

**MÁRCIA DA SILVA NASCIMENTO**

**ECOLOGIA FUNCIONAL E PADRÕES DE ALOCAÇÃO DE ALUMÍNIO E  
NUTRIENTES EM PLANTAS LENHOSAS DO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2011**

**MÁRCIA DA SILVA NASCIMENTO**

**ECOLOGIA FUNCIONAL E PADRÕES DE ALOCAÇÃO DE ALUMÍNIO E  
NUTRIENTES EM PLANTAS LENHOSAS DO CERRADO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 13 de junho de 2011

---

Prof<sup>a</sup>. Andreza Viana Neri

---

Prof<sup>a</sup>. Aristéa Alves Azevedo

---

Dr. Amilcar Walter Saporetti Junior

---

Prof. João Augusto Alves Meira Neto  
Orientador

*A Deus, pela provisão diária.  
Aos meus pais Athayde e Paula  
Ao meu esposo Anthony e  
minhas filhas Tayná e Thayanne*  
**Dedico**

*“A evidência da presença de Deus é muito maior que a prova de sua ausência”.*

*Mike Murdock*

*OS céus declaram a glória de Deus e o firmamento  
anuncia a obra das suas mãos.*

*Salmo 19:1*

## AGRADECIMENTOS

À Deus que mudou a trajetória de minha vida

Transformando estranhos em amigos (Vanessa, Carol e Gláucia)

Amiga em irmã (Tatyana Mariucha)

Estrangeiro em exemplo de vida e dedicação ao trabalho (Markus – Alemão)

Professora em colega (Andreza Neri)

Orientador em conselheiro (João Augusto Alves Meira Neto)

A estes, minha eterna gratidão.

Ao MEU PAI E MINHA MÃE que mesmo longe acompanharam meu cotidiano.

Ao meu esposo Anthony e minhas filhas Tayná e Thayanne pelos sorrisos e lágrimas partilhados.

À Universidade Federal do Amazonas por ter dado suporte financeiro para cumprir mais uma etapa de minha vida profissional.

À Universidade Federal de Viçosa que me proporcionou ensino público de qualidade e principalmente ao Programa de Botânica na pessoa do Angelo, o qual caracterizo como um anjo na vida de quem passa pela Botânica.

À turma do Laboratório de Ecologia Fábio, Luis Magnago, Luis Benevides, Taís, Jaquelina, Braz, Allan, Celso, Sr.Zé.

Ao Gilmar Valente, que sempre com sorriso nos lábios compartilhava sua experiência e conhecimentos.

À FLONA de Paraopeba pela beleza e diversidade que foram estimulantes para execução deste trabalho e também Rosangela e Zé Vicente pelo carinho e hospitalidade.

À minha segunda casa em Viçosa a Primeira Igreja Batista de Viçosa onde compartilhei bons momentos com Deus e meus irmãos em Cristo.

À família de Costa Rica que aqui conheci e se tornaram muito queridos (Guillermo, Eugênia e David).

À minha família mineirinha (Nilton, Deyse e Isaque).

A todos que cruzaram meu caminho, pelos sorrisos, lágrimas, abraços, olhares, encorajamento.

Enfim, nada foi em vão.

É certo que até aqui me ajudou o Senhor

E, me ajudará para sempre.

Vou seguindo enfrentando

“UMA CRISE POR VEZ”!

## SUMÁRIO

ÍNDICE DE FIGURAS.....	vii
ÍNDICE DE TABELAS.....	viii
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	xi
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. MATERIAL E MÉTODO.....	4
2.1 Área de estudo.....	6
2.2 Análise Florística .....	6
2.3 Coleta de amostras do solo.....	7
2.4 Coleta de amostras vegetativas.....	7
2.5 Análise Estatística.....	8
3. RESULTADOS.....	9
3.1 Teor de fósforo (P) no solo.....	10
3.2 Potássio solúvel no solo.....	10
3.3 Ferro solúvel no solo.....	11
3.4 Cátions Trocáveis no solo.....	11
3.5 Matéria orgânica e nitrogênio no solo.....	11
3.6 Padrão de abundância em diferentes nichos edáficos do cerrado.....	13
3.6.1 Cerradão Mesotrófico sobre Latossolo Vermelho.....	16
3.6.2 Cerradão Distrófico sobre Latossolo Vermelho.....	17
3.6.3 Cerrado <i>stricto sensu</i> sobre Cambissolo.....	19
3.6.4 Cerrado <i>stricto sensu</i> sobre Latossolo Amarelo.....	20
3.6.5 Cerrado <i>stricto sensu</i> sobre Latossolo Vermelho-Amarelo.....	22
3.7 Definição dos grupos funcionais nas plantas lenhosas do Cerrado.....	23
3.7.1 Competidoras Calcícolas – (CC).....	23
3.7.2 Competidoras Semitolerantes ao Alumínio – (ASC).....	25
3.7.3 Competidoras Tolerantes ao Alumínio – (ATC).....	25
3.7.4 Alumínio Tolerantes – (AT).....	27
3.8 Alocação de alumínio e nutrientes dos Grupos Funcionais.....	28
3.8.1 Teor de nutrientes e alumínio na raiz das plantas lenhosas do Cerrado.....	29
3.8.2 Teor de nutrientes e alumínio na folha das plantas lenhosas do Cerrado.....	31
3.8.3 Teor de nutrientes e alumínio na casca das plantas lenhosas do Cerrado.....	38
3.8.4 Teor de nutrientes e alumínio no lenho das plantas lenhosas do Cerrado.....	35
3.8.5 Teor de nutrientes no caule (casca e lenho) das plantas lenhosas do cerrado.....	36
4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES.....	45
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapeamento do solo da FLONA Paraopeba, MG.....	5
Figura 2. Composição químicas dos solos na FLONA Paraopeba.....	12
Figura 3. Correlação entre matéria orgânica e nitrogênio nos solos da FLONA de Paraopeba, MG.....	13
Figura 4. Abundância de espécies no Cerradão Mesotrófico da FLONA de Paraopeba, MG. ....	16
Figura 5. Cerradão Mesotrófico sobre latossolo vermelho na FLONA de Paraopeba, MG.....	17
Figura 6. Abundância de espécies no Cerradão Distrófico da FLONA de Paraopeba, MG. ....	18
Figura 7. Cerradão Distrófico sobre latossolo vermelho na FLONA de Paraopeba, MG.....	18
Figura 8. Abundância de espécies no Cerrado s.s. sobre cambissolo da FLONA de Paraopeba, MG.....	19
Figura 9. Cerrado s.s. sobre cambissolo amarelo na FLONA de Paraopeba, MG.....	20
Figura 10. Abundância de espécies no Cerrado s.s. sobre Latossolo Amarelo da FLONA de Paraopeba, MG.....	21
Figura 11. Cerrado s.s. sobre latossolo amarelo na FLONA de Paraopeba, MG.....	21
Figura 12. Abundância de espécies no Cerrado s.s. latossolo vermelho-amarelo da FLONA de Paraopeba, MG.....	22
Figura 13. Cerrado s.s. Denso sobre latossolo vermelho-Amarelo na FLONA de Paraopeba, MG.....	23
Figura 14. Modelo de grupo funcional Competidoras Calcícolas (CC)	24
Figura 15. Modelo de grupo funcional Competidoras Semitolerante ao Alumínio (ASC).....	25
Figura16. Modelo de grupo funcional Competidoras Tolerantes ao Alumínio (ATC).....	27
Figura17. Modelo de grupo funcional Alumínio Tolerante (AT).....	29
Figura18. Correlação entre teor de Alumínio ( $Al^{+3}$ ) e Ferro ( $Fe^{+2}$ ) na raiz de plantas lenhosas do Cerrado da FLONA de Paraopeba, MG.....	29
Figura 19. Concentração de nutrientes e alumínio nas amostras de raiz dos grupos funcionais do Cerrado.....	30
Figura 20. Concentração de cálcio ( $Ca^{+2}$ ), ferro ( $Fe^{+2}$ ), potássio (K), magnésio ( $Mg^{+2}$ ), nitrogênio(N), fósforo(P) e alumínio( $Al^{+3}$ ) nas amostras de folha dos grupos funcionais do Cerrado.....	32
Figura 21. Concentração de cálcio( $Ca^{+2}$ ), potássio(K), magnésio( $Mg^{+2}$ ), fósforo(P) e alumínio( $Al^{+3}$ ) nas amostras de caule (casca) de espécies dos grupos funcionais do cerrado.....	34
Figura 22. Concentração de alumínio ( $Al^{+3}$ ), potássio(K) e fósforo(P) nas amostras de lenho dos grupos funcionais.....	35
Figura 23: Concentração de cálcio( $Ca^{+2}$ ), ferro( $Fe^{+2}$ ), nitrogênio(N), magnésio( $Mg^{+2}$ ) no lenho e ferro( $Fe^{+2}$ ), nitrogênio(N) na casca nas amostras de espécies dos grupos funcionais.....	37

## ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Lista de espécies que apresentaram $\geq 20$ número de indivíduos (árvores e arbustos com CAS $\geq$ 10cm) em cinco trechos de cerrado na FLONA de Paraopeba, MG.....	14
<b>Tabela 2.</b> Comparação concentração de magnésio mg/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais.....	38
<b>Tabela 3.</b> Comparação concentração de ferro em mg/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais grupos funcionais de plantas lenhosas do Cerrado.....	39
<b>Tabela 4.</b> Comparação concentração de nitrogênio dag/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais. grupos funcionais de plantas lenhosas do Cerrado .....	40
<b>Tabela 5.</b> Comparação concentração de alumínio mg/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais.....	41
<b>Tabela 6.</b> Comparação concentração de fósforo dag/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais de plantas lenhosas do Cerrado.....	42
<b>Tabela 7.</b> Comparação concentração de cálcio mg/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais grupos funcionais de plantas lenhosas do Cerrado.....	43
<b>Tabela 8.</b> Comparação concentração de potássio dag/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais grupos funcionais de plantas lenhosas do Cerrado.....	44

## RESUMO

NASCIMENTO, Márcia da Silva. M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, junho de 2011. **Ecologia funcional e padrões de alocação de alumínio e nutrientes em plantas lenhosas do Cerrado**. Orientador: João Augusto Alves Meira Neto.

O Cerrado brasileiro representa uma das maiores savanas tropicais do mundo em extensão e em termos de biodiversidade. Sua ocorrência é determinada por fatores climáticos, mas, sobressai uma forte relação entre classes de solo com a vegetação sobrejacente. O objetivo desse estudo foi estabelecer grupos funcionais no Cerrado e discutir os resultados com base em duas abordagens teóricas: Uma classifica as plantas de acordo com a ocorrência em diferentes ambientes em grupos funcionais como competidoras, tolerantes ao estresse e ruderais (Teoria CSR); outra refere-se ao modelo R\* que representa um modelo de dinâmica de população baseada em espécies potencialmente competidoras, àquelas capazes de manter sua população com níveis baixos de recursos. O presente trabalho foi realizado na Floresta Nacional de Paraopeba, MG, onde foram definidos cinco ambientes e tipo de solo: Cerradão Distrófico e Mesotrófico ocorrente sobre Latossolo Vermelho, Cerrado sensu stricto foi encontrado em solos de tipo Cambissolo, Latossolo Vermelho e Latossolo Vermelho-Amarelo. Em cada ambiente foram estabelecidas cinco parcelas permanentes de 20 x 20 m. Todas as árvores com circunferência à altura do solo (CAS) maior ou igual 10 cm dentro das parcelas foram identificadas. Em cada parcela foi coletada amostras compostas de solo com 3 repetições totalizando 75 amostras. Foram selecionadas 23 espécies, das quais foram amostrados um total de cinco indivíduos por espécie. De cada indivíduo escolhido foram coletados folha, raiz, caule para avaliar a composição mineral, determinando os teores de fósforo (P), potássio (K), cálcio ( $Ca^{+2}$ ), magnésio ( $Mg^{+2}$ ), alumínio ( $Al^{+3}$ ), nitrogênio(N) e ferro ( $Fe^{+2}$ ). Através das correlações entre composição química de solo e sua abundância, as espécies

foram classificadas em quatro grupos funcionais a partir do melhor ajuste dos dados a 4 equações : (1) **MOxCa** = Competidoras Calcícolas (CC) constituídas pelas espécies *Rhamnidium elaeocarpum*, *Luehea divaricata*, *Myracrodruon urundeuva*, *Casearia rupestris*, *Dilodendron bipinnatum* e *Magonia pubescens*; (2) **MO-Al<sup>2</sup>** = Competidoras Semitolerantes ao Alumínio (ASC) constituídas pela *Alibertia edulis*, *Myrcia tomentosa*, *Protium heptaphyllum*, *Myrcia splendens*; (3) **AB<sup>3</sup>x(Al/2)** = Competidoras Tolerantes ao Alumínio (ATC) constituídas pela *Vochysia tucanorum*, *Terminalia argentea*, *Pera glabrata*, *Siparuna guianensis*, *Salvertia convallariodora*, *Annona crassiflora*, *Xylopia aromatica*, *Tapirira guianensis*, *Astronium fraxinifolium*, *Erythroxylum suberosum*; (4) **Al<sup>3</sup>xMO<sup>2</sup>** = Tolerantes ao Alumínio (AT) com os espécies *Byrsonima crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Curatella americana*. A análise mineral mostrou diferenças na alocação de nutrientes e alumínio. Os grupos ATC, ASC e AT que se adaptam melhor em solos de menor fertilidade, mostram padrão de alocação diferenciado em relação ao acúmulo de Fe<sup>+2</sup>, P, K e Ca<sup>+2</sup> nas folhas e de K, P, Ca<sup>+2</sup> e Mg<sup>+2</sup> na raiz quando comparado com o grupo CC. Espécies do grupo ATC acumulam alumínio em toda a planta, além disso têm maiores teores de N nas raízes que AT e ASC (os outros grupos de tolerantes ao Al<sup>+3</sup>). CC, ao contrário, mostra um acúmulo de Fe<sup>+2</sup> nas folhas. A teoria CSR tem adequação na vegetação do Cerrado, especialmente por permitir que sejam abordados grupos de estratégias primárias, como tolerantes ao estresse (AT), e estratégias secundárias, com as Competidoras Semitolerantes ao alumínio (ASC) e as Competidoras Tolerantes ao Alumínio (ATC). A maior quantidade de N nas raízes foi encontrado nas espécies do grupo ATC, o grupo funcional de maior crescimento nos solos ácidos, mostrando que o maior investimento nas raízes mantém o crescimento da planta em solos com deficiências minerais. Isso está de acordo com as previsões da teoria R\* de Tilman, portanto, ambas as teorias são adequadas para a abordagem da ecologia funcional do Cerrado.

## ABSTRACT

NASCIMENTO, Márcia da Silva. M.Sc. Universidade Federal de Viçosa, June, 2011. **Functional ecology and allocation patterns of aluminum and nutrients in woody plants of the cerrado.** Adviser: João Augusto Alves Meira Neto.

The Brazilian *Cerrado* is one of the world's largest tropical savannas in scope and in terms of biodiversity. The occurrence of the *Cerrado* is determined by climatic factors, but a strong relationship between soil types and the overlying vegetation has been observed. Nevertheless, the functional ecology of the *Cerrado* and the establishment of functional groups are still poorly studied. This study aims to establish functional groups of plant species from the *Cerrado* and discuss the results on the basis of two theoretical approaches: Grime (1977) classifies the plants due to its occurrence in different environments into functional groups as competitors, stress tolerators and ruderals (C-S-R triangle theory). In his ( $R^*$ -model) resource competition theory, Tilman (1984) reflects about potentially competing species causing the competitive exclusion of species less adapted because of more effective resources exploitation. The presented study was realized at Paraopeba National Forest, MG, where five different vegetation-soil combinations were studied: Mesotrophic and dystrophic Cerradão, two forms of savannah woodland, both above Red Latosol; typical savannah vegetation, so-called *Cerrado sensu stricto*, was found above Cambisol, and Red or Yellow-Red Latisol. In each combination, five permanent plots of 20 x 20 m were established. All trees with a circumference at ground level greater than or equal to 10cm within the plots were identified. In each plot, soil samples were collected with three repetitions totaling 75 samples. 23 species were selected, presumably forming different functional groups. Leaves, roots, wood and bark were collected from five individuals from each species selected to evaluate mineral composition. Concentrations of phosphorus (P), potassium (K), calcium ( $Ca^{2+}$ ), magnesium ( $Mg^{2+}$ ), aluminum ( $Al^{3+}$ ), nitrogen (N) and iron ( $Fe^{2+}$ ) were analyzed. By correlations between different soil properties and their abundance, species were classified into four functional groups from the best fit of the data to four mathematical equations: (1) **MOxCa**

= Calcicole-Competitors (CC) consisting of the species *Rhamnidium elaeocarpum*, *Luehea divaricata*, *Myracrodruon urundeuva*, *Casearia rupestris* *Dilodendron bipinnatum* and *Magonia pubescens*; (2) **MO-AI<sup>2</sup>** = Competitors Semitolerators Aluminum (ASC) established by *Alibertia edulis*, *Myrcia tomentosa*, *Protium heptaphyllum*, *Myrcia splendens*; (3) **AB<sup>3</sup>x(AI/2)** = Competitors Tolerators Aluminum (ATC) constituted by *Vochysia tucanorum*, *Terminalia argentea*, *Pera glabrata*, *Siparuna guianensis* *Salvertia convallariodora*, *crassiflora Annona*, *Xylopia aromatica*, *Tapirira guianensis* *Astronium fraxinifolium*, and *Erythroxylum suberosum*; and (4) **AI<sup>3</sup>xMO<sup>2</sup>** = Tolerators Aluminum (AT) with the species *Byrsonima crassifolia*, *Eugenia dysenterica*, and *Curatella americana*. The stoichiometric analysis showed little difference in the allocation of nutrients and aluminum. The groups ATC, ASC and TA that are better suited to low soil fertility, show different stoichiometric patterns in the accumulation of Fe<sup>+2</sup>, P, K and Ca<sup>+2</sup> in leaves and K, P, Ca<sup>+2</sup> and Mg<sup>+2</sup> at the root compared to species from the CC group. Species from group ATC accumulate a lot of aluminum throughout the plant. They also show higher N concentration in roots than AT and ASC (the other groups tolerant to Al<sup>+3</sup>). CC, in contrast, shows an accumulation of Fe<sup>+2</sup> in leaves. The C-S-R triangle theory from Grime can be applied to the *Cerrado* vegetation, especially because groups show primary strategies, such as stress tolerant of aluminum toxicity (AT), and secondary strategies, with the competitors semitolerant aluminum (ASC) and the competitors tolerant aluminum (ATC). The largest amount of N in the roots has been found in the species of group ATC, the functional group with highest growth in acid soils, showing that greater investment in roots keep the plant growth positive in soils with nutrient deficiencies. This supports the predictions of the resource competition theory from Tilman. Therefore, both theories are likely to address the functional ecology of the *Cerrado*.

