estado de São Paulo**: uma experiência multidisciplinar. 4º Relatório Temático. Piracicaba:ESALQ/USP, 2006. 657p.
- ROMERO, G. Q. **Associações entre aranhas Salticidae e bromeliaceae: história natural, distribuição espacial e mutualismos**. 2005. 225p. Tese (Doutorado em Ecologia) - Instituto de Biologia, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- ROMERO, G. Q.; MAZZAFERA, P.; VASCONCELLOS-NETO, J.; TRIVELIN, P. C. O. Bromeliad-living spiders improve host plant nutrition and growth. **Ecology**, Brooklyn, v.87, n.4, p.803-808, 2006.
- RORIZ, A. **Bromélias**. 7. ed. São Paulo: Europa, 1992. 74p.
- SAS INSTITUTE INC. **SAS/STAT Guide for personal computers**. 6. ed. Cary: SAS Institute, 1996. 1028p.

SAZIMA, M.; BUZATO, S.; SAZIMA, I. Bat-pollinated flower assemblages and bat visitors at two Atlantic Forest sites in Brazil. **Annals of Botany**, Oxford, v.83, n.6, p.705-712, 1999.

SCATENA, V. L.; SEGECIN, S. Anatomia foliar de *Tillandsia* L. (Bromeliaceae) dos Campos Gerais, Paraná, Brasil. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.28, n.3, p.635-649, 2005.

SCUDELLER, V. V.; MARTINS, F. R.; SHEPHERD, G. J. Distribution and abundance of arboreal species in the Atlantic ombrophilous dense forest in Southeastern Brazil. **Plant Ecology**, Dordrecht, v.152, n.2, p.185-199, 2001.

SEGECIN, S.; SCATENA, V. L. Morfoanatomia de rizomas e raízes de *Tillandsia* L. (Bromeliaceae) dos Campos Gerais, PR, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, Porto Alegre, v.18, n.2, p.253-260, 2004.

SEMMLER, M. G. M. C. **Biomonitoração de Hg, Cd, Pb e outros elementos em áreas costeiras do Estado de São Paulo por meio do mexilhão transplantado Perna perna (Linnaeus, 1758)**. 2007. 140p. Tese (Doutorado em Ciências) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

SILVA, A. C.; SANTOS, A. R.; PAIVA, A. V. Translocação de nutrientes em folhas de *Hevea brasiliensis* (clone) e em acículas de *Pinus oocarpa*. **Revista da Universidade de Alfenas**, Alfenas, v.4, p.11-18, 1998.

SILVA, N. N. F.; GOMES, J. M. L. Bromeliaceae do Sítio Morro do Céu, Serra (ES). **Natureza On Line**, Santa Teresa, v.1, n.2, p.1-11, 2003.

SILVA, S. M. **Diagnósticos das restingas do Brasil**. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/guias\\_r8/perfuracao\\_r8/%C3%81reas\\_Priorit%C3%A1rias/Restingas.pdf](http://www.anp.gov.br/guias_r8/perfuracao_r8/%C3%81reas_Priorit%C3%A1rias/Restingas.pdf)>. Acesso em: 18 jun. 2008.

SMODIŠ, B.; PARR, R. M. Biomonitoring of air pollution as exemplified by recent IAEA programs. **Biological Trace Element Research**, San Diego, v.71-72, n.1, p.257-266, 1999.

SMODIŠ, B.; PIGNATA, M. L.; SAIKI, M.; CORTES, E.; BANGFA, N.; MARKERT, B.; NYARKO, B.; ARUNACHALAM, J.; GARTY, J.; VUTCHKOV, M.; WOLTERBEEK, H. Th.; STEINNES, E.; FREITAS, M. C.; LUCACIU, A.; FRONTASYEVA, M. Validation and application of plants as biomonitor of trace element atmospheric pollution - A co-ordinated effort in 14 countries. **Journal of Atmospheric Chemistry**, Dordrecht, v.49, n.1-3, p.3-13, 2004.

SOARES, A. R.; GHERARDI, B.; SILVA, C. C. Mapeamento ultradetalhado do solo da área da Estação Ecológica de Caetetus destinada ao Projeto Diversidade, dinâmica e conservação em florestas do Estado de São Paulo: 40 ha de parcelas permanentes. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 11., 2003, Piracicaba, **Resumos...** São Paulo: USP, 2003. 1 CD-ROM.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE BROMÉLIAS - SBBR. **A Família Bromeliaceae**. Disponível em: <<http://www.bromelia.org.br/familia-bromeliaceae.shtml>>. Acesso em: 25 jun. 2008.

SOS MATA ATLÂNTICA. **Dados da Mata Atlântica**. Disponível em: <<http://www.sosmatatlanica.org.br/index.php?section=press&action=listData>>. Acesso em: 8 jun. 2008.

STEEGE, H. ter; CORNELISSEN, J. H. C. Distribution and ecology of vascular epiphytes in lowland rain forest of Guyana. **Biotropica**, Washington, v.21, n.4, p.331-339, 1989.

SUBBARAO, G. V.; ITO, O.; BERRY, W. L.; WHEELER, R. M. Sodium - a functional plant nutrient. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Philadelphia, v.22, n.5, p.391-416, 2003.

SUGDEN, A. M.; ROBINS, R. J. Aspects of the ecology of vascular epiphytes in Colombian Cloud Forests, I. The distribution of the epiphytic flora. **Biotropica**, Washington, v.11, n.3, p.173-188, 1979.

TABANEZ, M. F.; DURIGAN, G.; KEUROGHIAN, A.; BARBOSA, A. F.; FREITAS, C. A.; SILVA, C. E. F.; SILVA, D. A.; EATON, D.; BRISOLLA, G.; FARIA, H. H.; MATTOS, I. F. A.; LOBO, M. T.; BARBOSA, M. R.; ROSSI, M.; SOUZA, M. G.; MACHADO, R. B.; PFEIFER, R. M.; RAMOS, V. S.; ANDRADE, W. J.; CONTIERI, W. A. **Plano de manejo da Estação Ecológica dos Caetetus**. São Paulo: Instituto Florestal, 2005. p.1-104. (Série Registros, 29).