## 1. INTRODUÇÃO

No início do século XX a ecologia vegetal passou a dar ênfase a processos que poderiam explicar a criação e manutenção dos grupos funcionais de plantas. Os primeiros métodos criados para descrição e classificação da vegetação e adotados pelos profissionais da botânica foram Braun Blanquet(1928), Rauankiaer(1934) e Dansereau(1951). Um dos grandes colaboradores da pesquisa na área da botânica foi Eugene Warming, considerado pai da ecologia vegetal. Ele concentrou suas pesquisas no Cerrado brasileiro onde investigou adaptações a seca, observações sobre fenologia e desenvolvimento de plantas invasoras Coutinho (2002). Com o passar do tempo, foram incluídos nos estudos científicos desta área, processos ecofisiológicos na estruturação de ecossistemas Odum (1969), interações bióticas que determinam a distribuição e a abundância dos organismos na estruturação de comunidades, Krebs (1972). As complexas relações ocorrentes no bioma Cerrado tem revelado linhas de pesquisas relevantes concernentes a relação solo-planta tendo como principal abordagem a deficiência de nutrientes no solo e a alta taxa de alumínio trivalente. É surpreendente que apesar de exibir essas características, a vegetação de Cerrado constitui-se numa das maiores savanas tropicais do mundo em extensão (Lomolino *et al.*, 2006) e biodiversidade (Sano *et al.*, 2008). Em que pese os fatores climáticos determinantes da ocorrência do Cerrado, muitos estudos tem evidenciado a forte relação das classes de solo com a vegetação subjacente (Haridasan,1994; Reatto *et al.*,2001; Schaefer *et al.*,2009). A maioria dos solos do Cerrado são tipicamente ácidos, com baixa capacidade de troca catiônica e altos níveis de saturação de alumínio (Furley & Ratter,1988).

Neri (2007) caracterizou quatro classes de solo no Cerrado da FLONA de Paraopeba, MG, Latossolo Vermelho, Latossolo Vermelho-Amarelo, Latossolo Amarelo e Cambissolo Amarelo (Figura 1) e inferiu que as variáveis pedológicas estariam influenciando os parâmetros florísticos-sociológicos, como riqueza, densidade e biomassa. Observou que a região apresenta maior área com solos distróficos, de fertilidade extremamente baixa, com alta concentração de óxidos de ferro, alumínio e manganês.

A toxidez do alumínio é um dos principais problemas de cultivares nos solos do Cerrado. Ele interfere no crescimento das plantas, principalmente em solos com pH abaixo de 5,0 levando a solubilidade do Al para a forma mais tóxica  $Al^{+3}$ . Isto ocorre porque os baixos pHs dos solos do Cerrado que permitem a liberação de alumínio na sua forma trivalente,  $Al^{+3}$ , extremamente reativa e com alto poder de ligação em locais de cargas negativas no corpo das plantas. Portanto, nos solos ácidos do Cerrado existem grandes quantidades de  $Al^{+3}$  que interfere de várias maneiras no metabolismo das plantas. Esse cátion altera a permeabilidade da membrana plasmática; nas paredes celulares o  $Al^{+3}$  retira o  $Ca^{+2}$  e altera suas propriedades físicas; junto ao DNA e RNA, a presença de  $Al^{+3}$  causa erros de transcrição e de tradução por causarem alterações nas conformações de proteínas e de enzimas envolvidas na síntese protéica (Kochian *et al.*,2005). Entretanto, Haridassan, (2008) afirma que plantas nativas do Cerrado utilizam mecanismos para resistir ao  $Al^{+3}$  quelando este cátions ou acumulando nos vacúolos. Estes mecanismos conferiram vantagens competitivas para espécies nativas do Cerrado, agindo como fator seletivo de espécies mais adaptados a solos ácidos. Estudos anteriores resultaram em listas de espécies lenhosas acumuladoras de alumínio, que ocorrem em solos com forte deficiência de Cálcio (calcífugas) e espécies calcícolas que tem preferência por locais com altos teores de Cálcio (Ratter, 1977; Haridasan, 2005).

Recentemente tem sido investigada a abordagem funcional dos ecossistemas de Cerrado com relação ao fogo (Hoffman e Franco, 2006; Peterson, *et al*, 2007 ) e ao alumínio no solo (Haridasan, 2008). Contudo, o estabelecimento de grupos funcionais (Dyer, *et al.*,2001; Cornelissen *et al.*, 2003) ainda é incipiente em relação as plantas lenhosas do Cerrado, principalmente, si tratando de uma vegetação que é megadiversa e que potencialmente acumula muitas adaptações aos fatores de estresses. A abundância de espécie é um fator preponderante para considerações acerca de adaptabilidade das espécies lenhosas do Cerrado a diferentes ambientes edáficos, e a determinação de padrões de alocação de nutrientes e alumínio podem contribuir para esclarecimentos na formação de grupos funcionais do Cerrado.

Dentre as abordagens teóricas que delimitam grandes grupos funcionais, Grime (1977) define estratégias adaptativas de espécies que apresentam mesmas

respostas a estresses e distúrbios que determinam os padrões de distribuição de abundância e riqueza de espécies na formação de grupos funcionais. Assim, ele estabeleceu a teoria CSR em que espécies se enquadram em três estratégias primárias: (C) para determinar o grupo vinculado à competição por água e nutrientes em ambientes produtivos, (S) grupos de plantas que utilizam estratégias diferentes em ambientes de contínuo estresse e (R) para determinação de espécies ruderais, aquelas capazes de sobreviver a distúrbios freqüentes. Além dessas estratégias primárias, existiriam as estratégias secundárias, intermediárias entre duas de cada uma daquelas, ou intermediárias às três estratégias primárias. Em outra abordagem teórica, Tilman (1982) apresentou um modelo de dinâmica de população baseado no uso de recursos por espécies potencialmente competidoras e representado graficamente por isolinhas. Para esse autor uma planta boa competidora é aquela capaz de manter sua população em níveis baixos de recursos, atingindo um nível de equilíbrio conhecido como  $R^*$ , ou R estrela, definido como a quantidade mínima de recurso necessária a uma espécie para sobreviver em um determinado ambiente, em que diferentes estratégias estariam vinculadas a *trade-offs* entre a capacidade de crescer tolerando baixos teores de nutrientes ou crescer tolerando baixa intensidade de luz. Em ecologia, *trade-offs* pode ser definido como compensações que a planta faz para lidar com restrições do habitat a determinado recurso, luz ou nutrientes Tilman, ( 1982). Padrões de alocação de alumínio e nutrientes podem confirmar as espécies dos grupos funcionais de plantas lenhosas do Cerrado.

Com o objetivo de esclarecer questões sobre a ecologia funcional das plantas lenhosas do Cerrado brasileiro, esse estudo tem hipóteses relacionadas aos fatores edáficos potencialmente seletivos submetidos a forte estresse. As hipóteses são as seguintes:

- A distribuição de abundância de espécies aliado ao gradiente gerado por diferentes tipos de solo na FLONA de Paraopeba configura a existência de grupos funcionais.
- Grupos funcionais de plantas lenhosas do Cerrado utilizam diferentes padrões de alocação de alumínio e de nutrientes na folha, raiz e caule, o que mostra a existência de diferentes grupos funcionais.

Sendo aceitas as hipóteses formuladas: qual seria a melhor abordagem teórica para explicar a ecologia funcional do Cerrado, a teoria CSR de Grime (1977, 1979, 2001) ou a teoria R\* de Tilman (1982, 1988)?

## **2. MATERIAL E MÉTODOS**

### **2.1 Área de estudo**

A Floresta Nacional de Paraopeba, MG tem sido alvo de investigação de muitos estudos sobre Cerrado, principalmente por apresentar diferentes fitofisionomias de Cerrado associadas a diferentes tipos de solo (Figura 1). Está localizada a 90km de Belo Horizonte e a 625km de Brasília. Situa-se nas coordenadas geográficas de 19°16'15''S de latitude e 44°23'27''W de longitude e altitude variável de 734m ao sul e 750m ao norte. Por iniciativas do Governo Federal, no ano de 1950 operou como Horto Florestal, em 1964 passou a categoria de Estação Florestal de Experimentação (EFLEX) e em 2001 foi denominada Floresta Nacional de Paraopeba (FLONA) tendo entre outros objetivos, promover o desenvolvimento de pesquisa básica e aplicada (Neri, 2007).

O clima na região classifica-se como Aw de Köppen, com duas estações bem definidas: uma chuvosa no verão e outra seca no inverno (Klink, & Machado, 2005).

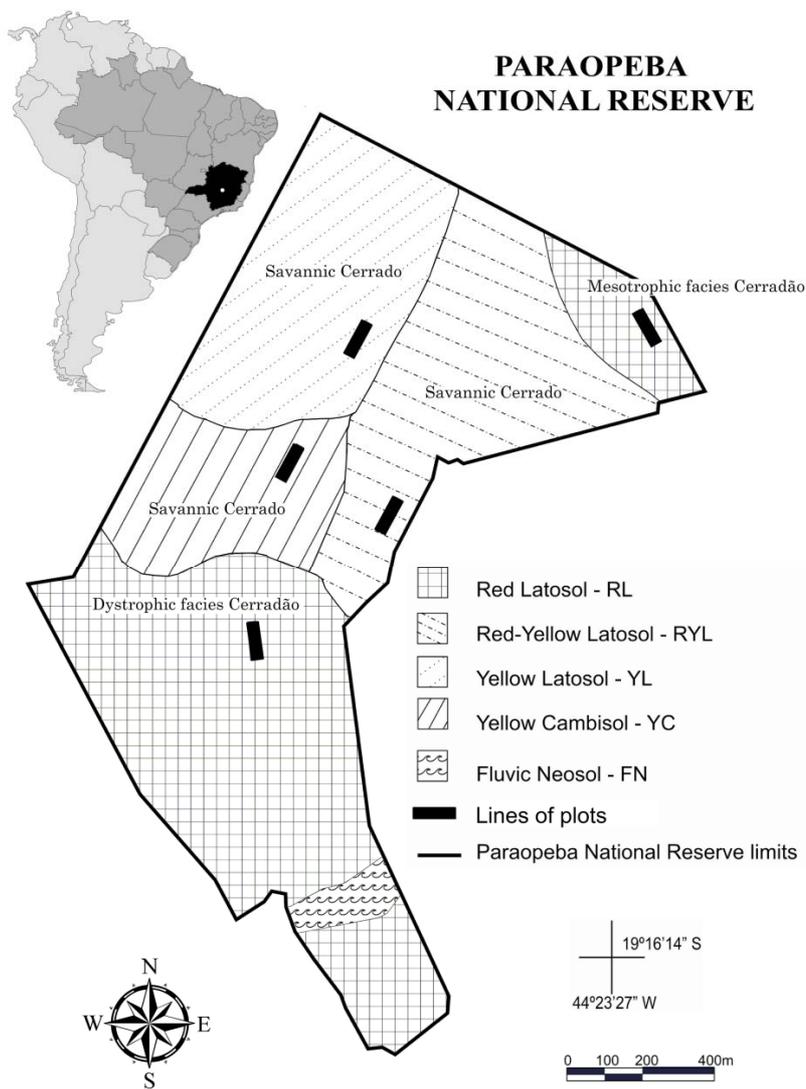


Figura 1. Mapeamento de solos da FLONA Paraopeba, Minas Gerias, Brasil. (RL- Latossolo Vermelho; RYL – Latossolo Vermelho-Amarelo; YL – Latossolo Amarelo; YC – Cambissolo Amarelo; FN – Neossolo Flúvico; Parcelas do levantamento – 20x100m (Neri,2007)

## 2.2 Análise Florística e Fitossociológica

Para a amostragem florística foi utilizado o método de parcelas permanentes (Mueller-Dombois & Ellenberg, 1974; Felfili, 2005) distribuídas em três transectos em áreas de Cerrado *stricto sensu* e dois transectos em área de Cerradão. Foram utilizadas as parcelas instaladas por Neri (2007) cinco transectos de 20 x 100 m subdivididos em 25 parcelas de 20 x 20m, totalizando 1ha, alocadas em áreas de diferentes tipos de solo. Foram amostrados indivíduos com circunferência à altura do solo (CAS)  $\geq 10$  cm exceto lianas. As coletas botânicas foram realizadas no período de Janeiro à Fevereiro de 2010, identificadas em campo, quando possível, e posteriormente, confirmadas em bibliografia especializada, com auxílio de especialistas, e/ou mediante consulta ao Herbário do Departamento de Biologia Vegetal da Universidade Federal de Viçosa (VIC). Os dados de estrutura foram avaliados com auxílio do programa Mata Nativa (CIENITEC,2006). Os nomes científicos foram conferidos no site [WWW.mobot.org\search\vast.html](http://WWW.mobot.org/search/vast.html). O sistema de classificação adotado para famílias e gêneros foi baseado no APG III (APG III,2009).

## 2.3 Coleta de amostras do solo

No período de Janeiro à Fevereiro de 2010, foram coletadas 25 amostras compostas, cada uma delas formada por 10 sub-amostras coletadas de pontos diferentes da parcela; marcou-se um ponto central, do qual mediu-se um raio de 5 metros demarcando 10 pontos equidistantes. Posteriormente, as 10 sub-amostras foram homogeneizadas, identificadas e acondicionadas em sacos plásticos, totalizando 500g cada amostra (MOONEY, 2006). Foram realizadas 3 repetições por parcelas, totalizando 75 amostras de solo. Após secagem ao ar livre foram encaminhadas ao Laboratório de Análise de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Após completa secagem das amostras foi realizado o destorroamento com rolo de madeira e peneiramento com malha de 2mm. A terra fina seca ao ar (TFSA) foi transferida para recipiente devidamente apropriado e identificada. Foram determinados os teores de fósforo(P), potássio(K), ferro( $Fe^{+2}$ ), cálcio( $Ca^{+2}$ ),

alumínio( $\text{Al}^{+3}$ ), magnésio( $\text{Mg}^{+2}$ ), matéria orgânica(MO) e de nitrogênio(N). Para extração dos minerais foi utilizado extrator Mehlich-1 na relação solo extrator 1:10 e para avaliação utilizou-se espectrofotômetro de emissão em chama com calibração adequada para cada tipo de elemento químico (EMBRAPA, 2006).

## 2.4 Coleta de amostras vegetais

Foram selecionadas 23 espécies lenhosas abundantes formadoras de grupos funcionais, segundo classificação de Neri *et al* (Dados não publicados). Dessas foram amostrados cinco indivíduos por espécie, dos quais foram coletadas amostras de folha, raiz, caule (lenho e casca) para avaliação mineral, determinando os teores de fósforo(P), potássio(K), cálcio( $\text{Ca}^{+2}$ ), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), alumínio( $\text{Al}^{+3}$ ), nitrogênio(N) e Ferro( $\text{Fe}^{+2}$ ). As coletas do material vegetativo seguiram os protocolos de Kalra (1997) e Cornelissen et al. (2001):

1. Folhas verdes completamente expandidas, sem injúria por herbivoria ou deformações aparentes, retiradas de diferentes posições dos ramos, em quantidade aproximada de 30g.
2. Amostras de caules com aproximadamente 50 cm de comprimento e 10 cm de diâmetro de onde foram separados lenho (50g) e casca (20g).
3. As raízes coletadas estavam em estágio de crescimento secundário sem injúria, com comprimento de 50 cm.

Após coleta, as amostras foram lavadas com água destilada, acondicionadas em sacos de papel, secas em estufas de ventilação forçada a uma temperatura de 68 a 72°C, por 72 horas e encaminhadas ao Laboratório do Departamento de Solos da Universidade Federal de Viçosa. Em seguida, as amostras foram pesadas em balança de precisão e moídas em moinhos de facas de aço inox e acondicionadas em frascos de vidro.

Para determinação dos teores de P, K,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Fe}^{+2}$  foi realizada a digestão nítrico-perclórica onde foi pesado 0,5g do material moído, despejado em tubos de digestão e adicionando-se 10mL da mistura de ácido nítrico + ácido

perclórico na proporção 4:1, em tubos de digestão. Em capela de exaustão, a chapa foi pré-aquecida a 80°C e a temperatura foi elevada gradativamente até atingir 200°C. Assim que o extrato ficou cristalino, foi retirado da chapa para esfriar e completou-se o volume para 25mL com água deionizada.

A extração de nitrogênio foi realizada com digestão sulfúrica, de 0,2g do material moído, adicionando-se 5mL da mistura de ácido sulfúrico dentro de capela de exaustão, em bloco digestor pré-aquecido a 120°C, aumentando-se a temperatura gradativamente até atingir 350°C. Assim que o extrato ficou cristalino, foi retirado para esfriar e completou-se o volume para 50mL com água deionizada. Para determinação da concentração de nitrogênio, o tubo do bloco digestor com o extrato foi levado ao destilador Kejdhal, adicionou-se 25mL de NaOH e iniciou-se a destilação. Na reação do  $\text{NH}_4^+$  com NaOH houve liberação de  $\text{NH}_3$  que foi arrastado pelo vapor d'água para um Erlenmeyer de 50mL contendo 20mL de indicador de ácido bórico, que forneceu um  $\text{H}^+$  para recompor o  $\text{NH}_4^+$ , que foi dosado com uma solução de HCl 1N, usando-se uma microbureta.

A determinação de potássio foi realizada com uma alíquota de 1mL do extrato transferida para tubo de ensaio, à qual adicionou-se 24mL de água deionizada e agitou-se para determinação da emissão de luz no fotômetro de chama. Usou-se curva padrão de calibração com solução de até 10mg/L de K.

Para a determinação de cálcio, magnésio e de alumínio, uma alíquota de 1mL do extrato foi transferido para tubo de ensaio, adicionando-se 1,5mL de solução de  $\text{SrCl}_2$  a 16.000mg/L, completando-se o volume para 15mL, com água deionizada, agitou-se para determinação da emissão de luz no espectrômetro de absorção atômica. A curva padrão de calibração para  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Al}^{+3}$  foi de até 20mg/L e Mg até 4mg/L.

A determinação de ferro foi obtida com uma alíquota de 5mL do extrato nítrico-perclórico e transferida para tubo de ensaio, ao qual adicionou-se 15mL de água deionizada. Foi realizada a agitação para determinação da emissão de luz no espectrômetro de absorção atômica. A curva padrão de calibração para  $\text{Fe}^{+2}$  foi de até 20mg/L ( Allen, 1974).

## 2.5 Análise Estatística

As análises para avaliação da distribuição de N, P, K, Fe<sup>+2</sup>, Al<sup>+3</sup>, Mg<sup>+2</sup> e Ca<sup>+2</sup> nas amostras vegetais foram realizadas através do software Statistica . Os dados foram submetidos a Análise de Variância Simples (One way ANOVA) ou de múltiplos fatores, para demonstração das características amostrais de cada grupo funcional (média e desvio padrão). Foi realizado teste paramétrico, e, após teste de homogeneidade (Levene's test), com nível de significância  $p \leq 0,05$  de 95% para testar se teores médios dos minerais são maiores ou menores entre os grupos funcionais (Crawley, 2007), quando os valores não eram significativos foram transformados em logaritmos, raiz ou exponencial. Quando os dados não se ajustaram à normalidade, foi realizado teste de Kruskal-Wallis.

Os modelos que correlacionam a distribuição da abundância de espécies aos atributos químicos de solo foram propostos a partir do melhor ajuste dos dados às equações proposta por Neri *et al* (Dados não publicados):

$$\text{Teor de MO (Matéria Orgânica) x teor de Ca} = \text{abundância de Competidoras Calcícolas (CC)} \quad (1)$$

$$\text{Teor de MO (Matéria Orgânica) - (teor de Al)}^2 = \text{abundância de Competidoras Semitolerantes ao Alumínio (ASC)} \quad (2)$$

$$(\text{Área Basal})^3 \times (\text{teor de Al}/2) = \text{abundância de Competidoras Tolerantes ao Alumínio (ATC)} \quad (3)$$

$$(\text{Teor de Al})^3 \times (\text{teor de MO})^2 = \text{abundância de Tolerantes ao Alumínio (AT)} \quad (4)$$

Foram feitas regressões da abundância das espécies em função dos modelos das equações 1 a 4 para verificar a qual grupo funcional a espécie seria agrupada. As espécies que apresentaram ajuste significativo a um modelo foram reunidas no respectivo grupo funcional.

### 3. RESULTADOS

Dados da composição química de amostras superficiais dos cinco diferentes tipos de solo nesse Cerrado revelaram propriedades químicas diferentes. Não houve diferenças significativas nas concentrações de P, K,  $\text{Fe}^{+2}$ ,  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Al}^{+3}$  nos solos do tipo Latossolo Amarelo, Latossolo Vermelho-Amarelo e Cambissolo sobre os quais ocorrem Cerrado *stricto sensu*, porém o Cerradão Mesotrófico apresentou diferenças estatísticas significativas (Figura 2).

#### 3.1 Teor de Fósforo (P) no solo

O maior teor de P disponível foi  $3,18\text{mg/dm}^3$  encontrado em Cerradão Mesotrófico sobre Latossolo Vermelho (CM-LV) seguido pelo Cerradão Distrófico  $2\text{mg/dm}^3$  sobre Latossolo Vermelho (CD-LV), enquanto que valores baixos foram registrados nas fisionomias de Cerrado *stricto sensu* sobre Cambissolo (Css-Cxb), Latossolo Amarelo (Css-LA) e Latossolo Vermelho-Amarelo (Css-VA) com valores aproximadamente  $1\text{mg/dm}^3$ , não foi verificada diferença estatística significativa entre tipos de solos do Cerrado s.s. (Figura 2).

#### 3.2 Potássio solúvel no solo

As análises do teor de K revelaram que apesar de Cerradão Distrófico e Mesotrófico estarem sobre mesmo tipo de solo, houve diferenças consideráveis entre si, sendo que o CM-LV teve valores mais elevados de K  $159,2\text{mg/dm}^3$  e o CD-LV apresentou menor teor  $35\text{mg/dm}^3$ . Nos demais ambientes os teores de K tiveram médias próximas a  $101\text{mg/dm}^3$  sem diferença estatística (Figura 2).

### 3.3 Ferro solúvel no solo

As amostras de Latossolo Vermelho apresentaram teores de  $\text{Fe}^{+2}$  baixos variando de  $30,88\text{mg/dm}^3$  no Cerradão Mesotrófico a  $40,4\text{mg/dm}^3$  no Cerradão distrófico, no entanto a presença deste micronutriente alcançou níveis mais elevados em Css-LA ( $80,39\text{ mg/dm}^3$ ), seguido Css-Cxb ( $71,33\text{ mg/dm}^3$ ) e Css-VA ( $59,7\text{ mg/dm}^3$ ) respectivamente (Figura 2).

### 3.4 Cátions Trocáveis no solo

Dentre as variáveis investigadas o Cerradão Mesotrófico apresentou diferenças muito significativas de teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  e  $\text{Al}^{+3}$  em relação ao Cerradão Distrófico. A principal diferença foi em relação ao teor de  $\text{Ca}^{+2}$  e  $\text{Al}^{+3}$ , o Mesotrófico não apresentou  $\text{Al}^{+3}$  e possui alta concentração de  $\text{Ca}^{+2}$  ( $5,95\text{ cmolc/dm}^3$ ), enquanto que o Cerradão Distrófico mostrou níveis baixos de  $\text{Ca}^{+2}$  ( $0,16\text{ cmolc/dm}^3$ ) e altos de  $\text{Al}^{+3}$  ( $2,97\text{ cmolc/dm}^3$ ). Entre as formas de Cerrado *stricto sensu* não houve diferenças significativas pois os níveis de  $\text{Ca}^{+2}$  foram baixos para todos os solos e o teor de  $\text{Al}^{+3}$  apresentou variação de 2,05 a  $2,37\text{ cmolc/dm}^3$ . Todos os ambientes apresentaram teores baixos de  $\text{Mg}^{+2}$ , sendo que o Cerradão Mesotrófico teve significativamente maiores teores,  $1,14\text{cmolc/dm}^3$ . Os demais apresentaram valores baixos próximos, de  $0,08\text{cmolc/dm}^3$  no Cerradão Distrófico até  $0,44\text{cmolc/dm}^3$  Cerrado *stricto sensu* sobre Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 2).

### 3.5. Matéria Orgânica e Nitrogênio no solo

O teor de nitrogênio (N) correlaciona-se positivamente com a quantidade de matéria orgânica (MO). Os solos sob Cerradão apresentaram valores maiores de N e MO, enquanto os solos amarelos, Latossolo Amarelo e Cambissolo Amarelo, tiveram os menores valores de N e MO (Figura 2). Essa correlação linear é forte, visto que

R<sup>2</sup> foi significativo (Figura 3). Ambientes com maior teor de N apresentou mais matéria orgânica, enquanto que os ambientes com menores valores de N apresentaram menores concentrações de matéria orgânica.

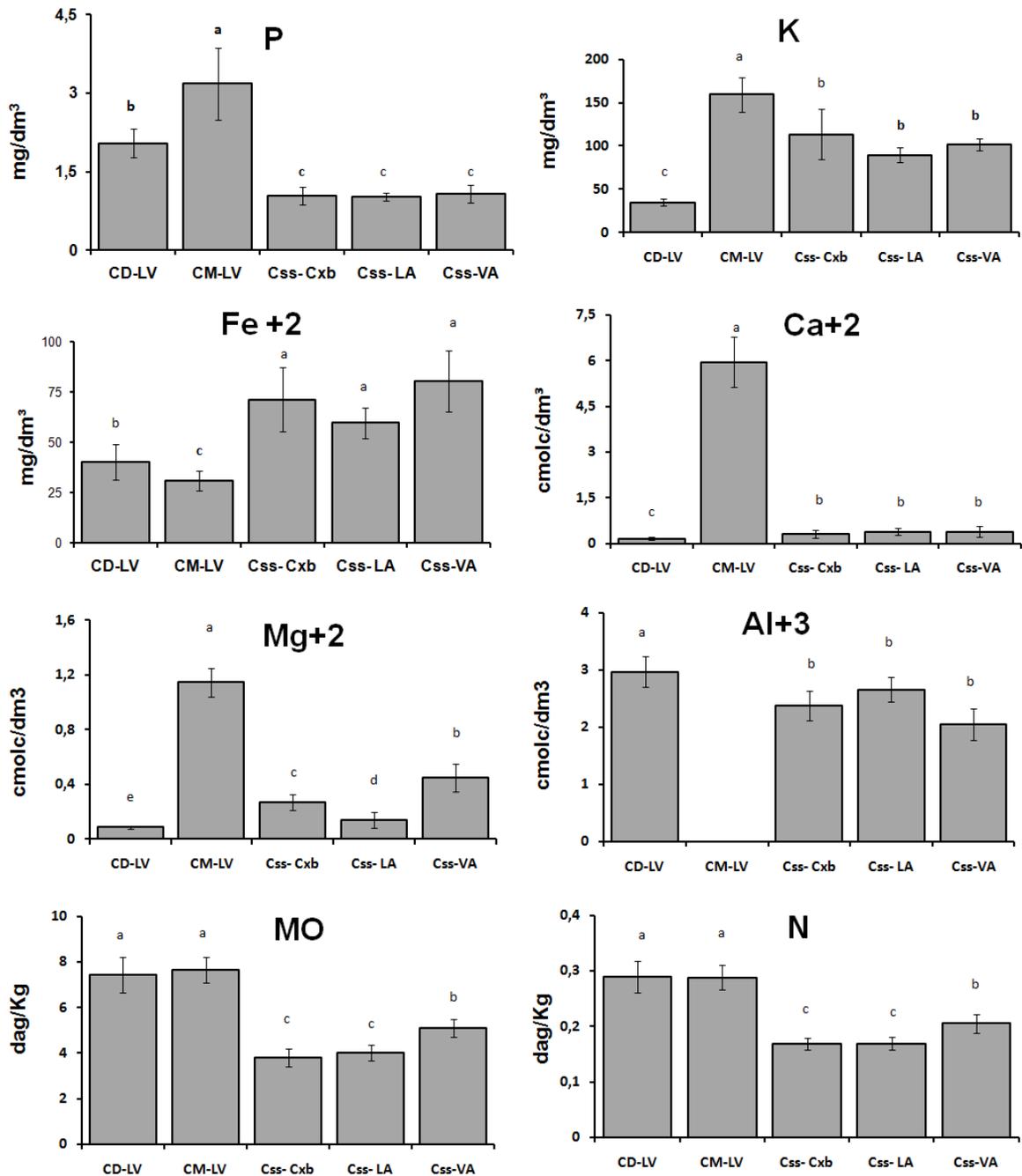


Figura 2. Composição química dos solos na FLONA Paraopeba (média e desvio padrão) em fitofisionomias de Cerradão Distrófico sobre Latossolo Vermelho (CD-LV); Cerradão Mesotrófico sobre Latossolo Vermelho (CM-LV); Cerrado *stricto sensu*

sobre Cambissolo(Css-Cxb); Cerrado *stricto sensu* sobre Latossolo Amarelo (Css-LA); Cerrado *stricto sensu* sobre Latossolo Vermelho-Amarelo(Css-VA). As médias seguidas da mesma letra nas colunas não diferem entre si estatisticamente pelo teste de Tukey ( $p < 0,05$ ).

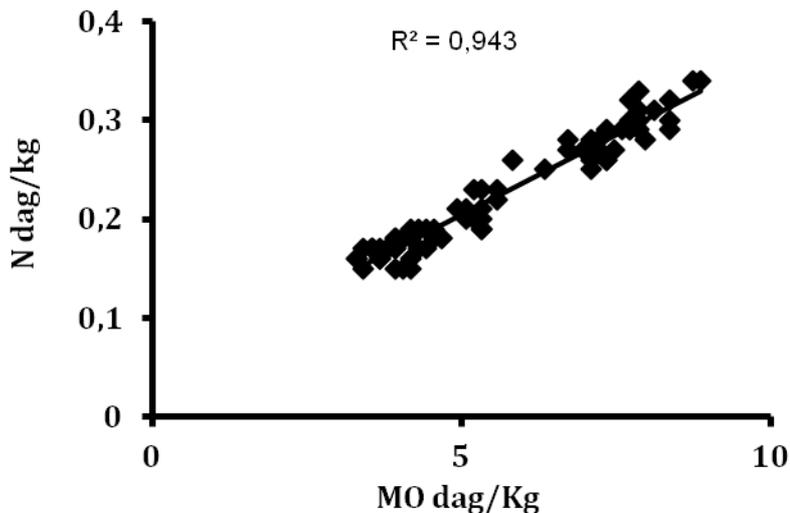


Figura 3. Correlação entre matéria orgânica (MO) e Nitrogênio (N) nos solos da FLONA de Paraopeba.

### 3.6 Padrão de abundância em diferentes nichos edáficos do cerrado

Foram listadas 51 espécies de 29 famílias as quais apresentaram número de indivíduos  $\geq 20$ , perfazendo um total de 4.214 indivíduos. *Miconia albicans* foi a espécie mais abundante com 556 indivíduos, seguida por *Alibertia edulis* com 375 e *Pera glabrata* com 223 indivíduos (Tabela1).

Tabela 1. Lista de espécies que apresentaram  $\geq 20$  (Ni) número de indivíduos (árvores e arbustos com CAS $\geq$ 10cm) em cinco trechos de cerrado na FLONA de Paraopeba, MG

Nome Científico	Família	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni	Ni
		CD-LV	CM-LV	CssCxb	CssLA	CssVA	total
<i>Alibertia edulis</i> (Rich.) A. Rich. ex DC.	Rubiaceae	3	219	12	18	123	375
<i>Annona crassiflora</i> Mart.	Annonaceae	4	9	5	2	9	29
<i>Aspidosperma tomentosum</i> Mart.	Apocynaceae	7	5	0	0	11	23
<i>Astronium fraxinifolium</i> Schott ex Spreng.	Anacardiaceae	12	12	0	0	2	26
<i>Baccharis platypoda</i> DC.	Asteraceae	0	0	2	44	0	46
<i>Bowdichia virgilioides</i> Kunth	Fabaceae	51	10	1	7	9	78
<i>Brosimum gaudichaudii</i> Trécul	Moraceae	25	1	0	0	13	39
<i>Byrsonima crassifolia</i> (L.) Kunth	Malpighiaceae	2	0	63	61	14	140
<i>Callisthene major</i> Mart.	Vochysiaceae	1	3	0	0	34	38
<i>Casearia rupestris</i> Eichler	Salicaceae	0	21	0	0	0	21
<i>Coussarea cornifolia</i> (Benth.) Benth. & Hook. f	Rubiaceae	67	0	0	0	3	70
<i>Curatella americana</i> L.	Dilleniaceae	0	0	26	8	4	38
<i>Dilodendron bipinnatum</i> Radlk.	Sapindaceae	0	23	0	0	0	23
<i>Erythroxylum daphnites</i> Mart.	Erythroxylaceae	1	10	38	36	28	113
<i>Erythroxylum deciduum</i> A. St.-Hil.	Erythroxylaceae	0	0	24	6	0	30
<i>Erythroxylum suberosum</i> A. St.-Hil.	Erythroxylaceae	1	1	15	9	21	47
<i>Eugenia dysenterica</i> DC.	Myrtaceae	0	6	65	25	27	123
<i>Guapira noxia</i> (Netto) Lundell	Nyctaginaceae	3	0	0	2	16	21
<i>Hymenaea stigonocarpa</i> Mart. ex Hayne	Fabaceae	12	4	0	6	19	41
<i>Kielmeyera coriacea</i> Mart. & Zucc.	Clusiaceae	0	1	35	7	22	65
<i>Leptolobium dasycarpum</i> Vogel	Fabaceae	4	8	4	16	42	74
<i>Luehea divaricata</i> Mart.	Malvaceae	0	120	0	0	0	120
<i>Machaerium opacum</i> Vogel	Fabaceae	0	9	17	3	17	46
<i>Magonia pubescens</i> A. St.-Hil.	Sapindaceae	0	81	0	0	0	81
<i>Miconia albicans</i> (Sw.) Triana	Melastomataceae	17	0	374	118	47	556
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Anacardiaceae	0	33	0	0	0	33
<i>Myrcia lingua</i> (O. Berg) Mattos & D. Legrand	Myrtaceae	4	5	10	9	41	69

Continua...

Tabela 1. Cont.

Nome Científico	Família	CD-LV	CM-LV	CssCxb	CssLA	CssVA	Ni total
<i>Myrcia splendens</i> (Sw.) DC.	Myrtaceae	31	29	0	4	6	70
<i>Myrcia tomentosa</i> (Aubl.) DC.	Myrtaceae	0	31	1	6	26	64
<i>Myrsine guianensis</i> (Aubl.) Kuntze	Primulaceae	0	3	0	8	26	37
<i>Ocotea</i> sp.	Lauraceae	24	1	0	0	1	26
<i>Pera glabrata</i> (Schott) Poepp. ex Baill.	Euphorbiaceae	0	6	78	118	21	223
<i>Plathymenia reticulata</i> Benth.	Fabaceae	14	1	2	5	1	23
<i>Platypodium elegans</i> Vogel	Fabaceae	1	17	0	0	121	139
<i>Protium heptaphyllum</i> (Aubl.) Marchand	Burseraceae	0	30	0	0	10	40
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	4	11	27	9	51	102
<i>Qualea multiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	8	10	2	1	0	21
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	0	7	31	21	31	90
<i>Rhamnidium elaeocarpum</i> Reissek	Rhamnaceae	0	26	0	0	0	26
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	27	19	1	2	70	119
<i>Rudgea viburnoides</i> (Cham.) Benth.	Rubiaceae	3	9	18	27	31	88
<i>Salvertia convallariodora</i> A. St.-Hil.	Vochysiaceae	0	0	6	14	0	20
<i>Siparuna guianensis</i> Aubl.	Siparunaceae	15	0	0	14	47	76
<i>Styrax camporum</i> Pohl	Styracaceae	54	7	3	12	58	134
<i>Symplocos nitens</i> Benth.	Symplocaceae	0	1	1	49	4	55
<i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	Anacardiaceae	0	4	6	79	50	139
<i>Terminalia argentea</i> Mart.	Combretaceae	0	13	13	0	23	49
<i>Tibouchina</i> sp.	Melastomataceae	0	0	29	16	0	45
<i>Vochysia tucanorum</i> Mart.	Vochysiaceae	0	0	0	1	99	100
<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.	Annonaceae	22	0	2	23	88	135
<i>Zeyheria digitalis</i> (Vell.) L.B. Sm. & Sandwith	Bignoniaceae	0	1	13	3	11	28
<b>Número de indivíduos total (Ni)</b>		417	807	924	789	1277	4214

### 3.6.1 Cerradão Mesotrófico sobre Latossolo Vermelho (Figuras 4 e 5)

A vegetação do Mesotrófico apresentou 807 indivíduos representando 19,1% dos indivíduos da amostragem em 1ha de Cerrado. *Alibertia edulis*, *Luehea divaricata*, *Magonia pubescens*, *Myracrodruon urundeuva*, *Myrcia tomentosa* e *Protium heptaphyllum* foram as espécies mais abundantes. A abundância mais expressiva foi de *Alibertia edulis* que apesar de ser uma espécie de sub-bosque contribuiu com 27% do número de indivíduos no Cerradão Mesotrófico (Figuras 4).