TAGLIAFERRO, F. S. **Metrologia em química**: estudo da qualidade de cafés brasileiros. 2002. 134p. Tese (Doutorado em Ciências) - Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

TUMEY, S. J.; BROWN, T. A.; HAMILTON, T. E.; HILLEGONDS, D. J. Accelerator mass spectrometry of strontium-90 for homeland security, environmental monitoring and human health. **Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms**, Dorchester, v.266, n.10, p.2242-2245, 2008.

TURRA, C.; FERNANDES, E. A. N.; BACCHI, M. A.; TAGLIAFERRO, F. S.; FRANÇA, E. J. Distribution pattern of rare earth elements in Brazilian citrus leaves. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON MODERN TRENDS IN ACTIVATION ANALYSIS,12., 2007, Hachioji. **Abstracts...** Hachioji: Tokyo Metropolitan University, 2007.p.101.

WOLTERBEEK, H. Th.; BODE, P. Strategies in sampling and sample handling in the context of large-scale plant biomonitoring surveys of trace element air pollution. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, v.176, n.1-3, p.33-43, 1995.

WOLTERBEEK, B. Large-scaled biomonitoring of trace element air pollution: goals and approaches. **Radiation Physics and Chemistry**, Oxford, v.61, n.36, p.323-327, 2001.

WOLTERBEEK, B. Biomonitoring of trace element air pollution: principles, possibilities and perspectives. **Environmental Pollution**, London, v.120, n.1, p.11-21, 2002.

WWF-BRASIL. **Bioma Cerrado**. Disponível em: <[www.wwf.org.br](http://www.wwf.org.br)>. Acesso em: 1 jul. 2008.

WYTTENBACH, A.; TOBLER, L. Effect of surface contamination on results of plant analysis. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v.29, n.7-8, p.809-823, 1998.

WYTTENBACH, A.; TOBLER, L. Soil contamination in plant samples and in botanical reference materials: signature, quantification and consequences. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v.254, n.1, p.165-174, 2002.

YOSHIDA, S.; MURAMATSU, Y.; DVORNIK, A. M.; ZHUCHENKO, T. A.; LINKOV, I. Equilibrium of radiocesium with stable cesium within the biological cycle of contaminated

forest ecosystems. **Journal of Environmental Radioactivity**, Oxford, v.75, n.3, p.301-313, 2004.

ZOTZ, G. Substrate use of three epiphytic bromeliads. **Ecography**, Lund, v.20, n.3, p.264-270, 1997.

ZOTZ, G.; THOMAS, V. How much water is in the tank? Model calculations for two epiphytic bromeliads. **Annals of Botany**, Oxford, v.83, n.2, p.183-192, 1999.

ZOTZ, G.; HIETZ, P. The physiological ecology of vascular epiphytes: current knowledge, open questions. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.52, n.364, p.2067-2078, 2001.

## APÊNDICE A

*Concentrações dos elementos químicos nas folhas das espécies de bromélias*



Tabela A – Concentrações e incertezas expandidas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos elementos químicos determinados nas folhas das espécies de bromélias. Astr = *Acanthostachys strobilacea*, Bzeb = *Billbergia zebrina*, Cbil = *Canistropsis billbergioides*, Rspi = *Racinaea spiculosa*, Tlol = *Tillandsia loliacea*, Trec = *Tillandsia recurvata*, Ttri = *Tillandsia tricholepis*, Valt = *Vriesea altodaserrae*, Vatr = *Vriesea atra*, Vcar = *Vriesea carinata*, Vrod = *Vriesea rodigasiana*. Os números representam as diferentes rosetas coletadas nas parcelas permanentes Parque Estadual Ilha do Cardoso, Parque Estadual Carlos Botelho, Estação Ecológica de Assis e Estação Ecológica dos Caetetus