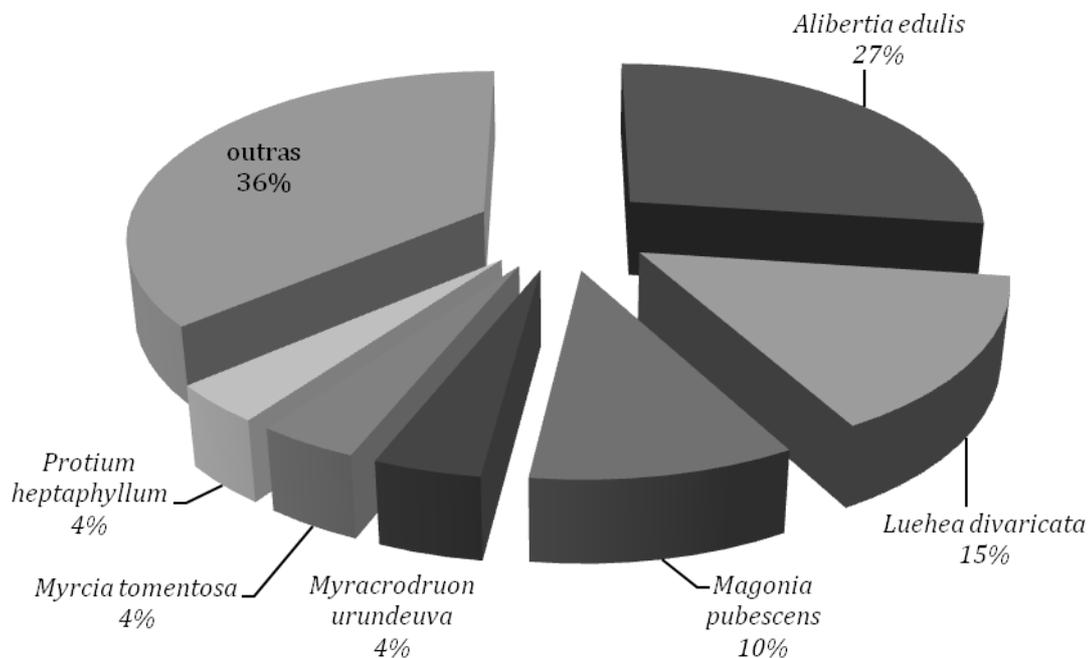


Figura 4. Abundância de espécies no Cerradão Mesotrófico da FLONA de Paraobepa, MG.



Figura 5. Cerradão Mesotrófico sobre Latossolo Vermelho, na FLONA de Paraopeba, MG.

### 3.6.2 Cerradão Distrófico sobre Latossolo Vermelho (Figuras 6 e 7)

O Cerradão Distrófico caracterizou-se pela predominância de espécies arbóreas sobre solo com mais alto teor de  $Al^{+3}$ . Considerando espécies com abundância  $\geq 20$  indivíduos, foi o ambiente que apresentou o menor quantidade de indivíduos, apenas 417. As espécies mais abundantes foram *Coussarea cornifolia*, *Styrax camporum*, *Bowdichia virgilioides*, *Myrcia splendens*, *Roupala montana* e *Brosimum gaudichaudii* (Figuras 6).

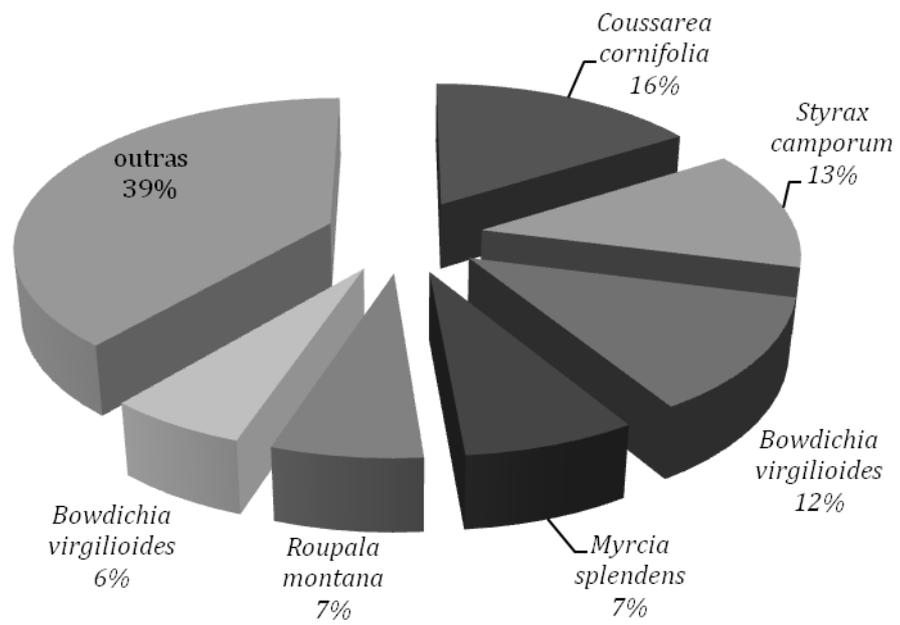


Figura 6. Abundância de espécies no Cerradão Distrófico da FLONA de Paraobepa, MG.



Figura 7. Cerradão Distrófico sobre Latossolo Vermelho na FLONA de Paraobepa, MG.

### 3.6.3 Cerrado *stricto sensu* sobre Cambissolo (Figuras 8 e 9)

As espécies do Cerrado *sensu stricto* (s.s.) em Cambissolo foram caracterizadas por possuir dois estratos, arbustivo-arbóreo e herbáceo-subarbustivo. Nesta fisionomia constatou-se o predomínio de uma espécie, *Miconia albicans*, responsável 374 plantas, representando 41% dos indivíduos da vegetação. Outras espécies mais abundantes observadas foram *Pera glabrata*, *Eugenia dysenterica*, *Byrsonima crassifolia*, *Erythroxylum daphnites* e *Kielmeyera coriacea* (Figuras 8).

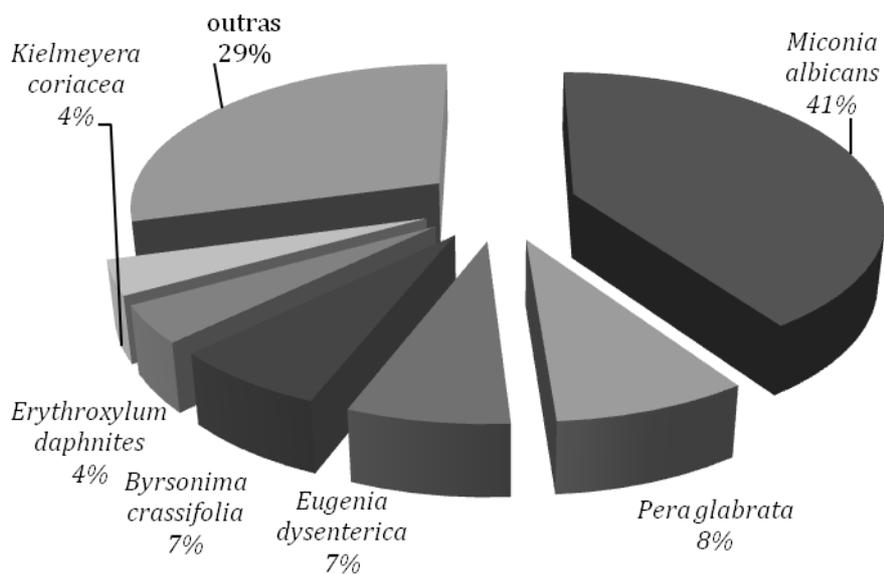


Figura 8. Abundância de espécies no Cerrado s.s. sobre Cambissolo da FLONA de Paraobepa, MG.



Figura 9. Cerrado *stricto sensu* sobre Cambissolo Amarelo na FLONA de Paraopeba, MG.

#### 3.6.4 Cerrado *stricto sensu* sobre Latossolo Amarelo (Figuras 10 e 11)

Esse ambiente foi caracterizado pela presença de dois estratos, arbustivo-arbóreo e herbáceo-subarbustivo. Apesar de estar sobre Latossolo Amarelo a fisionomia da vegetação é semelhante ao encontrado sobre Cambissolo. Foram amostrados 789 indivíduos sendo que as espécies *Miconia albicans* e *Pera glabrata* apresentaram maior abundância (Figuras 10).

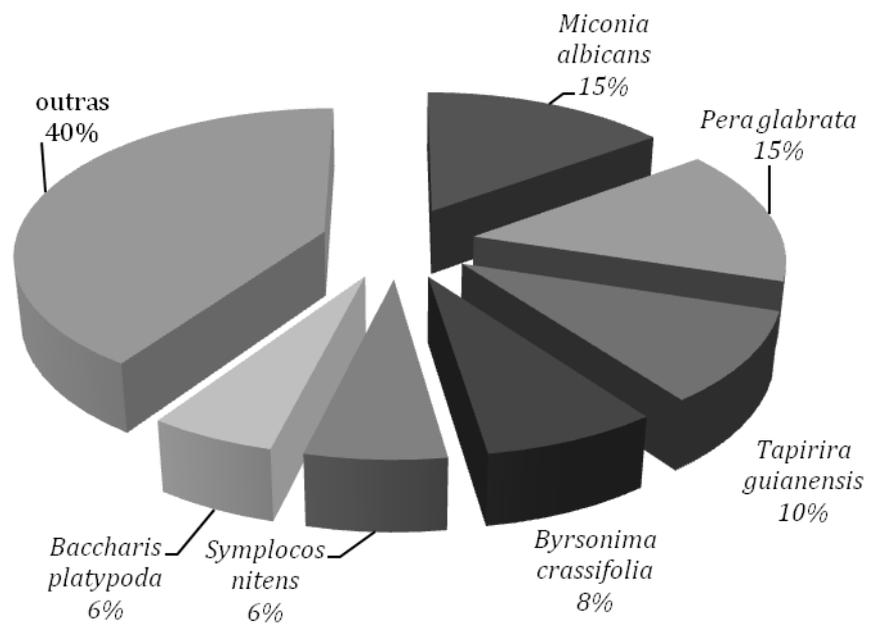


Figura 10. Abundância de espécies no Cerrado s.s. sobre latossolo Amarelo da FLONA de Paraobepa, MG.



Figura 11. Cerrado *stricto sensu* sobre Latossolo Amarelo na FLONA de Paraopeba, MG.

### 3.6.5 Cerrado *stricto sensu* sobre Latossolo Vermelho-Amarelo (Figuras 12 e 13)

A formação de Cerrado que apresentou maior número de indivíduos foi Cerrado s.s. sobre latossolo Vermelho-Amarelo com 1277 plantas em 0,2ha. *Alibertia edulis*, *Pera glabrata*, *Vochysia tucanorum*, *Xylopia aromatica*, *Roupala montana*, *Styrax camporum* foram espécies com maiores abundâncias este trecho de Cerrado. (Figuras 12).

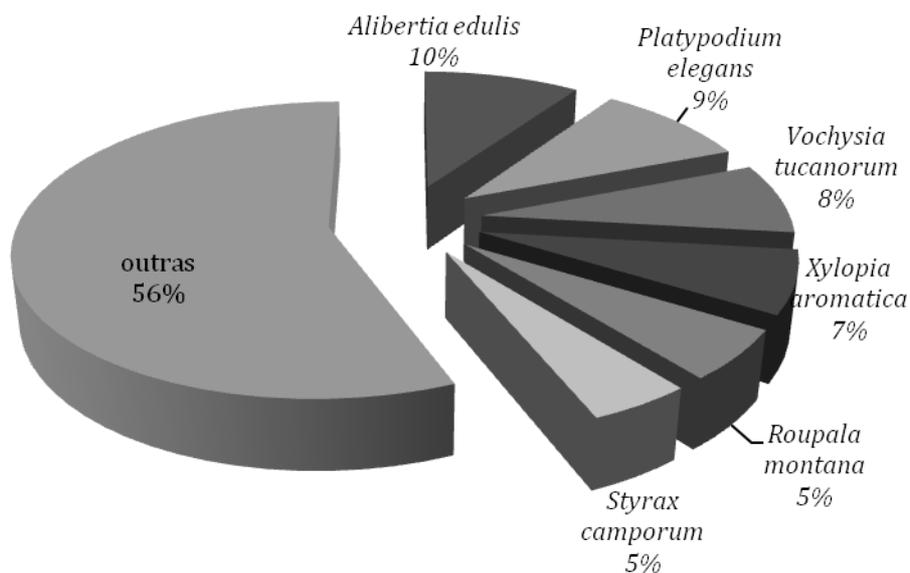


Figura 12. Abundância de espécies no Cerrado s.s. sobre latossolo vermelho-amarelo da FLONA de Paraobepa, MG.



Figura 13. Cerrado *stricto sensu* Denso sobre Latossolo Vermelho-Amarelo na FLONA de Paraopeba, MG.

### 3.7 Definição dos grupos funcionais nas plantas lenhosas do Cerrado

Foram utilizados dados de abundância das espécies de maneira que foram separadas as espécies que apresentaram correlação linear positiva e significativa com a equação 1 como Competidoras Calcícolas (CC), com a equação 2 como Competidoras Semitolerantes ao  $Al^{+3}$  (ASC), com a equação 3 como Competidoras Tolerantes ao  $Al^{+3}$  (ACT), com a equação 4 como Tolerantes ao  $Al^{+3}$  (AT).

#### 3.7.1 Competidoras Calcícolas – (CC)

Constituído pelas espécies *Rhamnidium elaeocarpum*, *Luehea divaricata*, *Myracrodruon urundeuva*, *Casearia rupestris*, *Dilodendron bipinnatum* e *Magonia pubescens*, apresentaram abundâncias com correlações significativas à equação 1

( $p < 0,001$ ). Estas espécies mostraram maior especificidade para o Cerradão Mesotrófico, local em que encontraram melhores condições de fertilidade (Figura 14).

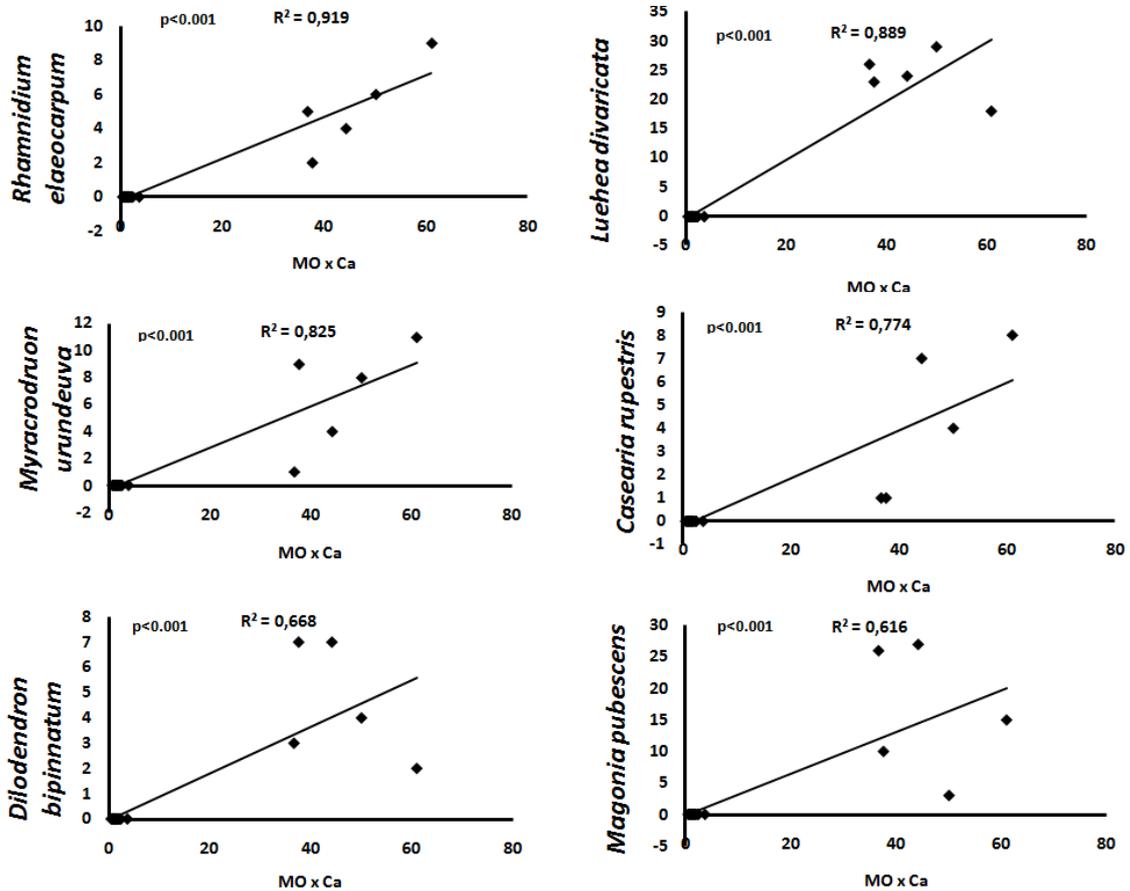


Figura 14. Aplicação do modelo da equação 1 para as espécies do grupo funcional das Competidoras Calcícolas (CC). No eixo x estão os teores de matéria orgânica (MO) multiplicados pelos teores de cálcio ( $Ca^{+2}$ ) do solo. No eixo y estão as abundâncias das espécies do grupo funcional CC. Teste F:  $P < 0,05$  para cada espécie.

### 3.7.2 Competidoras Semitolerantes ao Alumínio– (ASC)

A equação 2 se correlaciona com a abundância das espécies do grupo das Competidoras Semitolerantes ao  $Al^{+3}$  (ASC). *Alibertia edulis*, *Myrcia tomentosa*, *Protium heptaphyllum* ( $p < 0,001$ ) e *Myrcia splendens* ( $p < 0,01$ ) foram as espécies que apresentaram melhor ajuste ao grupo ASC (Figura 15).

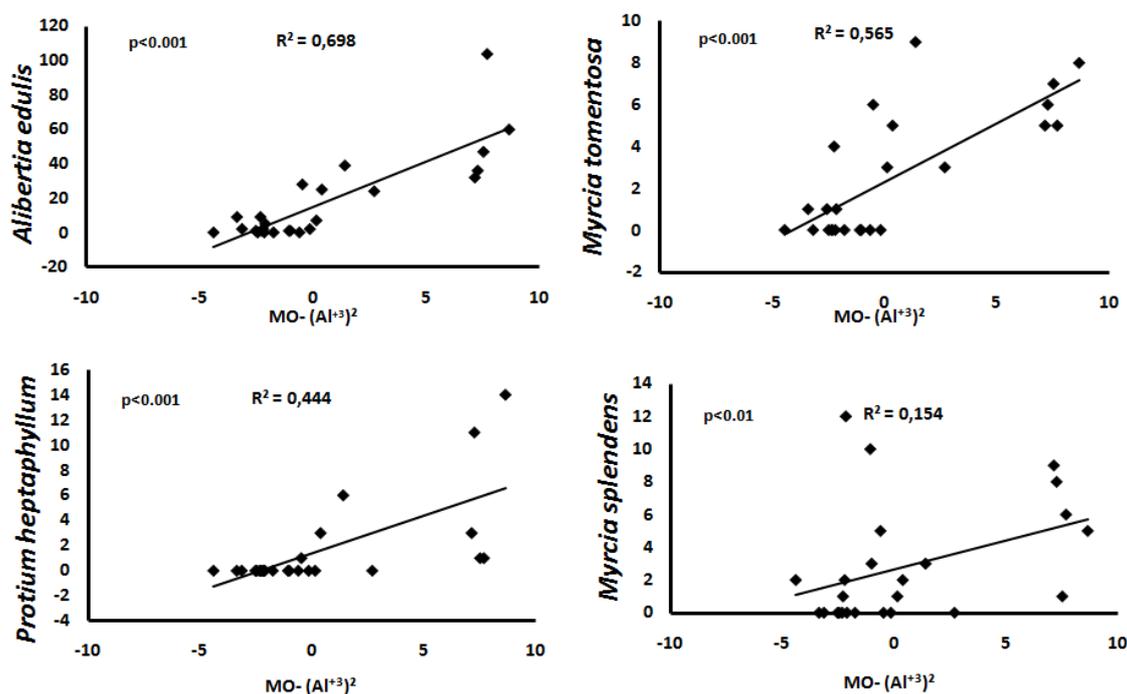


Figura 15. Aplicação do Modelo de grupo funcional da equação 2 para Competidoras Semitolerantes ao Alumínio (ASC). No eixo x estão os teores de matéria orgânica(MO) subtraída pelo teor de alumínio ( $Al^{+3}$ ) do solo. No eixo y estão as abundâncias das espécies do grupo funcional (ASC). Teste F:  $P < 0,05$  para cada espécie.