Espécie		Br	Ca	Ce	Co	Cs	Fe	K	Na	Rb	Sc*	Sr	Zn
Cbil1	Média	17,6	3160	0,133	0,343	0,294	243,1	17360	7270	42,4	6,92	66	42,7
	Inc.	1,5	220	0,012	0,014	0,023	6,8	730	320	1,9	0,42	10	1,6
Cbil2	Média	16,2	4620	0,041	0,078	0,090	81,5	21460	4680	35,6	2,93	91,4	28,2
	Inc.	1,3	230	0,019	0,006	0,008	2,3	770	140	1,5	0,29	4,3	0,8
Rspi1	Média	7,67	5060	0,097	0,110	0,099	64,0	6740	5060	6,62	12,68	39,1	33,2
	Inc.	0,61	220	0,019	0,008	0,008	2,0	490	150	0,30	0,66	4,6	1,1
Rspi2	Média	7,89	4150	0,107	0,091	0,091	77,7	8650	4100	8,86	14,55	33,4	31,3
	Inc.	0,64	240	0,018	0,006	0,008	2,5	500	170	0,39	0,67	2,3	0,9
Valt1	Média	11,83	3290	0,089	0,363	0,284	269,2	8990	3350	12,89	4,50	27,6	13,30
	Inc.	0,93	220	0,036	0,017	0,024	7,0	510	100	0,54	0,29	2,1	0,44
Valt2	Média	10,74	3520	0,082	0,284	0,091	219,3	3410	4340	3,62	3,24	31,7	11,12
	Inc.	0,86	190	0,044	0,014	0,003	5,3	340	150	0,20	0,24	1,8	0,35
Vatr1	Média	4,81	1980	0,068	0,102	0,083	134,1	4670	3650	4,78	3,54	17,1	18,10
	Inc.	0,38	140	0,013	0,006	0,007	3,8	340	110	0,25	0,28	2,3	0,59
Vatr2	Média	7,54	2190	0,050	0,116	0,072	107,0	7210	3760	8,82	1,57	17,1	11,62
	Inc.	0,59	150	0,031	0,006	0,006	3,3	500	110	0,39	0,20	1,8	0,41
Vcar1	Média	8,63	3870	0,079	0,085	0,163	92,0	10050	6480	14,65	3,13	32,7	75,9
	Inc.	0,69	240	0,019	0,010	0,014	3,0	760	200	0,64	0,40	4,5	2,2
Vcar2	Média	11,54	3710	0,078	0,155	0,241	179,4	11540	4140	15,90	3,57	32,0	37,9
	Inc.	0,88	260	0,021	0,010	0,019	4,7	620	120	0,70	0,34	2,5	1,2
Vrod1	Média	8,74	1720	0,083	0,101	0,224	94,0	5990	4430	7,74	5,50	17,4	22,12
	Inc.	0,67	170	0,014	0,007	0,017	2,7	420	180	0,34	0,34	1,7	0,63
Vrod2	Média	5,83	1730	0,197	0,052	0,064	110,1	5730	3920	6,02	6,04	18,5	24,28
	Inc.	0,46	140	0,016	0,005	0,006	3,1	440	120	0,31	0,39	2,1	0,79
Bzeb1	Média	9,62	2760	0,069	0,065	3,59	87,7	16930	124	88,1	16,82	17,1	12,71
	Inc.	0,58	190	0,020	0,010	0,26	3,9	470	6	4,8	0,77	2,0	0,38
Bzeb2	Média	0,98	1260	0,146	0,117	3,70	120,7	15060	100	92,5	24,2	11,0	8,79
	Inc.	0,10	110	0,028	0,008	0,27	5,3	420	4	5,4	1,1	2,6	0,35
Astr1	Média	7,48	3930	0,087	0,247	1,42	216,2	26690	273	108,0	11,22	25,3	18,60
	Inc.	0,50	200	0,031	0,013	0,10	7,8	850	10	6,3	0,61	3,2	0,51
Astr2	Média	3,07	4210	0,117	0,062	0,94	85,2	14750	220	40,4	9,35	25,1	14,00
	Inc.	0,23	340	0,049	0,006	0,07	5,9	410	8	2,8	0,58	2,7	0,42
Trec1	Média	3,93	3060	0,338	0,368	4,03	203	14340	876	89,3	46,9	23,2	13,49
	Inc.	0,36	180	0,043	0,028	0,29	10	430	30	7,1	2,3	3,2	0,99
Trec2	Média	3,87	2460	0,311	0,425	4,01	198	14240	763	90,2	45,6	20,4	13,81
	Inc.	0,43	210	0,040	0,028	0,31	12	400	23	10,5	2,4	5,1	0,91
Tlol1	Média	3,73	4220	0,870	0,186	0,043	486	7240	2200	17,1	127,7	24,6	19,94
	Inc.	0,40	370	0,038	0,013	0,009	18	290	92	1,2	5,1	3,4	0,60
Tlol2	Média	4,64	3920	1,142	0,215	0,074	624	5700	1837	13,4	166,2	20,4	17,30
	Inc.	0,39	270	0,043	0,012	0,011	21	220	77	0,9	7,3	3,1	0,49
Ttri1	Média	4,51	4290	0,574	0,248	0,046	350	20560	2240	46,7	87,2	24,2	23,13
	Inc.	0,41	310	0,044	0,014	0,009	12	700	100	2,8	3,5	4,2	0,64
Ttri2	Média	4,54	5370	0,872	0,205	0,034	474	9110	1453	14,5	124,6	35,2	20,82
	Inc.	0,43	350	0,037	0,013	0,010	16	310	49	0,9	4,7	3,7	0,58

\* Concentrações em  $\mu\text{g kg}^{-1}$

## APÊNDICE B

*Concentrações dos elementos químicos nas folhas lavadas e não-lavadas*



Tabela B - Concentrações e incertezas expandidas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos elementos químicos encontradas nas folhas lavadas e não-lavadas da bromélia *Vriesea carinata* (Vcar). Números indicam as diferentes rosetas estudadas

(continua)