### 3.7.3 Competidoras Tolerantes ao Alumínio – (ATC)

O grupo das Competidoras Tolerantes ao Alumínio teve abundâncias que se correlacionaram positivamente à equação 3. Tiveram ajustes significativos *Vochysia*

*tucanorum*, *Terminalia argentea*, *Pera glabrata*, *Siparuna guianensis*, *Salvertia convallariodora*, *Annona crassiflora*, *Xylopia aromatica*, *Tapirira guianensis*, *Astronium fraxinifolium* ( $p < 0.001$ ) e *Erythroxylum suberosum* ( $p < 0.01$ , Figura 16). Estas espécies podem ser consideradas tolerantes ao alumínio com habilidade em competir por nutrientes, crescendo, formando uma fisionomia arbustiva, mesmo em ambiente com altos teores de  $Al^{3+}$ .

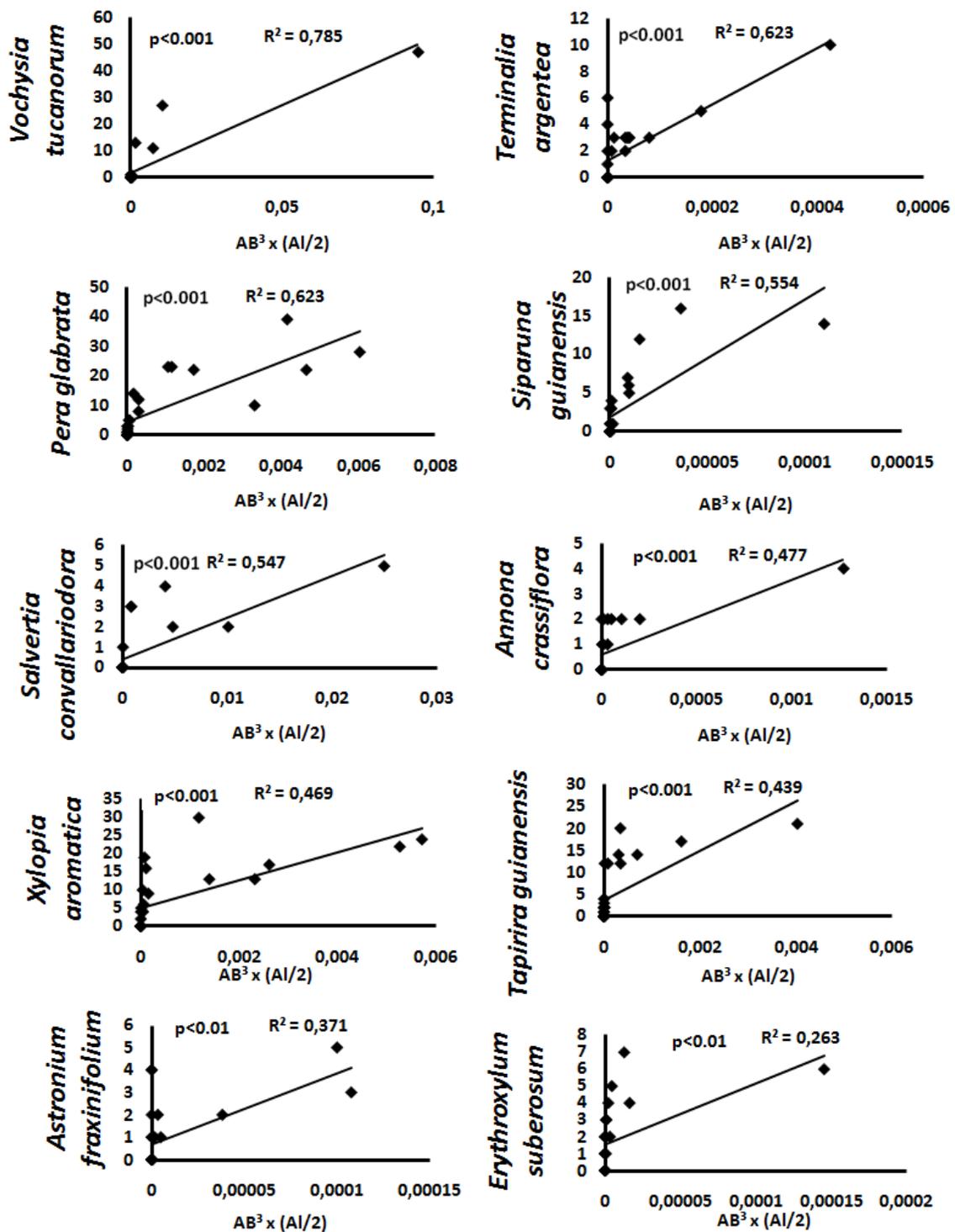


Figura 16. Aplicação do Modelo de grupo funcional da equação 3 para Competidoras Tolerantes ao Alumínio (ATC). No eixo x estão as correlações da Área Basal (AB) pelo teor de alumínio ( $Al^{+3}$ ) no solo. No eixo y estão as abundâncias das espécies do grupo funcional (ATC). Teste F:  $P < 0,05$  para cada espécie.

### 3.7.4 Tolerantes ao Alumínio – (AT)

As abundâncias de *Byrsonima crassifolia*, *Eugenia dysenterica* e *Curatella americana* mostraram-se significativamente ( $p < 0,001$ ) correlacionadas à equação 4 (Figura 17).

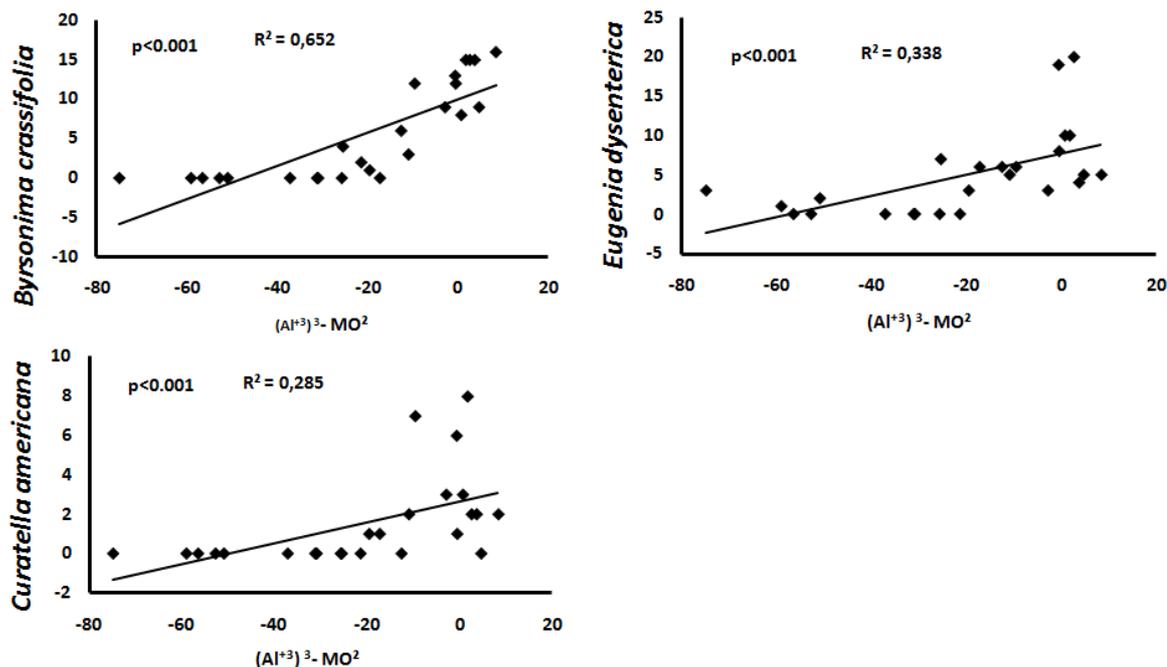


Figura 17. Aplicação do Modelo de grupo funcional da equação 4 para Tolerantes ao Alumínio (AT). No eixo x estão as correlações do teor de alumínio ( $Al^{+3}$ ) pela matéria orgânica (MO). No eixo y estão as abundâncias das espécies do grupo funcional (ATC). Teste F:  $P < 0,05$  para cada espécie.

### 3.8 Alocação de alumínio e nutrientes dos Grupos Funcionais

Grande parte da toxidez dos solos do Cerrado é ocasionada pela presença de  $Al^{+3}$  e  $Fe^{+2}$ . As análises das amostras vegetais evidenciaram que existe uma correlação positiva e significativa entre a absorção do  $Fe^{+2}$  e  $Al^{+3}$  (Figura 18).

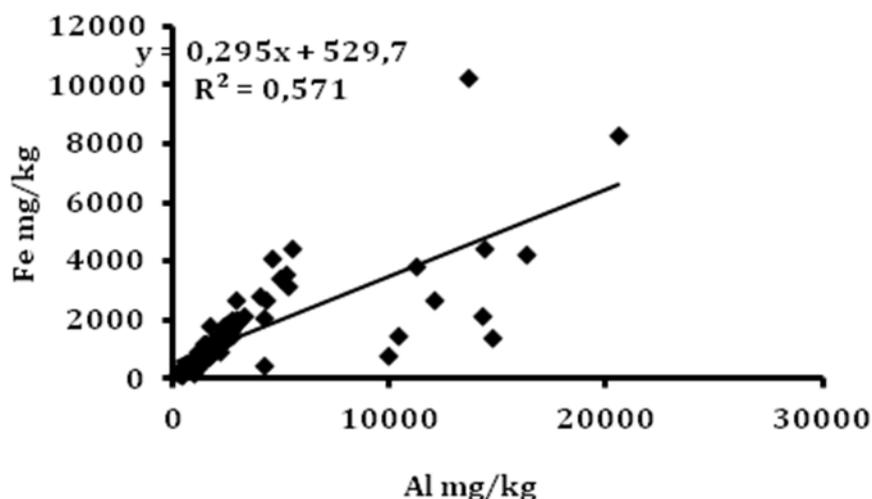


Figura 18. Correlação entre teor de Alumínio ( $Al^{+3}$ ) e Ferro ( $Fe^{+2}$ ) na raiz de plantas lenhosas do Cerrado da FLONA de Paraopeba, MG.

### 3.8.1 Teor de nutrientes e alumínio na raiz das plantas lenhosas do Cerrado

Os dados da Figura 19 (Tabelas 2,6,7,8) indicam que as Calcícolas Competidoras (CC) apresentaram maior concentração de K (0,50), P (0,05),  $Ca^{+2}$  (1,05) e  $Mg^{+2}$  (0,18) (Figura 2). É possível verificar também níveis elevados na distribuição de  $Al^{+3}$  e  $Fe^{+2}$  no grupo ATC, maiores valores em média (4433,92 e 1822,43, respectivamente). A proporção de N na raiz foi baixa para todos os grupos funcionais, variando de 0,53 no grupo AT, até 0,80 no grupo ATC (Tabela 4).

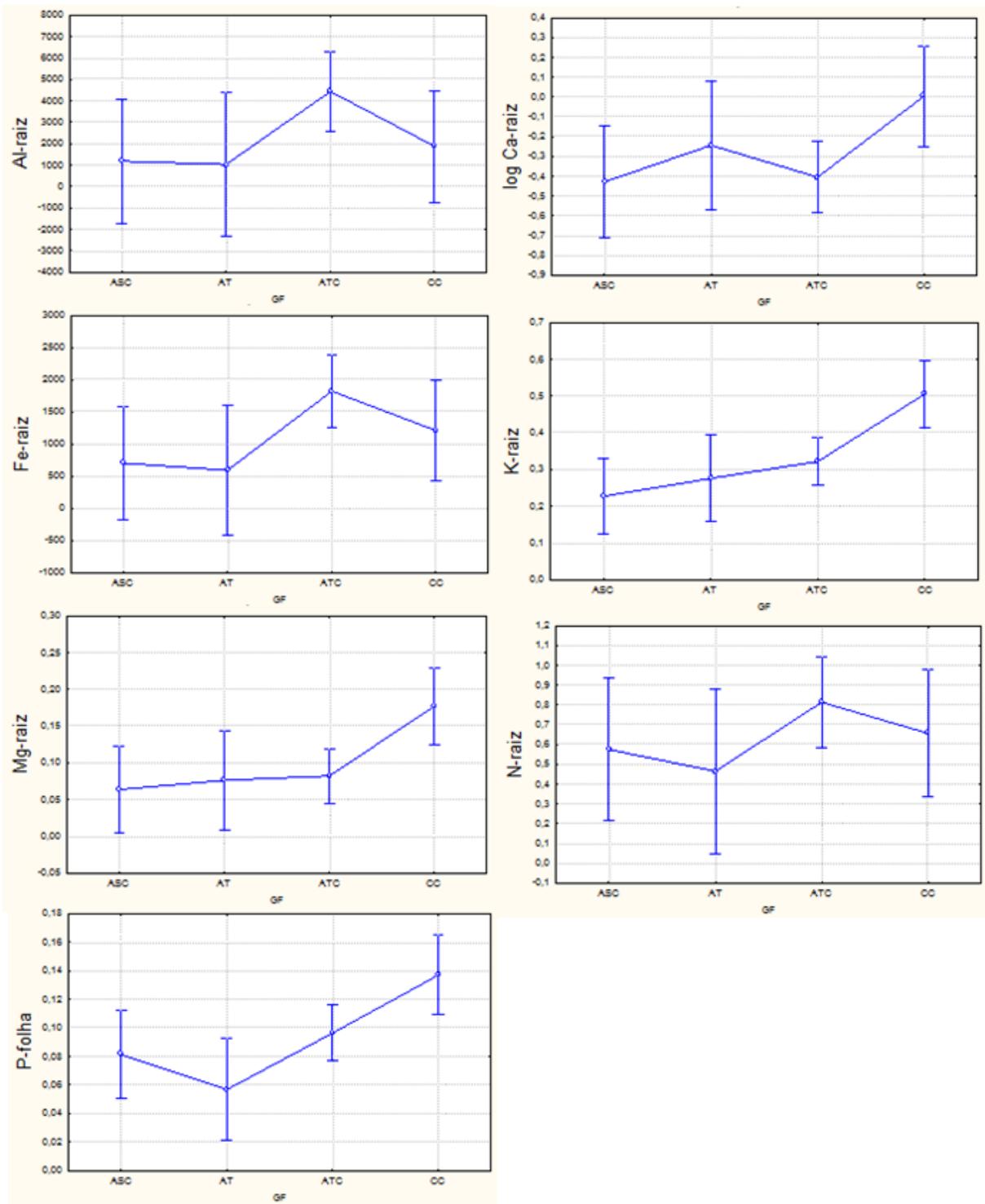


Figura 19. Concentração de nutrientes cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), ferro ( $\text{Fe}^{+2}$ ), potássio (K), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), nitrogênio(N), fósforo(P) e alumínio( $\text{Al}^{+3}$ ) nas amostras de raiz dos grupos funcionais: ASC - Competidoras Semitolerantes ao Alumínio (n = 4) , AT – Tolerantes ao Alumínio (n = 3), ATC Competidoras Tolerantes ao Alumínio (n = 10), CC - Competidoras Calcícolas (n = 5). As barras verticais representam intervalo de confiança 0,95%.

### 3.8.2 Teor de Nutrientes e alumínio na folha das plantas lenhosas do Cerrado

As análises químicas das amostras foliares apresentaram maiores valores nutricionais para  $\text{Fe}^{+2}$ , P,  $\text{Ca}^{+2}$ , N e K no grupo CC e menores para os grupos AT, ASC e ATC (Figura 20; Tabelas 2,6,7,8).

O grupo CC apresentou teores mais elevados de ferro nas folhas em relação aos grupos ASC, AT e ATC (Figura 15; Tabela 3).

Quanto à concentração de nitrogênio, não foram observadas diferenças significativas entre os grupos ATC, AT e ASC, que, por possuírem menor concentração de nitrogênio, diferem do grupo CC (Figura 15; Tabela 4).

O grupo ATC mostrou eficiência na translocação e acúmulo de alumínio nas folhas, pois os níveis de concentração desse cátion apresentaram maiores médias quando comparados com os demais grupos (Figura 15; Tabela 5).

Na tabela 6 (anexo) nota-se que os níveis de fósforo apresentados foram extremamente baixos, com aumento de concentrações na sequência  $\text{AT} < \text{ASC} < \text{ATC} < \text{CC}$ .

Comparando os valores relativos da concentração de  $\text{Ca}^{+2}$  e K na folha entre os grupos funcionais, nota-se que a maior média foi observada no grupo CC diminuindo marcadamente nos grupos ASC, AT e ATC sem, porém, apresentar diferenças estatísticas entre si (Figura 15; Tabela 7,8).