	Vcar1		Vcar2		Vcar3						
	Lavada	Não-lavada	Lavada	Não-lavada	Lavada	Não-lavada					
	Média	Inc.	Média	Inc.	Média	Inc.					
Ba	16,3 ± 3,2		31,6 ± 2,8		14,8 ± 2,2		15,0 ± 2,2		7,0 ± 2,1		9,3 ± 1,7
Br	10,30 ± 0,56		12,56 ± 0,73		9,35 ± 0,51		12,13 ± 0,66		13,83 ± 0,75		14,36 ± 0,78
Ca	5610 ± 280		6090 ± 300		6990 ± 340		7370 ± 370		4920 ± 250		4660 ± 240
Ce	0,178 ± 0,032		0,233 ± 0,045		0,169 ± 0,023		0,505 ± 0,030		0,142 ± 0,016		0,470 ± 0,024
Co	0,1344 ± 0,0075		0,308 ± 0,016		0,1090 ± 0,0068		0,258 ± 0,012		0,1672 ± 0,0080		0,1630 ± 0,0085
Cs	0,232 ± 0,016		0,255 ± 0,018		0,388 ± 0,026		0,431 ± 0,028		0,138 ± 0,010		0,155 ± 0,012
Eu	0,00108 ± 0,00038		0,0047 ± 0,0012		0,00135 ± 0,00050		0,0149 ± 0,0023		0,00107 ± 0,00069		0,00563 ± 0,00082
Fe	111,1 ± 3,1		330,3 ± 9,2		74,1 ± 2,2		403 ± 10		169,4 ± 5,1		335,5 ± 9,4
Hf	0,0088 ± 0,0056		0,0818 ± 0,0074		0,0093 ± 0,0045		0,258 ± 0,015		0,0060 ± 0,0031		0,0639 ± 0,0064
Hg	0,0268 ± 0,0060		0,0243 ± 0,0068		0,0273 ± 0,0072		0,049 ± 0,012		0,0177 ± 0,0084		0,0477 ± 0,0065
K	9390 ± 660		10500 ± 720		10000 ± 740		10000 ± 540		8840 ± 480		8040 ± 550
La	< 0,070		0,104 ± 0,027		< 0,065		0,225 ± 0,032		< 0,066		0,213 ± 0,032
Na	6040 ± 220		5460 ± 190		5640 ± 250		4980 ± 150		6570 ± 410		4960 ± 180
Rb	21,49 ± 0,99		22,55 ± 0,99		25,5 ± 1,1		26,2 ± 1,0		11,96 ± 0,53		11,11 ± 0,47
Sc	0,00140 ± 0,00030		0,0331 ± 0,0015		0,00156 ± 0,00024		0,0842 ± 0,0037		0,00235 ± 0,00027		0,0655 ± 0,0029
Se	0,051 ± 0,023		0,112 ± 0,015		< 0,052		0,159 ± 0,020		0,064 ± 0,014		0,155 ± 0,014
Sm	< 0,0071		0,0113 ± 0,0048		< 0,0066		0,0231 ± 0,0077		< 0,0065		0,0192 ± 0,0048
Sr	33,03 ± 3,96		34,2 ± 3,4		47,5 ± 3,0		50,3 ± 5,2		27,1 ± 2,9		25,0 ± 2,4
Th	0,0104 ± 0,0029		0,0295 ± 0,0041		0,0124 ± 0,0035		0,0862 ± 0,0050		0,0082 ± 0,0029		0,0544 ± 0,0036
Zn	20,98 ± 0,99		25,92 ± 0,78		22,89 ± 0,66		23,54 ± 0,67		22,59 ± 0,73		22,64 ± 0,68
	Vcar4		Vcar5		Vcar6						
	Lavada	Não-lavada	Lavada	Não-lavada	Lavada	Não-lavada					
	Média	Inc.	Média	Inc.	Média	Inc.					
Ba	8,4 ± 2,3		23,7 ± 2,8		6,9 ± 2,0		44,5 ± 3,8		7,5 ± 4,6		4,9 ± 1,9
Br	14,25 ± 0,80		17,64 ± 0,92		15,63 ± 0,88		15,31 ± 0,89		8,56 ± 0,52		8,24 ± 0,45
Ca	10000 ± 440		9270 ± 370		5450 ± 280		5380 ± 310		3900 ± 310		3720 ± 200
Ce	0,227 ± 0,029		0,390 ± 0,022		0,055 ± 0,023		0,419 ± 0,051		0,245 ± 0,038		0,180 ± 0,020
Co	0,620 ± 0,029		0,1535 ± 0,0086		0,223 ± 0,013		0,644 ± 0,028		0,937 ± 0,039		0,240 ± 0,012
Cs	0,327 ± 0,022		0,287 ± 0,022		0,266 ± 0,019		0,269 ± 0,022		0,187 ± 0,014		0,195 ± 0,014
Eu	0,00142 ± 0,00049		0,00503 ± 0,00064		< 0,0013		0,0065 ± 0,0011		< 0,0016		0,00182 ± 0,00056
Fe	499 ± 12		262,5 ± 6,8		156,7 ± 4,1		621 ± 17		736 ± 18		199,0 ± 5,6
Hf	0,0103 ± 0,0101		0,0452 ± 0,0052		0,0131 ± 0,0085		0,182 ± 0,012		0,0137 ± 0,0051		0,0123 ± 0,0078
Hg	0,032 ± 0,016		0,0474 ± 0,0075		< 0,022		< 0,026		< 0,020		0,0188 ± 0,0046
K	9330 ± 540		7700 ± 420		13700 ± 710		13100 ± 660		11750 ± 630		11750 ± 590
La	< 0,074		0,198 ± 0,040		< 0,085		0,156 ± 0,029		< 0,078		0,060 ± 0,025
Na	6790 ± 340		5440 ± 270		7420 ± 270		7450 ± 420		6560 ± 260		5520 ± 200
Rb	19,90 ± 0,84		17,36 ± 0,76		23,8 ± 1,0		25,0 ± 1,0		13,65 ± 0,60		14,93 ± 0,75
Sc	0,00145 ± 0,00038		0,0609 ± 0,0024		0,00212 ± 0,00044		0,0521 ± 0,0023		0,00330 ± 0,00038		0,0257 ± 0,0011
Se	0,040 ± 0,012		0,133 ± 0,012		0,096 ± 0,018		0,123 ± 0,017		0,073 ± 0,011		0,111 ± 0,011
Sm	< 0,0073		0,0159 ± 0,0044		< 0,0076		0,0173 ± 0,0044		< 0,0079		0,0102 ± 0,0044
Sr	47,6 ± 8,7		41,2 ± 2,5		35,9 ± 4,3		36,4 ± 3,3		22,3 ± 3,7		23,9 ± 3,3
Th	0,0198 ± 0,0053		0,0470 ± 0,0037		< 0,0088		0,0414 ± 0,0047		0,0378 ± 0,0068		0,0197 ± 0,0027
Zn	16,64 ± 0,53		13,93 ± 0,45		24,30 ± 0,83		24,71 ± 0,75		20,43 ± 0,63		19,06 ± 0,71

Tabela B - Concentrações e incertezas expandidas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) dos elementos químicos encontradas nas folhas lavadas e não-lavadas da bromélia *Vriesea carinata* (Vcar). Números indicam as diferentes rosetas estudadas

(conclusão)

	Vcar7		Vcar8					
	Lavada	Não-lavada	Lavada	Não-lavada				
	Média	Inc.	Média	Inc.				
Ba	4,9 ± 2,8		8,3 ± 3,7		3,5 ± 1,9		2,6 ± 1,9	
Br	11,50 ± 0,69		11,51 ± 0,62		7,30 ± 0,44		8,42 ± 0,49	
Ca	5250 ± 250		4730 ± 280		4150 ± 210		4000 ± 210	
Ce	0,156 ± 0,074		0,309 ± 0,027		0,050 ± 0,017		0,193 ± 0,025	
Co	0,667 ± 0,031		0,325 ± 0,016		0,0905 ± 0,0060		0,1080 ± 0,0058	
Cs	0,223 ± 0,016		0,221 ± 0,015		0,1471 ± 0,0103		0,160 ± 0,011	
Eu	0,0058 ± 0,0010		0,00314 ± 0,00085		< 0,00094		0,00242 ± 0,00044	
Fe	460 ± 10		258,3 ± 7,2		100,3 ± 2,8		169,4 ± 4,4	
Hf	0,139 ± 0,011		0,0499 ± 0,0058		0,0068 ± 0,0041		0,0108 ± 0,0039	
Hg	< 0,017		0,0298 ± 0,0051		0,0181 ± 0,0051		0,0212 ± 0,0049	
K	11500 ± 530		10900 ± 590		6660 ± 490		7140 ± 400	
La	< 0,068		0,134 ± 0,027		< 0,071		0,105 ± 0,024	
Na	6760 ± 460		5850 ± 200		6950 ± 360		6110 ± 330	
Rb	16,83 ± 0,74		16,83 ± 0,74		8,19 ± 0,44		8,85 ± 0,41	
Sc	0,00318 ± 0,00036		0,0394 ± 0,0019		0,00184 ± 0,00021		0,0313 ± 0,0014	
Se	0,0734 ± 0,0101		0,101 ± 0,012		0,051 ± 0,011		0,096 ± 0,011	
Sm	< 0,0069		0,0142 ± 0,0036		< 0,0070		0,0141 ± 0,0035	
Sr	31,5 ± 2,6		30,1 ± 3,5		35,9 ± 4,7		31,4 ± 3,9	
Th	0,0150 ± 0,0044		0,0345 ± 0,0030		< 0,0068		0,0242 ± 0,0025	
Zn	32,1 ± 1,5		23,7 ± 1,1		23,7 ± 1,1		20,13 ± 0,62	
	Vcar9		Vcar10					
	Lavada	Não-lavada	Lavada	Não-lavada				
	Média	Inc.	Média	Inc.				
Ba	6,9 ± 5,1		5,5 ± 2,7		4,0 ± 1,1		4,8 ± 1,2	
Br	9,65 ± 0,52		10,86 ± 0,59		10,22 ± 0,57		11,40 ± 0,64	
Ca	2890 ± 220		3020 ± 220		5650 ± 270		6120 ± 280	
Ce	0,167 ± 0,041		0,575 ± 0,064		0,107 ± 0,025		0,331 ± 0,022	
Co	0,413 ± 0,019		0,1355 ± 0,0087		0,245 ± 0,014		0,1630 ± 0,0091	
Cs	0,200 ± 0,014		0,180 ± 0,014		0,255 ± 0,017		0,269 ± 0,019	
Eu	< 0,0012		0,00444 ± 0,00087		0,00089 ± 0,00037		0,00366 ± 0,00074	
Fe	347,2 ± 9,0		207,5 ± 5,8		262,5 ± 6,8		269,9 ± 7,0	
Hf	0,0064 ± 0,0041		0,123 ± 0,015		0,0079 ± 0,0040		0,0201 ± 0,0040	
Hg	< 0,017		< 0,025		0,021 ± 0,011		0,032 ± 0,010	
K	12400 ± 540		10200 ± 590		8870 ± 620		8910 ± 500	
La	< 0,062		0,246 ± 0,030		< 0,072		0,173 ± 0,036	
Na	5490 ± 240		5090 ± 140		8180 ± 560		6900 ± 400	
Rb	14,40 ± 0,60		12,81 ± 0,64		12,28 ± 0,56		12,28 ± 0,52	
Sc	0,00307 ± 0,00033		0,0383 ± 0,0018		0,00291 ± 0,00030		0,0488 ± 0,0020	
Se	0,099 ± 0,013		0,120 ± 0,015		0,073 ± 0,024		0,133 ± 0,013	
Sm	< 0,0063		0,0235 ± 0,0055		< 0,0082		0,0186 ± 0,0048	
Sr	20,7 ± 3,7		20,3 ± 3,8		44,0 ± 2,8		49,8 ± 3,7	
Th	0,022 ± 0,013		0,0648 ± 0,0044		0,0437 ± 0,0030		0,0373 ± 0,0031	
Zn	27,26 ± 0,87		23,95 ± 0,73		33,50 ± 0,91		27,6 ± 1,3	

## APÊNDICE C

*Composição química obtida pela amostragem sustentável nos respectivos terços das bromélias*



Tabela C - Resultados e incertezas expandidas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) obtidos pela amostragem sustentável nos respectivos terços das bromélias. TI= terço inferior; TM= terço médio; TS= terço superior. Astr = *Acanthostachys strobilacea*, Bzeb = *Billbergia zebrina*, Cbil = *Canistropsis billbergioides*, Rspi = *Racinaea spiculosa*, Tlol = *Tillandsia loliacea*, Trec = *Tillandsia recurvata*, Ttri = *Tillandsia tricholepis*, Valt = *Vriesea altodaserrae*, Vatr = *Vriesea atra*, Vcar = *Vriesea carinata*, Vrod = *Vriesea rodigasiana*. Os números representam as diferentes rosetas coletadas nas parcelas permanentes Parque Estadual Ilha do Cardoso, Parque Estadual Carlos Botelho, Estação Ecológica de Assis e Estação Ecológica dos Caetetus

(continua)