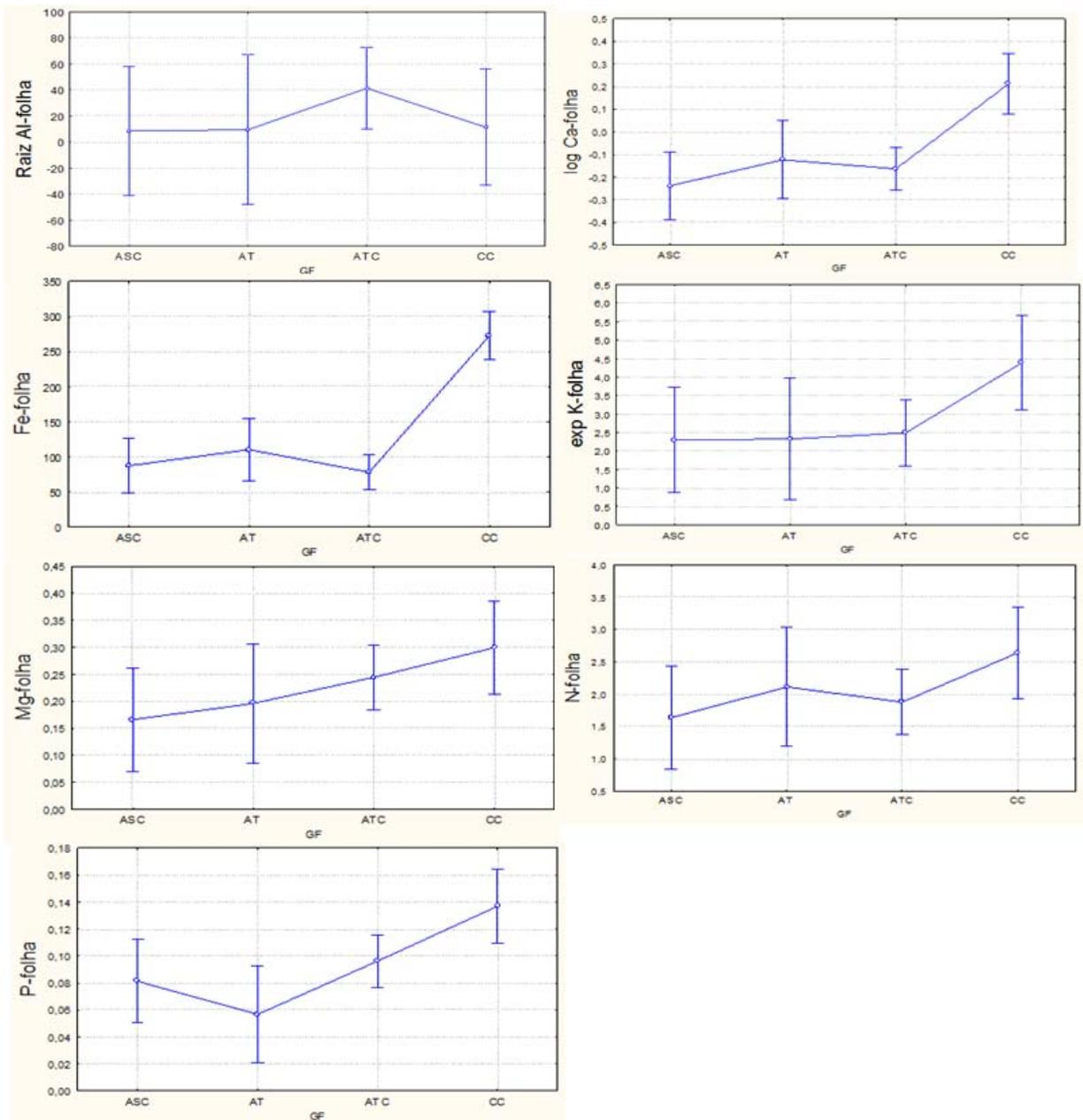


Figura 20. Concentração de nutrientes: cálcio ( $\text{Ca}^{+2}$ ), ferro ( $\text{Fe}^{+2}$ ), potássio (K), magnésio ( $\text{Mg}^{+2}$ ), nitrogênio(N), fósforo(P) e alumínio( $\text{Al}^{+3}$ ) nas amostras de folha dos grupos funcionais: ASC - Competidoras Semitolerantes ao Alumínio (n = 4), AT – Tolerantes ao Alumínio (n = 3), ATC Competidoras Tolerantes ao Alumínio (n = 10), CC - Competidoras Calcícolas (n = 5). Valores de Al-folha no eixo Y foram transformados em raiz quadrada (raiz) e Ca-folha em função logarítmica para normalizar os dados. As barras verticais representam intervalo de confiança 0,95%.

### **3.8.3 Teor de macronutrientes e alumínio no caule (casca) das plantas lenhosas do Cerrado**

As principais diferenças estatísticas encontradas na distribuição de minerais na casca foram identificadas na figura 16, o alumínio acumula-se em níveis baixos nos grupos ASC, AT e CC e com valores 10 vezes maiores no grupo ATC (Tabela 5).

Quanto à concentração de cálcio verificou-se que os grupos ASC e ATC possuem valores semelhantes entre si, porém, o maior acúmulo desse divalente foi encontrado no grupo CC e as menores proporções no grupo AT (Tabela 7).

O grupo AT possui menores quantidades de fósforo e potássio na casca, enquanto que o grupo CC foi o que expressou superioridade no acúmulo desses elementos (Tabela 6, 8).

A maior parte de Mg na casca foi encontrada no grupo CC, e baixos níveis nos grupos ATC, ASC e AT (Tabela 2).

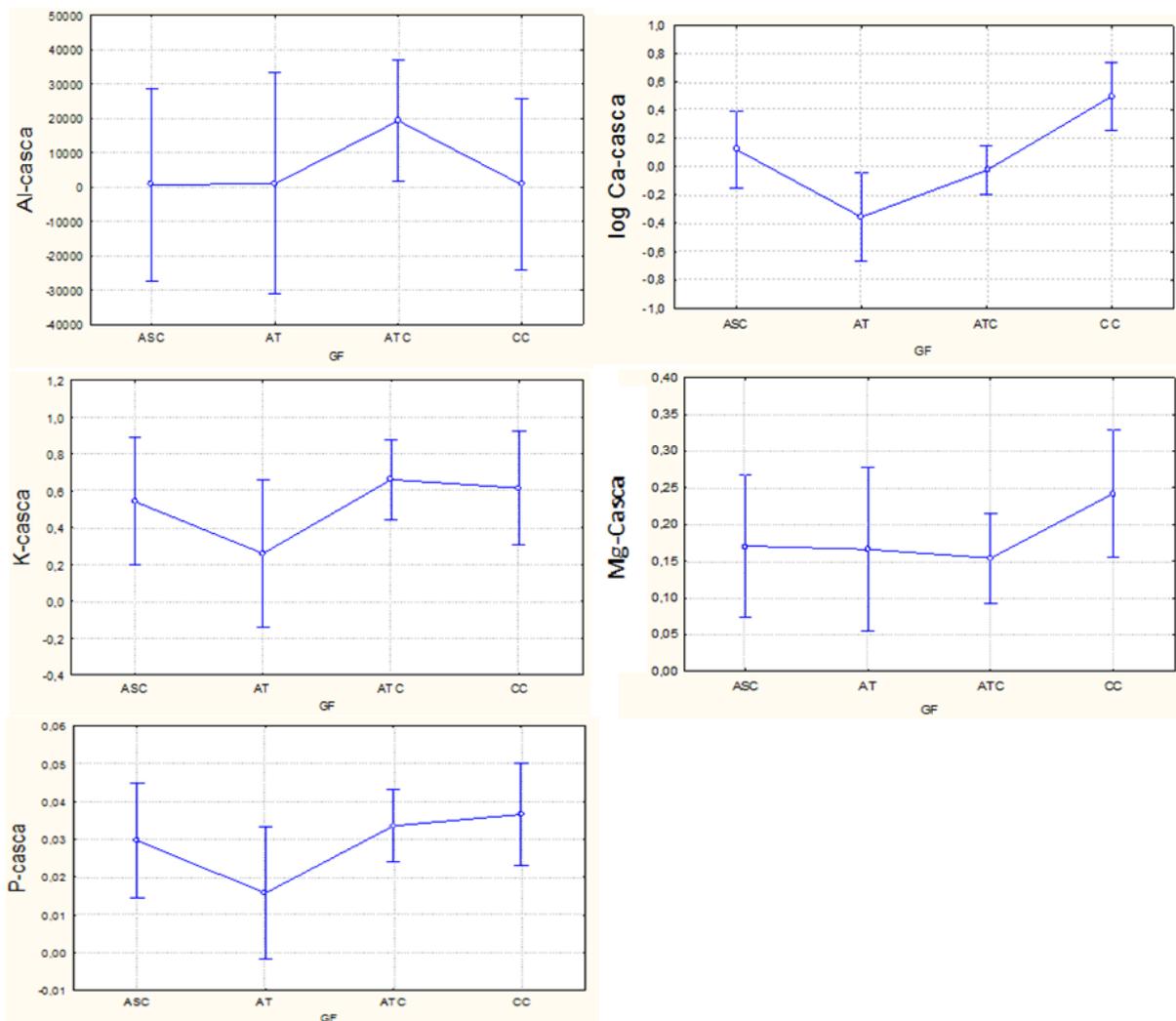


Figura 21. Concentração de nutrientes cálcio( $\text{Ca}^{+2}$ ), potássio(K), magnésio( $\text{Mg}^{+2}$ ), fósforo(P) e alumínio( $\text{Al}^{+3}$ ) nas amostras de caule (casca) de espécies dos grupos funcionais: ASC - Competidoras Semitolerantes ao Alumínio (n = 4), AT – Tolerantes ao Alumínio (n = 3), ATC Competidoras Tolerantes ao Alumínio (n = 10), CC - Competidoras Calcícolas (n = 5). Valores de Cálcio no eixo Y foram transformados em função logarítmica para normalizar os dados. As barras verticais representam intervalo de confiança 0,95%.

### 3.8.4 Teor de macronutrientes e alumínio no lenho das plantas lenhosas do Cerrado

O lenho foi o tecido que apresentou menores teores de nutrientes quando comparados aos da folha, raiz e casca, em todos os grupos. Porém, os teores de Alumínio no lenho mantiveram-se semelhantes ao da casca, apontando para níveis elevados de alumínio no grupo ATC e baixos níveis de fósforo e potássio no grupo AT (Figura 22; Tabelas 6,8). Pode-se verificar que o grupo ATC apresenta valores muito maiores de alumínio no lenho (920,69) em comparação aos demais grupos, ASC (13,65), AT (6,49), CC (7,45).

A relação de fosfato no lenho pode ser resumida pela expressão  $CC > ATC > AT = ASC$  (Tabela 6). Quanto ao K o grupo ASC acumula menores quantidades do que os demais grupos funcionais, sendo que AT apresenta maiores quantidades (Tabela 8).

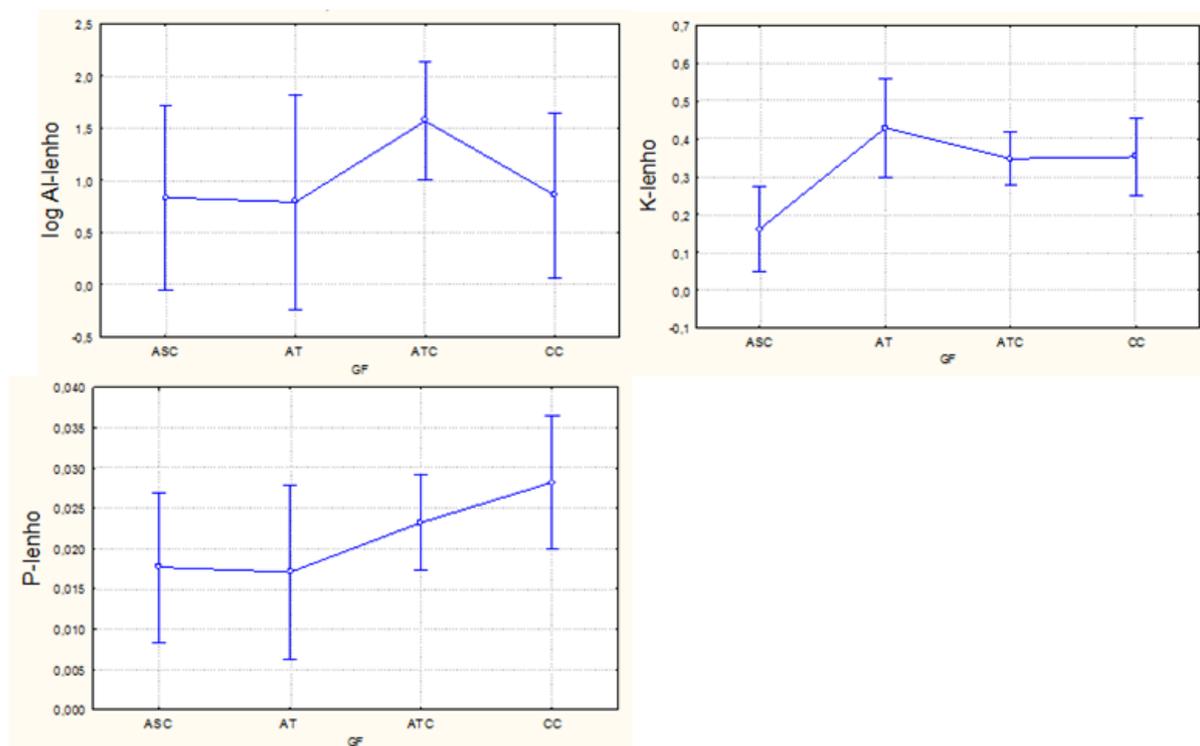


Figura 22. Concentração de alumínio ( $Al^{+3}$ ), potássio(K) e fósforo(P) nas amostras de lenho dos grupos funcionais: ASC - Competidoras Semitolerantes ao Alumínio (n = 4), AT – Tolerantes ao Alumínio (n = 3), ATC Competidoras Tolerantes ao Alumínio

(n = 10), CC - Competidoras Calcícolas (n = 5). Valores de alumínio no eixo Y foram transformados em função logarítmica para normalizar os dados. As barras verticais representam intervalo de confiança 0,95%.

### **3.8.5 Teores de nutrientes no caule (casca e lenho) das plantas lenhosas do Cerrado**

O padrão de distribuição normal não foi alcançado para os teores de  $\text{Fe}^{+2}$ , N,  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$  (lenho) e  $\text{Fe}^{+2}$ , N (casca), portanto, foi realizado o teste não paramétrico de Kruskal-Wallis o qual mostrou que não existir diferenças estatísticas entre os grupos funcionais em relação ao acúmulo desses minerais no caule (Figura 23; Tabelas 2,3,4,7).

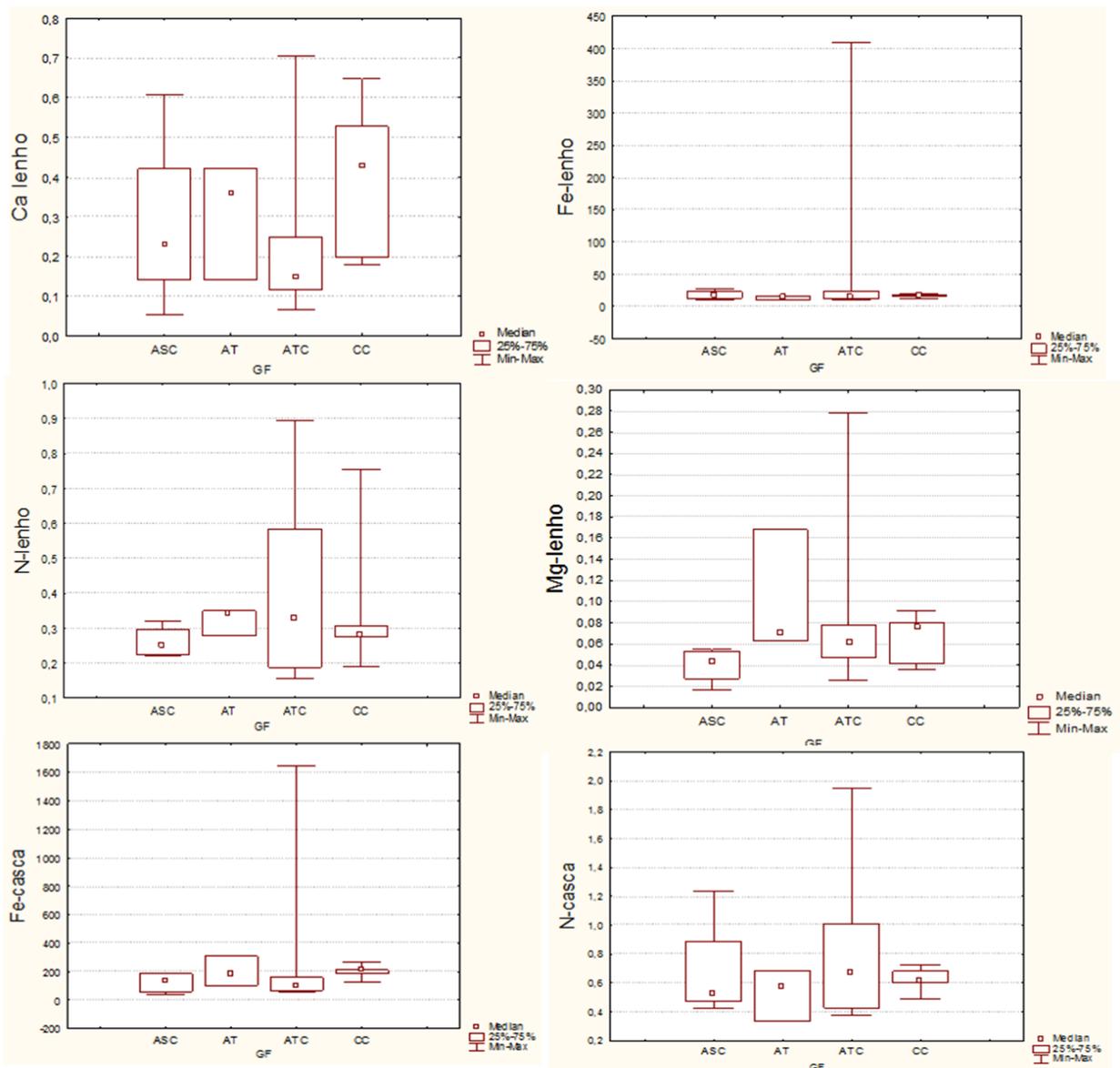


Figura 23. Concentração de cálcio( $\text{Ca}^{+2}$ ), ferro( $\text{Fe}^{+2}$ ), nitrogênio(N), magnésio( $\text{Mg}^{+2}$ ) no lenho e ferro( $\text{Fe}^{+2}$ ), nitrogênio(N) na casca nas amostras de espécies dos grupos funcionais: ASC - Competidora Semitolerante ao Alumínio (n = 4), AT – Tolerante ao Alumínio (n = 3), ATC Competidora Tolerante ao Alumínio (n = 10), CC - Competidora Calcícola (n = 5). Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ).

Tabela 2. Comparação concentração de Magnésio mg/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais: ASC – Competidoras Semitolerantes ao Alumínio, AT – Tolerantes ao Alumínio, ATC Competidoras Tolerantes ao Alumínio, CC - Competidoras calcícolas.

Grupo Funcional	Espécies	Mg-FOLHA	Mg-RAIZ	Mg-LENHO	Mg-CASCA
ASC	<i>A. edulis</i>	0,13 ± 0,04	0,08 ± 0,02	0,05 ± 0,01	0,20 ± 0,10
	<i>M. splendens</i>	0,13 ± 0,03	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,08 ± 0,02
	<i>M. tomentosa</i>	0,25 ± 0,05	0,08 ± 0,18	0,05 ± 0,10	0,31 ± 0,10
	<i>P. heptaphyllum</i>	0,15 ± 0,17	0,06 ± 0,02	0,04 ± 0,10	0,10 ± 0,01
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,16 ± 0,06</b>	<b>0,063 ± 0,03</b>	<b>0,04 ± 0,02</b>	<b>0,17 ± 0,10</b>
AT	<i>B. crassifolia</i>	0,21 ± 0,02	0,11 ± 0,03	0,17 ± 0,05	0,37 ± 0,10
	<i>C. americana</i>	0,15 ± 0,05	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,03 ± 0,01
	<i>E. dysenterica</i>	0,22 ± 0,07	0,07 ± 0,01	0,06 ± 0,03	0,09 ± 0,01
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,20 ± 0,11</b>	<b>0,08 ± 0,03</b>	<b>0,10 ± 0,08</b>	<b>0,17 ± 0,07</b>
ATC	<i>A. crassiflora</i>	0,17 ± 0,03	0,05 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,12 ± 0,04
	<i>A. fraxinifolium</i>	0,18 ± 0,04	0,13 ± 0,03	0,07 ± 0,02	0,30 ± 0,08
	<i>E. suberosum</i>	0,21 ± 0,06	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,02	0,13 ± 0,06
	<i>P. glabrata</i>	0,18 ± 0,03	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,10 ± 0,03
	<i>S. convallariodora</i>	0,27 ± 0,04	0,12 ± 0,05	0,28 ± 0,13	0,15 ± 0,05
	<i>S. guianensis</i>	0,19 ± 0,02	0,10 ± 0,02	0,06 ± 0,10	0,13 ± 0,05
	<i>T. argentea</i>	0,29 ± 0,06	0,07 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,17 ± 0,05
	<i>T. guianensis</i>	0,32 ± 0,14	0,10 ± 0,04	0,05 ± 0,01	0,14 ± 0,05
	<i>V. tucaronum</i>	0,47 ± 0,06	0,05 ± 0,01	0,09 ± 0,03	0,17 ± 0,04
	<i>X. aromatica</i>	0,14 ± 0,02	0,09 ± 0,03	0,05 ± 0,01	0,13 ± 0,06
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,24 ± 0,11</b>	<b>0,08 ± 0,12</b>	<b>0,08 ± 0,03</b>	<b>0,15 ± 0,08</b>
CC	<i>C. rupestris</i>	0,47 ± 0,10	0,29 ± 0,17	0,08 ± 0,02	0,27 ± 0,04
	<i>D. bipinnatum</i>	0,19 ± 0,05	0,08 ± 0,02	0,04 ± 0,02	0,13 ± 0,02
	<i>L. divaricata</i>	0,27 ± 0,07	0,12 ± 0,02	0,09 ± 0,04	0,24 ± 0,06
	<i>M. pubescens</i>	0,24 ± 0,05	0,29 ± 0,10	0,08 ± 0,03	0,35 ± 0,06
	<i>M. urundeuva</i>	0,32 ± 0,06	0,11 ± 0,05	0,04 ± 0,01	0,22 ± 0,05
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,30 ± 0,14</b>	<b>0,18 ± 0,06</b>	<b>0,06 ± 0,02</b>	<b>0,24 ± 0,05</b>

Tabela 3. Comparação concentração de Ferro em mg/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais: ASC – Competidoras Semitolerantes ao Alumínio, AT – Tolerantes ao Alumínio, ATC Competidoras Tolerantes ao Alumínio, CC - Competidoras calcícolas.

Grupo Funcional	Espécies	Fe-FOLHA	Fe-RAIZ	Fe-LENHO	Fe-CASCA
ASC	<i>A. edulis</i>	88,36 ± 17,6	818,30 ± 453,1	26,64 ± 19,4	191,34 ± 93,8
	<i>M. splendens</i>	85,92 ± 28,3	561,86 ± 59,3	19,88 ± 5,7	81,27 ± 15,9
	<i>M. tomentosa</i>	57,46 ± 18,9	209,08 ± 10,3	10,32 ± 5,9	37,36 ± 14,3
	<i>P. heptaphyllum</i>	117,78 ± 36	1216,38 ± 687	16,06 ± 9,33	180,12 ± 68,7
	<b>Média e desvp</b>	<b>87,38 ± 32,46</b>	<b>701,40 ± 541,61</b>	<b>18,22 ± 12,21</b>	<b>122,52 ± 86,14</b>
AT	<i>B. crassifolia</i>	120,99 ± 70	775,18 ± 355,1	15,44 ± 6,8	102,83 ± 65,2
	<i>C. americana</i>	153,2 ± 41	360,90 ± 318,0	14,76 ± 4,0	182,82 ± 67,8
	<i>E. dysenterica</i>	56,92 ± 5	637,82 ± 333,1	10,2 ± 5,0	308,90 ± 276,1
	<b>Média e desvp</b>	<b>110,37 ± 59,89</b>	<b>591,30 ± 358,41</b>	<b>13,46 ± 5,55</b>	<b>198,18 ± 178,93</b>
ATC	<i>A. crassiflora</i>	106 ± 10,8	1979,72 ± 1392,0	18,65 ± 6,4	161,48 ± 75,0
	<i>A. fraxinifolium</i>	101,74 ± 27	781,2 ± 422,2	409,0 ± 851,5	67,36 ± 17,5
	<i>E. suberosum</i>	69,92 ± 22	1821,56 ± 1637,0	16,08 ± 5,0	1647,23 ± 27,0
	<i>P. glabrata</i>	61,32 ± 13	619,02 ± 316,0	11,14 ± 7,0	66,40 ± 24,2
	<i>S. convallariodora</i>	49,9 ± 17,6	1680,83 ± 868,4	27,36 ± 16,7	157,96 ± 83
	<i>S. guianensis</i>	76,24 ± 11	4425,32 ± 4485,0	15,54 ± 8,8	128,22 ± 52,3
	<i>T. argentea</i>	60,62 ± 14,2	1406,1 ± 855,4	10,84 ± 5,6	75,89 ± 18,2
	<i>T. guianensis</i>	74,82 ± 27	1630,56 ± 514,0	12,5 ± 6,0	91,6 ± 33,0
	<i>V. tucaronum</i>	71,42 ± 15,1	2954,72 ± 1696,0	13,44 ± 5,1	97,18 ± 20,1
	<i>X. aromatica</i>	108,50 ± 30,1	925,32 ± 670,0	23,36 ± 16,6	58,68 ± 15,8
	<b>Média e desvp</b>	<b>78,04 ± 26,66</b>	<b>1822,43 ± 1909,00</b>	<b>55,79 ± 270,99</b>	<b>255,19 ± 896,58</b>
CC	<i>C. rupestris</i>	332,54 ± 130,6	818,38 ± 339,2	18,68 ± 6,2	213,34 ± 116,5
	<i>D. bipinnatum</i>	257,02 ± 45,01	1312,08 ± 410,0	12,80 ± 10,5	268 ± 60,1
	<i>L. divaricata</i>	267,14 ± 63,3	1197,52 ± 381,2	16,86 ± 6,0	209,52 ± 66,0
	<i>M. pubescens</i>	184,42 ± 18,1	1049,42 ± 636,1	20,28 ± 6,5	182,73 ± 55,3
	<i>M. urundeuva</i>	323,0 ± 114,0	1661,36 ± 799,3	17,3 ± 9,3	129,36 ± 61,0
	<b>Média e desvp</b>	<b>272,82 ± 95,00</b>	<b>1207,75 ± 572,10</b>	<b>17,18 ± 7,64</b>	<b>200,59 ± 82,71</b>

Tabela 4. Comparação concentração de Nitrogênio dag/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais: ASC – Competidoras Semitolerantes ao Alumínio, AT – Tolerantes ao Alumínio, ATC Competidoras Tolerantes ao Alumínio, CC - Competidoras calcícolas.

Grupo Funcional	Espécies	N-FOLHA	N-RAIZ	N-LENHO	N-CASCA
ASC	<i>A. edulis</i>	1,9 ± 0,11	0,84 ± 0,20	0,32 ± 0,04	1,34 ± 0,08
	<i>M. splendens</i>	1,60 ± 0,11	0,55 ± 0,03	0,27 ± 0,07	0,65 ± 0,09
	<i>M. tomentosa</i>	1,40 ± 0,22	0,40 ± 0,03	0,23 ± 0,04	0,50 ± 0,07
	<i>P. heptaphyllum</i>	1,63 ± 0,17	0,49 ± 0,09	0,22 ± 0,04	0,70 ± 0,09
	<b>Média e desvp</b>	<b>1,63 ± 0,23</b>	<b>0,57 ± 0,19</b>	<b>0,26 ± 0,06</b>	<b>0,68 ± 0,34</b>
AT	<i>B. crassifolia</i>	1,40 ± 0,15	0,35 ± 0,06	0,28 ± 0,08	0,65 ± 0,05
	<i>C. americana</i>	1,38 ± 0,11	0,40 ± 0,06	0,35 ± 0,11	0,45 ± 0,10
	<i>E. dysenterica</i>	3,55 ± 0,19	0,67 ± 0,11	0,34 ± 0,02	0,74 ± 0,04
	<b>Média e desvp</b>	<b>2,11 ± 1,06</b>	<b>0,46 ± 0,16</b>	<b>0,32 ± 0,08</b>	<b>0,53 ± 0,16</b>
ATC	<i>A. crassiflora</i>	2,21 ± 0,21	1,88 ± 0,17	0,90 ± 0,40	1,34 ± 0,17
	<i>A. fraxinifolium</i>	2,62 ± 0,30	1,13 ± 0,50	0,59 ± 0,15	1,03 ± 0,14
	<i>E. suberosum</i>	1,60 ± 0,13	0,54 ± 0,08	0,34 ± 0,08	0,96 ± 0,11
	<i>P. glabrata</i>	1,24 ± 0,17	0,41 ± 0,06	0,16 ± 0,04	0,48 ± 0,04
	<i>S. convallariodora</i>	1,11 ± 0,23	0,66 ± 0,18	0,65 ± 0,26	0,52 ± 0,04
	<i>S. guianensis</i>	2,76 ± 0,31	0,99 ± 0,39	0,32 ± 0,07	2,36 ± 0,34
	<i>T. argentea</i>	1,78 ± 0,09	0,83 ± 0,40	0,30 ± 0,16	0,51 ± 0,07
	<i>T. guianensis</i>	1,555 ± 0,09	0,44 ± 0,19	0,19 ± 0,01	0,66 ± 0,12
	<i>V. tucaronum</i>	1,64 ± 0,08	0,40 ± 0,10	0,18 ± 0,23	0,45 ± 0,06
	<i>X. aromatica</i>	2,2 ± 0,14	0,86 ± 0,21	0,45 ± 0,13	1,53 ± 0,34
	<b>Média e desvp</b>	<b>1,88 ± 0,56</b>	<b>0,81 ± 0,05</b>	<b>0,40 ± 0,28</b>	<b>0,80 ± 0,50</b>
CC	<i>C. rupestris</i>	2,6 ± 0,17	0,64 ± 0,18	0,28 ± 0,07	0,67 ± 0,06
	<i>D. bipinnatum</i>	1,82 ± 0,25	0,53 ± 0,14	0,28 ± 0,04	0,68 ± 0,08
	<i>L. divaricata</i>	4,42 ± 0,43	0,74 ± 0,08	0,75 ± 0,27	0,93 ± 0,18
	<i>M. pubescens</i>	2,16 ± 0,18	0,87 ± 0,22	0,30 ± 0,07	0,90 ± 0,17
	<i>M. urundeuva</i>	2,15 ± 0,28	0,49 ± 0,09	0,19 ± 0,44	0,56 ± 0,06
	<b>Média e desvp</b>	<b>2,64 ± 0,98</b>	<b>0,66 ± 0,20</b>	<b>0,36 ± 0,23</b>	<b>0,62 ± 0,14</b>

Tabela 5. Comparação concentração de Alumínio mg/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais: ASC – Competidoras Semitolerantes ao Alumínio, AT – Tolerantes ao Alumínio, ATC - Competidoras Tolerantes ao Alumínio, CC - Competidoras calcícolas.

Grupo Funcional	Espécies	AI-FOLHA	AI-RAIZ	AI-LENHO	AI-CASCA
ASC	A. edulis	67,44 ± 6,7	1367,40 ± 828,5	41,9± 55,6	253,5±134,3
	M. splendens	75,02 ± 21,4	1019,12 ± 331,5	2,62±2,4	79,90±32,9
	M. tomentosa	81,76 ± 14,3	466,44 ± 286,7	7,40±5,9	52,74±23,0
	P. heptaphyllum	67,56 ± 20,7	1862,02 ± 925,6	2,72±1,6	128,62±57,5
	<b>Média e desvp</b>	<b>72,95 ± 16,62</b>	<b>1178,75 ± 798,60</b>	<b>13,65 ± 30,72</b>	<b>128,69 ± 105,23</b>
AT	B. crassifolia	120,92 ± 79,8	1364,88 ± 517	8,16 ± 1,6	111,4 ± 114,8
	C. americana	115,94 ± 40	825,19 ± 805,5	7,36 ± 2,2	145,9 ± 65,6
	E. dysenterica	43,22 ± 3,7	896,76 ± 481,4	3,94 ± 4,6	362,1 ± 446
	<b>Média e desvp</b>	<b>93,36 ± 60,13</b>	<b>1028,94 ± 624,00</b>	<b>6,49 ± 3,42</b>	<b>206,43 ± 273,79</b>
ATC	A. crassiflora	87,8 ± 16,8	2949,7 ± 1956,8	26,8 ± 24,3	119,94 ± 55,5
	A. fraxinifolium	71,04 ± 14,5	2040,56 ± 1400,5	30,8 ± 36,6	65,4 ± 37
	E. suberosum	45,28 ± 20,5	2270,56 ± 1994,9	4,0 ± 5,4	2394,6 ± 4327,3
	P. glabrata	49,3 ± 12,6	1069,28 ± 287,5	3,32 ± 1,3	40,2 ± 18,1
	S. convallariodora	21501,2 ± 2392,4	8923,77 ± 6666	7464,26 ± 3513,3	21251 ± 2242,1
	S. guianensis	457,88 ± 80,8	7995,9 ± 8683,8	94,04 ± 42,3	388 ± 119,3
	T. argentea	66,6 ± 6,3	2250,1 ± 1214	4,54 ± 3,7	87,3 ± 48,2
	T. guianensis	56 ± 29,8	2840,66 ± 891,9	6,5 ± 3,8	88,6 ± 38,7
	V. tucaronum	35142,3 ± 2778,4	12437,6 ± 1558,8	1558,84 ± 678,4	14168,5 ± 3605,7
	X. aromatica	122,86 ± 73,4	1561,04 ± 1003	13,72 ± 6,4	124,22 ± 112,3
	<b>Média e desvp</b>	<b>5760,0 ± 11851,6</b>	<b>4433,92 ± 5040,5</b>	<b>920,69 ± 2472,81</b>	<b>3872,7± 7407,48</b>
CC	C. rupestris	176,28 ± 56,6	1360,4 ± 540,3	6,58 ± 2,6	152,18 ± 99,2
	D. bipinnatum	129,68 ± 23,8	2047,64 ± 508,7	11,5 ± 7,6	215,96 ± 53,7
	L. divaricata	114,06 ± 21,9	1877,14 ± 423,1	6,12 ± 2,9	116,68 ± 46,6
	M. pubescens	84,64 ± 6,4	1774,96 ± 905	7,6 ± 1,2	155,47 ± 109,2
	M. urundeuva	155 ± 47,3	2307,66 ± 1178	5,42 ± 4,2	104,9 ± 53,2
	<b>Média e desvp</b>	<b>131,93 ± 46,27</b>	<b>1873,56 ± 769,5</b>	<b>7,45 ± 2,4,48</b>	<b>149,04 ± 80,66</b>

Tabela 6. Comparação concentração de Fósforo dag/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais: ASC – Competidoras Semitolerantes ao Alumínio, AT – Tolerantes ao Alumínio, ATC - Competidoras Tolerantes ao Alumínio, CC - Competidoras calcícolas.

Grupo Funcional	Espécies	P-FOLHA	P-RAIZ	P-LENHO	P-CASCA
ASC	<i>A. edulis</i>	0,08 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01
	<i>M. splendens</i>	0,06 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01
	<i>M. tomentosa</i>	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
	<i>P. heptaphyllum</i>	0,10 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,081 ± 0,02</b>	<b>0,034 ± 0,01</b>	<b>0,018 ± 0,01</b>	<b>0,03 ± 0,01</b>
AT	<i>B. crassifolia</i>	0,04 ± 0,01	0,017 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
	<i>C. americana</i>	0,07 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01
	<i>E. dysenterica</i>	0,06 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,01 ± 0,01
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,06 ± 0,01</b>	<b>0,018 ± 0,005</b>	<b>0,02 ± 0,01</b>	<b>0,02 ± 0,01</b>
ATC	<i>A. crassiflora</i>	0,12 ± 0,02	0,04 ± 0,01	0,04 ± 0,02	0,04 ± 0,01
	<i>A. fraxinifolium</i>	0,12 ± 0,15	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01
	<i>E. suberosum</i>	0,07 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	<i>P. glabrata</i>	0,06 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,02 ± 0,01
	<i>S. convallariodora</i>	0,06 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01
	<i>S. guianensis</i>	0,18 ± 0,05	0,03 ± 0,01	0,01 ± 0,01	0,08 ± 0,01
	<i>T. argentea</i>	0,11 ± 0,02	0,05 ± 0,02	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	<i>T. guianensis</i>	0,10 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,04 ± 0,01
	<i>V. tucaronum</i>	0,07 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,02 ± 0,01
	<i>X. aromatica</i>	0,09 ± 0,01	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,09 ± 0,39</b>	<b>0,03 ± 0,14</b>	<b>0,02 ± 0,01</b>	<b>0,03 ± 0,02</b>
CC	<i>C. rupestris</i>	0,16 ± 0,05	0,03 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,04 ± 0,01
	<i>D. bipinnatum</i>	0,12 ± 0,17	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01
	<i>L. divaricata</i>	0,11 ± 0,10	0,04 ± 0,01	0,05 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	<i>M. pubescens</i>	0,16 ± 0,16	0,09 ± 0,01	0,03 ± 0,01	0,04 ± 0,01
	<i>M. urundeuva</i>	0,13 ± 0,14	0,04 ± 0,01	0,02 ± 0,01	0,03 ± 0,01
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,13 ± 0,02</b>	<b>0,05 ± 0,02</b>	<b>0,03 ± 0,01</b>	<b>0,04 ± 0,01</b>

Tabela 7. Comparação concentração de Cálcio mg/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais: ASC – Competidoras Semitolerantes ao Alumínio, AT – Tolerantes ao Alumínio, ATC - Competidoras Tolerantes ao Alumínio, CC - Competidoras calcícolas.