Espécie	Terços	Br	Ca	Ce	Co	Cs	Fe	K	Na	Rb	Sc*	Sr	Zn	
Cbil1	TI	Média	16,7	5200	0,25	0,33	0,287	85	16700	9500	31,4	9,7	96	51,0
		Inc	0,8	1600	0,13	0,12	0,048	4	3600	480	3,8	6,7	24	7,8
	TM	Média	20,6	4600	0,19	0,23	0,341	140	19800	7800	47,9	6,6	94	52,6
		Inc	3,3	1100	0,08	0,08	0,034	39	1900	1200	6,7	2,4	16	7,9
Cbil2	TS	Média	16,6	4200	0,47	0,212	0,402	132	24700	6940	68,8	3,9	86	65,3
		Inc	4,6	1100	0,17	0,027	0,048	29	2800	530	5,0	1,5	16	4,8
	TI	Média	17,5	7500	0,22	0,098	0,117	72	26200	6320	31,8	6,5	160	29,5
		Inc	1,2	1800	0,07	0,010	0,021	6	3900	250	1,3	1,2	45	4,2
Rspi1	TM	Média	16,8	5100	0,17	0,072	0,104	70	27600	4140	41,2	4,6	107	33,7
		Inc	1,6	910	0,06	0,022	0,023	8	5500	400	5,2	0,6	24	7,4
	TS	Média	17,2	5200	0,22	0,057	0,108	50	27800	3710	50,5	2,4	90	33,2
		Inc	0,8	1200	0,08	0,012	0,021	8	3400	690	5,0	1,3	13	6,3
Rspi2	TI	Média	8,6	5500	0,19	0,096	0,097	68	5300	4000	5,7	10,9	41	30,2
		Inc	2,1	1000	0,06	0,055	0,034	20	2200	1100	2,3	6,0	7	7,2
	TM	Média	8,4	5200	0,14	0,066	0,113	63	8800	3800	8,8	10,1	38	35,6
		Inc	0,6	830	0,04	0,024	0,036	4	3900	2000	3,6	4,6	8	3,9
Valt1	TS	Média	6,9	5200	0,14	0,053	0,131	73	12600	2900	12,6	8,0	34	23,0
		Inc	1,1	1700	0,07	0,010	0,033	22	4300	1300	3,7	3,1	8	3,2
	TI	Média	9,8	5000	0,15	0,067	0,092	92	8100	2930	7,9	14,0	38	26,2
		Inc	2,0	1100	0,05	0,018	0,029	20	2900	600	2,4	7,3	7	5,5
Valt2	TM	Média	8,4	3800	0,17	0,050	0,118	83	10600	2900	10,2	10,4	31	22,6
		Inc	1,3	1000	0,04	0,013	0,014	30	3100	1200	2,3	5,6	6	5,2
	TS	Média	7,4	5310	0,72	0,051	0,119	52	13100	4000	13,6	9,0	33	30,6
		Inc	1,0	740	0,19	0,011	0,027	12	3300	1400	3,1	3,3	5	4,3
Vatr1	TI	Média	10,0	3700	0,68	0,020	0,211	57	7200	2800	9,8	4,0	28	12,6
		Inc	2,9	1300	0,51	0,007	0,017	5	2300	1100	1,9	1,3	8	2,7
	TM	Média	9,6	4400	0,36	0,025	0,255	74	8900	2450	12,0	3,6	35	11,7
		Inc	1,9	1400	0,11	0,008	0,034	19	2200	990	1,8	1,5	11	3,0
Vatr2	TS	Média	10,4	4060	0,62	0,031	0,222	63	8300	3100	11,7	3,1	26	11,8
		Inc	1,8	890	0,31	0,010	0,018	19	2100	1700	1,0	0,8	6	2,4
	TI	Média	10,0	5100	0,074	0,012	0,078	92	3300	3510	3,3	2,6	34	10,9
		Inc	4,2	1900	0,037	0,004	0,019	17	2200	160	1,8	0,8	10	6,5
Vatr2	TM	Média	10,6	4300	1,87	0,018	0,101	77	4500	4330	4,8	2,0	33	13,2
		Inc	3,6	1700	0,94	0,006	0,018	11	2700	990	2,2	0,4	10	6,4
	TS	Média	15,5	4300	0,17	0,020	0,121	75	5100	5370	5,8	2,9	37	13,2
		Inc	3,8	2400	0,07	0,009	0,040	29	3200	810	3,0	1,0	16	6,3
Vatr1	TI	Média	5,8	3000	0,084	0,017	0,099	68	4900	3220	4,5	3,0	24	24,3
		Inc	1,0	1200	0,027	0,006	0,015	20	1300	760	0,8	0,7	6	9,4
	TM	Média	4,9	2900	0,11	0,017	0,089	82	4400	3520	4,4	1,4	21	17,2
		Inc	0,8	1200	0,06	0,004	0,010	50	1400	610	1,0	0,5	5	5,5
Vatr2	TS	Média	3,7	2400	0,18	0,023	0,074	39	5700	3060	5,6	1,3	16	13,2
		Inc	0,6	1200	0,09	0,003	0,009	9	1200	600	0,9	0,4	5	3,9
	TI	Média	7,0	2900	0,20	0,018	0,072	58	4200	3300	5,0	1,8	22	11,2
		Inc	2,7	1200	0,09	0,007	0,020	23	800	910	1,2	0,4	8	4,8
Vatr2	TM	Média	8,5	2600	0,32	0,034	0,086	39	9100	3600	10,4	2,2	18	13,5
		Inc	1,9	1200	0,16	0,009	0,012	8	1600	600	2,3	0,4	5	4,7
	TS	Média	4,9	2100	0,35	0,029	0,072	34	10040	3170	12,2	1,2	15	12,7
		Inc	1,3	820	0,14	0,004	0,013	5	530	150	0,7	0,9	5	2,7

\* Concentrações em  $\mu\text{g kg}^{-1}$

Tabela C - Resultados e incertezas expandidas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) obtidos pela amostragem sustentável nos respectivos terços das bromélias. TI= terço inferior; TM= terço médio; TS= terço superior. Astr = *Acanthostachys strobilacea*, Bzeb = *Billbergia zebrina*, Cbil = *Canistropsis billbergioides*, Rspi = *Racinaea spiculosa*, Tlol = *Tillandsia loliacea*, Trec = *Tillandsia recurvata*, Ttri = *Tillandsia tricholepis*, Valt = *Vriesea altodaserrae*, Vatr = *Vriesea atra*, Vcar = *Vriesea carinata*, Vrod = *Vriesea rodigasiana*. Os números representam as diferentes rosetas coletadas nas parcelas permanentes Parque Estadual Ilha do Cardoso, Parque Estadual Carlos Botelho, Estação Ecológica de Assis e Estação Ecológica dos Caetetus

(continuação)

Espécie	Terços	Br	Ca	Ce	Co	Cs	Fe	K	Na	Rb	Sc*	Sr	Zn	
Vcar1	TI	Média	7,6	6800	0,73	0,300	0,186	148	5200	7800	8,2	7,8	78	75
		Inc	1,9	1400	0,56	0,189	0,036	59	1700	1500	2,1	3,3	41	14
	TM	Média	8,9	4760	0,47	0,144	0,282	183	16800	9100	26,1	7,4	54	56
		Inc	1,5	940	0,18	0,033	0,110	95	5300	2700	10,1	3,0	18	11
Vcar2	TS	Média	10,9	4800	0,35	0,318	0,245	119	18500	4930	27,8	7,2	66	92
		Inc	1,3	1200	0,12	0,248	0,045	15	2000	520	3,5	2,1	28	7
	TI	Média	12,7	5400	0,52	0,175	0,232	218	9090	4020	13,4	3,7	45	32
		Inc	1,0	1400	0,09	0,070	0,031	47	930	330	0,7	1,7	18	6
Vrod1	TM	Média	10,5	4630	0,94	0,096	0,240	148	12600	4370	16,3	4,3	55	35
		Inc	1,6	900	0,53	0,036	0,049	54	3600	510	4,0	1,5	19	4
	TS	Média	10,6	3920	0,33	0,121	0,287	149	14600	3910	19,9	4,6	52	37
		Inc	0,8	510	0,10	0,018	0,031	59	260	220	2,5	1,7	31	3
Vrod2	TI	Média	11,0	3100	0,16	0,052	0,275	79	8300	5340	8,7	5,5	28	16,2
		Inc	3,6	1200	0,09	0,016	0,041	13	2600	490	1,6	1,6	10	1,8
	TM	Média	10,0	2700	0,10	0,055	0,262	61	8200	4230	9,6	4,2	32	18,8
		Inc	3,3	1000	0,05	0,027	0,049	9	2600	590	2,1	1,0	6	2,8
Bzeb1	TS	Média	11,6	2620	0,35	0,087	0,307	86	8400	4910	10,9	4,9	36	28,3
		Inc	3,2	770	0,18	0,039	0,030	24	2000	770	1,3	1,7	13	3,4
	TI	Média	8,8	2010	0,17	0,045	0,066	155	3800	2560	4,0	5,0	19	18,4
		Inc	3,6	520	0,08	0,020	0,017	53	1200	170	1,0	1,2	6	3,3
Bzeb2	TM	Média	7,6	1900	0,22	0,042	0,090	67	6800	3810	7,5	7,1	22	22,8
		Inc	2,0	380	0,12	0,038	0,013	26	1400	240	1,4	1,6	8	1,8
	TS	Média	6,5	1460	0,15	<0,045	0,103	72	8800	5220	10,1	6,6	16	22,0
		Inc	2,0	400	0,06		0,024	20	2300	740	2,1	1,4	7	4,0
Astr1	TI	Média	8,7	5140	0,097	0,041	1,86	59	28800	171	98	9,1	34	33,0
		Inc	1,4	880	0,029	0,011	0,56	11	7800	89	16	2,6	8	8,0
	TM	Média	5,7	3030	0,103	0,039	1,16	54	27200	186	112	9,0	20	27,0
		Inc	0,7	220	0,027	0,011	0,17	6	6200	68	25	1,7	2	3,3
Astr2	TS	Média	8,0	3780	0,093	0,051	1,43	91	33700	214	135	9,0	29	21,0
		Inc	0,8	200	0,037	0,006	0,22	17	3700	76	20	1,4	3	1,9
	TI	Média	3,2	4210	0,162	0,034	1,17	57	14500	200	38	8,6	31	12,2
		Inc	0,5	390	0,046	0,014	0,44	25	4200	120	10	5,6	5	1,4
Astr2	TM	Média	2,9	3960	0,116	0,034	0,96	50	15800	150	42	8,0	27	14,1
		Inc	0,3	510	0,069	0,016	0,19	9	2500	78	7	2,7	3	1,9
	TS	Média	3,7	5110	0,311	0,050	1,10	60	18800	181	54	7,0	36	20,2
		Inc	0,4	1080	0,139	0,023	0,18	13	3000	70	8	1,6	8	3,3
Astr1	TI	Média	2,95	890	0,034	0,0082	1,25	29,5	4400	32	26,9	6,8	6,1	4,41
		Inc	0,20	60	0,010	0,0027	0,09	1,8	180	2	1,6	0,4	1,1	0,16
	TM	Média	1,37	930	0,028	0,0060	0,78	17,1	3920	17	19,0	4,2	7,1	4,15
		Inc	0,10	80	0,009	0,0030	0,06	1,2	120	1	1,2	0,2	1,5	0,19
Astr2	TS	Média	8,09	1830	0,080	0,044	2,13	57,6	12160	65	58,9	13,6	9,4	8,70
		Inc	0,50	110	0,031	0,006	0,15	3,9	340	3	3,4	0,6	1,8	0,27
	TI	Média	0,42	964	0,135	0,022	2,08	119	7860	55	49	34,9	6,0	7,44
		Inc	0,05	85	0,017	0,004	0,15	4	220	3	3	1,4	1,8	0,24
Astr2	TM	Média	0,69	1690	0,111	0,020	4,90	102	20270	89	122	29,0	11,4	6,67
		Inc	0,08	200	0,023	0,004	0,34	6	530	3	7	1,2	2,7	0,27
	TS	Média	0,87	1210	0,138	0,026	3,27	129	15800	91	98	37,7	8,5	6,00
		Inc	0,09	90	0,016	0,004	0,24	7	440	3	6	1,6	1,9	0,28

\* Concentrações em  $\mu\text{g kg}^{-1}$

Tabela C - Resultados e incertezas expandidas ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) obtidos pela amostragem sustentável nos respectivos terços das bromélias. TI= terço inferior; TM= terço médio; TS= terço superior. Astr = *Acanthostachys strobilacea*, Bzeb = *Billbergia zebrina*, Cbil = *Canistropsis billbergioides*, Rspi = *Racinaea spiculosa*, Tlol = *Tillandsia loliacea*, Trec = *Tillandsia recurvata*, Ttri = *Tillandsia tricholepis*, Valt = *Vriesea altodaserrae*, Vatr = *Vriesea atra*, Vcar = *Vriesea carinata*, Vrod = *Vriesea rodigasiana*. Os números representam as diferentes rosetas coletadas nas parcelas permanentes Parque Estadual Ilha do Cardoso, Parque Estadual Carlos Botelho, Estação Ecológica de Assis e Estação Ecológica dos Caetetus

Espécie	Terços		(conclusão)											
			Br	Ca	Ce	Co	Cs	Fe	K	Na	Rb	Sc*	Sr	Zn
Trec1	TI	Média	4,04	2720	0,155	0,348	2,99	78	11330	1195	73,3	22,0	20,1	8,9
		Inc	0,40	150	0,043	0,024	0,22	5	360	43	5,6	1,5	3,9	0,7
	TM	Média	4,12	3970	0,349	0,343	4,39	333	15180	634	99,2	79,8	26,1	11,9
		Inc	0,42	240	0,071	0,031	0,32	17	670	19	7,1	3,4	6,6	0,8
Trec2	TS	Média	3,75	3790	0,59	0,385	4,80	440	14550	575	90,1	103,6	30,5	17,0
		Inc	0,38	250	0,12	0,030	0,34	22	610	17	6,5	4,2	5,6	1,3
	TI	Média	5,74	2120	0,144	0,096	0,73	78	7480	3540	29,5	24,7	14,6	14,1
		Inc	0,58	190	0,039	0,009	0,05	6	430	120	2,2	1,1	3,1	1,0
Tlol1	TM	Média	4,25	4130	0,284	0,255	1,94	220	13410	2266	57,0	48,3	27,7	16,5
		Inc	0,42	230	0,049	0,021	0,14	12	540	77	4,0	2,1	3,7	1,3
	TS	Média	3,67	3980	0,303	0,255	1,58	207	10710	2027	44,6	38,0	23,8	47,0
		Inc	0,38	210	0,048	0,019	0,11	11	360	69	3,1	2,0	5,0	2,9
Tlol2	TI	Média	4,66	3540	0,477	0,140	0,038	280	20270	2254	48,3	76,3	23,9	21,5
		Inc	0,44	230	0,052	0,012	0,010	10	770	90	2,8	3,0	3,3	0,7
	TM	Média	3,90	4800	0,408	0,112	0,038	204	20370	2310	47,3	53,2	27,2	16,9
		Inc	0,37	350	0,048	0,008	0,010	10	570	150	3,4	2,4	3,3	0,5
Ttri1	TS	Média	4,90	3430	0,187	0,045	0,051	73	18400	2025	44,4	18,0	25,8	13,2
		Inc	0,41	340	0,046	0,006	0,008	4	550	73	2,6	0,9	2,8	0,5
	TI	Média	4,30	4080	1,829	0,271	0,090	1069	8950	1713	13,5	278	36,7	23,2
		Inc	0,39	290	0,062	0,017	0,014	34	300	72	0,9	11	4,3	0,7
Ttri2	TM	Média	3,77	4420	0,866	0,161	0,039	456	9530	1391	15,1	127,8	30,5	18,4
		Inc	0,34	280	0,040	0,016	0,011	16	320	53	0,9	5,4	3,5	0,5
	TS	Média	6,01	6570	0,354	0,065	0,028	168	14030	1402	21,9	47,1	43,4	14,1
		Inc	0,48	360	0,043	0,008	0,008	8	450	42	1,4	2,0	5,4	0,4
Tlol1	TI	Média	3,22	3820	0,952	0,205	0,055	602	7940	2004	19,1	149,7	20,7	21,5
		Inc	0,33	290	0,059	0,015	0,018	24	330	68	1,3	6,0	3,9	0,7
	TM	Média	3,38	3790	0,601	0,137	0,037	333	7340	2098	16,5	89,1	18,2	17,9
		Inc	0,33	250	0,034	0,011	0,016	15	340	76	1,1	3,7	3,3	0,6
Tlol2	TS	Média	5,10	4940	0,350	0,112	0,029	201	9390	2780	20,6	52,5	26,2	24,3
		Inc	0,49	320	0,030	0,010	0,011	9	320	110	1,3	2,2	3,6	0,7
	TI	Média	4,85	3370	0,930	0,183	0,057	548	6070	1942	14,9	141,4	24,4	22,4
		Inc	0,50	260	0,047	0,012	0,033	19	270	62	1,0	5,4	4,0	0,8
Ttri2	TM	Média	5,36	4700	0,642	0,142	0,051	359	5970	2088	13,5	92,1	28,9	18,2
		Inc	0,48	340	0,036	0,010	0,008	14	290	67	0,9	3,7	2,9	0,6
	TS	Média	7,10	4420	0,437	0,138	0,045	199	8600	2750	18,7	55,5	26,8	17,5
		Inc	0,56	280	0,038	0,012	0,008	8	310	120	1,2	2,3	3,4	0,5

\* Concentrações em  $\mu\text{g kg}^{-1}$