Grupo Funcional	Espécies	Ca-FOLHA	Ca-RAIZ	Ca-LENHO	Ca-CASCA
ASC	<i>A. edulis</i>	0,46 ± 0,12	0,30 ± 0,14	0,24 ± 0,03	1,40 ± 0,25
	<i>M. splendens</i>	0,40 ± 0,04	0,15 ± 0,07	0,05 ± 0,05	0,44 ± 0,13
	<i>M. tomentosa</i>	0,71 ± 0,28	0,75 ± 0,26	0,60 ± 0,23	2,22 ± 0,80
	<i>P. heptaphyllum</i>	0,85 ± 0,10	0,6 ± 0,18	0,23 ± 0,08	2,25 ± 0,80
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,61 ± 0,24</b>	<b>0,44 ± 0,29</b>	<b>0,28 ± 0,23</b>	<b>1,6 ± 0,93</b>
AT	<i>B. crassifolia</i>	1,20 ± 0,27	0,69 ± 0,37	0,4 ± 0,19	1,37 ± 0,53
	<i>C. americana</i>	0,63 ± 0,10	0,40 ± 0,10	0,14 ± 0,06	0,23 ± 0,12
	<i>E. dysenterica</i>	0,60 ± 0,04	0,70 ± 0,12	0,42 ± 0,07	0,27 ± 0,94
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,80 ± 0,32</b>	<b>0,59 ± 0,26</b>	<b>0,31 ± 0,14</b>	<b>0,62 ± 0,6</b>
ATC	<i>A. crassiflora</i>	0,76 ± 0,14	0,61 ± 0,09	0,14 ± 0,06	1,0 ± 0,34
	<i>A. fraxinifolium</i>	0,60 ± 0,26	0,44 ± 0,06	0,17 ± 0,06	1,38 ± 0,58
	<i>E. suberosum</i>	0,80 ± 0,12	0,60 ± 0,22	0,2 ± 0,06	1,02 ± 0,20
	<i>P. glabrata</i>	0,60 ± 0,05	0,50 ± 0,15	0,13 ± 0,03	0,80 ± 0,11
	<i>S. convallariodora</i>	0,41 ± 0,10	0,30 ± 0,21	0,70 ± 0,61	0,58 ± 0,32
	<i>S. guianensis</i>	0,78 ± 0,13	0,12 ± 0,03	0,11 ± 0,04	0,72 ± 0,13
	<i>T. argentea</i>	0,70 ± 0,08	1,32 ± 0,64	0,25 ± 0,19	2,36 ± 0,84
	<i>T. guianensis</i>	1,5 ± 0,61	0,62 ± 0,32	0,33 ± 0,23	1,40 ± 0,52
	<i>V. tucaronum</i>	0,63 ± 0,16	0,23 ± 0,05	0,09 ± 0,15	0,88 ± 0,48
	<i>X. aromatica</i>	0,60 ± 0,13	0,17 ± 0,01	0,06 ± 0,01	0,40 ± 0,12
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,73 ± 0,36</b>	<b>0,49 ± 0,40</b>	<b>0,22 ± 0,26</b>	<b>1,06 ± 0,66</b>
CC	<i>C. rupestris</i>	1,80 ± 0,56	1,48 ± 0,74	0,65 ± 0,26	3,18 ± 0,63
	<i>D. bipinnatum</i>	1,30 ± 0,43	0,10 ± 0,87	0,20 ± 0,05	3,14 ± 0,97
	<i>L. divaricata</i>	1,91 ± 0,44	1,18 ± 0,39	0,53 ± 0,23	2,23 ± 0,61
	<i>M. pubescens</i>	1,50 ± 0,21	0,61 ± 0,21	0,18 ± 0,03	2,79 ± 0,52
	<i>M. urundeuva</i>	1,80 ± 0,46	1,01 ± 0,38	0,42 ± 0,21	5,0 ± 1,05
	<b>Média e desvp</b>	<b>1,64 ± 0,46</b>	<b>1,05 ± 0,60</b>	<b>0,40 ± 0,11</b>	<b>3,24 ± 1,16</b>

Tabela 8. Comparação concentração de Potássio dag/Kg (média e desvio padrão) na folha, raiz, lenho e casca dos grupos funcionais: ASC – Competidoras Semitolerantes ao Alumínio, AT – Tolerantes ao Alumínio, ATC - Competidoras Tolerantes ao Alumínio, CC - Competidoras calcícolas.

Grupo Funcional	Espécies	K-FOLHA	K-RAIZ	K-LENHO	K-CASCA
ASC	<i>A. edulis</i>	1,06 ± 0,18	0,23 ± 0,01	0,12 ± 0,02	0,47 ± 0,18
	<i>M. splendens</i>	0,57 ± 0,13	0,21 ± 0,04	0,20 ± 0,07	0,55 ± 0,18
	<i>M. tomentosa</i>	1,02 ± 0,17	0,17 ± 0,02	0,16 ± 0,03	0,73 ± 0,23
	<i>P. heptaphyllum</i>	0,57 ± 0,29	0,29 ± 0,07	0,16 ± 0,03	0,42 ± 0,16
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,81 ± 0,29</b>	<b>0,23 ± 0,06</b>	<b>0,16 ± 0,05</b>	<b>0,54 ± 0,21</b>
AT	<i>B. crassifolia</i>	0,96 ± 0,16	0,31 ± 0,08	0,44 ± 0,25	0,49 ± 0,16
	<i>C. americana</i>	0,93 ± 0,27	0,19 ± 0,05	0,36 ± 0,06	0,11 ± 0,05
	<i>E. dysenterica</i>	0,60 ± 0,10	0,32 ± 0,11	0,49 ± 0,28	0,18 ± 0,06
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,83 ± 0,24</b>	<b>0,28 ± 0,10</b>	<b>0,43 ± 0,21</b>	<b>0,26 ± 0,19</b>
ATC	<i>A. crassiflora</i>	0,99 ± 0,22	0,33 ± 0,08	0,30 ± 0,13	0,41 ± 0,19
	<i>A. fraxinifolium</i>	1,41 ± 0,53	0,37 ± 0,19	0,40 ± 0,20	1,15 ± 0,79
	<i>V. tucaronum</i>	0,69 ± 0,22	0,25 ± 0,06	0,36 ± 0,22	0,36 ± 0,02
	<i>E. suberosum</i>	0,84 ± 0,06	0,25 ± 0,03	0,44 ± 0,03	0,28 ± 0,06
	<i>P. glabrata</i>	0,93 ± 0,05	0,27 ± 0,08	0,20 ± 0,09	0,45 ± 0,11
	<i>S. convallariodora</i>	0,52 ± 0,41	0,45 ± 0,59	0,60 ± 0,03	0,33 ± 0,41
	<i>S. guianensis</i>	1,29 ± 0,12	0,31 ± 0,02	0,30 ± 0,38	1,47 ± 0,76
	<i>T. argentea</i>	0,74 ± 0,15	0,30 ± 0,06	0,5 ± 0,35	1,20 ± 0,25
	<i>T. guianensis</i>	0,73 ± 0,12	0,39 ± 0,06	0,21 ± 0,09	0,63 ± 0,12
	<b>Média e desvp</b>	<b>0,87 ± 0,35</b>	<b>0,32 ± 0,10</b>	<b>0,35 ± 0,19</b>	<b>0,66 ± 0,54</b>
CC	<i>C. rupestris</i>	2,18 ± 0,33	0,42 ± 0,17	0,41 ± 0,05	0,56 ± 0,21
	<i>D. bipinnatum</i>	0,87 ± 0,10	0,35 ± 0,59	0,44 ± 0,11	0,83 ± 0,30
	<i>L. divaricata</i>	1,33 ± 0,17	0,39 ± 0,17	0,40 ± 0,15	0,49 ± 0,21
	<i>M. pubescens</i>	1,24 ± 0,14	0,74 ± 0,21	0,29 ± 0,06	0,56 ± 0,10
	<i>M. urundeuva</i>	1,23 ± 0,27	0,62 ± 0,19	0,22 ± 0,06	0,62 ± 0,18
	<b>Média e desvp</b>	<b>1,37 ± 0,48</b>	<b>0,50 ± 0,22</b>	<b>0,35 ± 0,12</b>	<b>0,62 ± 0,23</b>

#### 4. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Em trabalho pioneiro sobre influência da fertilidade do solo sobre a fisionomia do Cerrado realizado por Goodland & Pollard (1974) no Triângulo Mineiro, indicou que existe um aumento do teor de nitrogênio, fósforo e potássio ao longo do gradiente pedológico de campo sujo à Cerradão, onde potássio e fósforo quase triplicam seu valor em área de Cerradão. À medida que o teor de nutrientes diminui vai mudando o gradiente vegetacional de savana florestada para vegetação de pequeno porte, arbustos espessos e campo sujo. Eles inferiram que existe uma relação negativa com relação ao teor de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , K e  $\text{Al}^{+3}$ ; semelhantemente na Flona de Paraopeba observa-se as mesmas características pedológicas evidenciando que o gradiente pedológico influencia na dinâmica vegetacional.

Neri (2007) em estudo realizados na Flona de Paraopeba mostrou correlação positiva e significativa em relação ao número de espécies (abundância) e valores de pH, teores de  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ , K e P, por outro lado, observou-se correlação negativa quanto ao teor de  $\text{Al}^{+3}$ , o número de espécies diminui à medida que aumentou o teor de alumínio corroborando a ideia de grupos funcionais consistentes no Cerrado de Paraopeba.

Segundo Zhao e Shen (2010) a toxicidade do alumínio tem sido muito estudada em plantas cultivadas. Em seu estudo eles demonstraram que o amônio e nitrato favorece espécies de arroz conferindo resistência ao alumínio. No presente trabalho observa-se que os gráficos de alumínio e nitrogênio na raiz (Figura 14) mantêm a mesma configuração espacial, indicando que possivelmente existe influência do N atuando no mecanismo de resistência ao alumínio, conforme citado pelos autores.

As condições de acidez conferidas pela presença de  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{Fe}^{+2}$ , aliadas à baixa disponibilidade de nutrientes nos solos do Cerrado encontradas neste estudo mostram que as plantas lenhosas do Cerrado mantêm sua população em solos pobres em nutrientes, o que é compatível com o modelo  $R^*$  de Tilman (1982, 1988,

1999) que prevê as plantas que necessitam de menores teores de nutrientes não toleram baixas quantidades de luz e vice-versa.

As espécies nativas do Cerrado estão adaptadas às variações edáficas e sua distribuição nas comunidades é determinada pelas diferentes disponibilidades de nutrientes, variações no regime hídrico do solo e outros fatores edáficos (Haridasan, 2008). Ao avaliar a concentração de nutrientes nos tecidos vegetais e sua disponibilidade no solo, Haridasan (2005) afirma que algumas espécies fazem melhor aproveitamento do ambiente edáfico em ambientes ricos em nutrientes, o que corrobora os resultados do grupo CC (Tabelas 2-8). O fósforo representa um dos elementos químicos que mais limita o crescimento dos vegetais na maioria dos solos. Os ambientes edáficos analisados mostraram que o P é o elemento apresentou as menores concentrações nos solos da FLONA de Paraopeba, sendo que o grupo AT apresentou menor teor de fósforo na raiz, folha, casca e lenho. Kochian (2005) afirma que níveis altos de alumínio afetam a permeabilidade das membranas celulares e interferem no metabolismo de fósforo promovendo a precipitação em fosfato de alumínio e conseqüente redução nos níveis de fósforo na planta que para suprir sua deficiência investem em crescimento das raízes para aumentar a superfície de absorção. Pode-se deduzir que plantas lenhosas do Cerrado apresentam uma relação antagônica entre teor de alumínio e fósforo, pois quanto maior a concentração de alumínio no solo, menor o teor de fósforo na planta e maior tolerância ao alumínio. Estudos realizados por Ward *et al.*, (2011) evidenciaram que quando submetidas à toxidez de alumínio em solos ácidos, plantas com suficiência em fósforo mantiveram seu crescimento inalterado, enquanto que plantas com deficiência em fósforo submetidas às mesmas condições apresentaram maior crescimento das raízes.

Segundo Marenco & Lopes (2009) as funções fisiológicas do ferro são determinadas pela capacidade das plantas de transformar quelatos e mudar seu estado de oxidação de  $Fe^{+3}$  para  $Fe^{+2}$ . A correlação positiva entre teores de ferro e de alumínio nas plantas analisadas (Figura 18), tem sido observada em plantas cultivadas. A alta concentração de alumínio e absorção de ferro foi correlacionada positivamente durante o desenvolvimento de *Scabiosa columbaria*, pois o  $Al^{+3}$  facilita o deslocamento do  $Fe^{+2}$  para certas partes da planta (Salvador *et al.*, 2000).

Nas plantas lenhosas do Cerrado, mais especificamente no grupo CC observou-se maior teor de ferro nas folhas e  $Al^{+3}$  na raiz; Neri (2007) identificou que o pH do Cerradão Mesotrófico é 6,4, o que pode estar facilitando a translocação do ferro para a folha, conforme descrito por Salvador *et al.* (2000).

Em se tratando do metabolismo do cálcio sabe-se que ele encontra-se no solo em equilíbrio em três formas permutáveis entre si: cálcio fixo, em posição de troca e na solução do solo. É absorvido como íon  $Ca^{+2}$  e seu teor varia principalmente em função do tipo de material de origem e do grau de intemperização (Fernandes, 2006). No Cerrado o cálcio trocável está adsorvido na superfície das micelas das argilas, a relação do teor de  $Ca^{+2}$  e pH do solo podem ser classificadas em calcífugas e calcícolas e são encontradas solos pobres e ricos em  $Ca^{+2}$  respectivamente (Haridasan, 2005). De acordo com esta classificação as plantas lenhosas do Cerrado apresentaram padrões específicos, o Grupo CC encaixa-se como espécies calcícolas, enquanto que o Grupo ATC pode ser definido por espécies calcífugas.

O teor de magnésio no solo varia em função do material de origem, tipo de argila e textura do solo. Os solos argilosos possuem maiores concentrações de  $Mg^{+2}$  do que solos arenosos. Em geral o  $Mg^{+2}$  é absorvido em quantidade menor do que  $Ca^{+2}$  ou K. Vários íons podem competir com a absorção de  $Mg^{+2}$  (Machado, 1997) esta análise pode ser aplicada as plantas lenhosas do Cerrado de Paraopeba uma vez que a alocação de  $Mg^{+2}$  mostrou-se inferior ao de  $Ca^{+2}$  em todos os grupos funcionais ( figuras 19,20,21) .

Foi constatado que conjuntos de plantas lenhosas do Cerrado utilizam estratégias semelhantes entre si relacionadas à alocação de alumínio e de nutrientes em seus órgãos, o que corrobora a existência de grupos funcionais. Marcadamente ATC e CC são grupos muito bem definidos. ATC acumula alumínio em toda a planta e tem maiores teores de N nas raízes que AT e ASC (os outros grupos de tolerantes ao  $Al^{3+}$ ). CC suporta bem altas concentrações de  $Fe^{+2}$  pois, o acumula nas folhas, mas não consegue suportar alta concentração  $Al^{+3}$ . AT tem baixos teores de P nas raízes.

A distribuição da abundância dos grupos funcionais não é ao acaso no gradiente gerado por diferentes tipos de solo na FLONA de Paraopeba, conforme mostraram os resultados das espécies separadas nos grupos CC, ATC, ASC, e AT.

Os grupos funcionais utilizam estratégias distintas para resistir e tolerar as deficiências nutricionais e acidez do solo. A maioria das espécies aloca a maior parte dos nutrientes na parte aérea, enquanto, grande parte do alumínio e ferro ficam complexados na raiz. As competidoras Calcícolas seguem padrão estequiométrico diferenciado em relação ao acúmulo de  $Fe^{+2}$ , P, K e  $Ca^{+2}$  nas folhas e de K, P,  $Ca^{+2}$  e  $Mg^{+2}$  na raiz.

O grupo das CC possui padrão estequiométrico que o distingue dos demais grupos. A disponibilidade de nutrientes, principalmente cálcio, causou mudanças na abundância relativa das espécies entre diferentes fisionomias. A maior eficiência em utilizar nutrientes permitiu o estabelecimento deste grupo em solos mais ricos e menos tóxico em  $Al^{+3}$  e Ferro. Pelos resultados, as plantas do grupo CC investem maior quantidade de recurso nas folhas em comparação às demais. Portanto, as CC são mais exigentes em nutrientes e são exclusivas do Cerradão Mesotrófico que tem maior fertilidade em comparação com as demais fitofisionomias estudadas.

Analisando os resultados deste estudo, é possível discutir sobre qual seria a melhor abordagem teórica para explicar a ecologia funcional do Cerrado, a teoria CSR de Grime (1977, 1979, 2001) ou a teoria  $R^*$  de Tilman (1982). Principalmente a tolerância ao  $Al^{+3}$ , mas, também a tolerância ao  $Fe^{+2}$ , demonstra que a vegetação de Cerrado sobre solos fortemente ácidos é formada por vegetais que de uma maneira ou de outra toleram o estresse por  $Al^{+3}$ . Dessa maneira, a relação de tolerância ao estresse mostra que a teoria CSR de Grime é uma abordagem que tem adequação ao Cerrado, especialmente por permitir que sejam abordados grupos de estratégias primárias, como as Tolerantes ao Alumínio(AT), e estratégias secundárias, como as Competidoras Semitolerantes ao  $Al^{+3}$  (ASC) e as Competidoras Tolerantes ao  $Al^{+3}$  (ATC). Contudo, a maior quantidade de N nas raízes de ATC, justamente o grupo funcional de maior crescimento nos solos ácidos, mostra que o maior investimento nutricional nas raízes mantém o crescimento da planta em solos com deficiências minerais, marcadamente Ca, K, Mg e P, o que está de acordo com as previsões da teoria  $R^*$  de Tilman. Assim, ambas são adequadas para a abordagem da ecologia

funcional do Cerrado. Portanto, a eficiência de ATC em solo ácido com altos teores de  $Al^{+3}$  e  $Fe^{+2}$ , mostra que a Teoria  $R^*$  explica de maneira precisa o efeito (maior teor de N nas raízes) da necessidade de alocação de mais recursos nas raízes quando a qualidade nutricional do solo é baixa, especialmente em plantas que também dependem de crescimento da parte aérea para competição por luz. É notável, porém, que essas plantas ATC não são tão adaptadas quanto as CC nos solos de baixa acidez e maior disponibilidade de nutrientes. O modelo de isolinhas da Teoria  $R^*$  é adequado para representar a competição por recursos minerais e de luz entre os diferentes grupos funcionais.

Este estudo, por tratar de um assunto ainda pouco investigado, necessita de aprofundamentos e aperfeiçoamentos em sua abordagem metodológica e teórica. Desse modo, devem ocorrer desdobramentos em muitas diferentes direções de investigação a partir do conhecimento gerado.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, S. E. Chemical Analysis of Ecological Materials. **Blackwell Scientific Publications**, Oxford, 1974.

APG. **An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants: APG III.** The Linnean Society of London, Botanical Journal of the Linnean Society, 2009.

BRAUN-BLANQUET, J. **Fitosociología.** Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Madrid: H. Blume, 1928. Trad. da 3.ed.rev.aum. Blume, Madrid,1979. p.820.

CIENTEC – Consultoria e Desenvolvimento de Sistemas. **Mata Nativa 2.** Viçosa, MG: CIENTEC, 2006. p. 295.

CORNELISSEN, J.H.C. et al. Handbook of protocols for standardized and easy measurement of plant functional traits worldwide. Austrian. **Journal of Botany.** v.51, p. 335-380, 2003.

COUTINHO, L. M. O bioma do Cerrado. In Klein, A.L. (org) **Eugen Waarning e o cerrado brasileiro: um século depois.** São Paulo: Editora da UNESP, 2002. p. 77-91.

CRAWLEY, M. J. **Plant ecology.** Oxford: Blackwell science, 2001. p.703.

\_\_\_\_\_. **The R Book.** John Wiley and Sons Ltd. New York: Chichester. 2007. p. 942.

DANSENEAU, P. **Biogeography: an ecological perspective.** New York: Ronald. 1957.

DELHAIZE, E.; RYAN, P. R. Aluminium toxicity and tolerance in plants. **Plant physiology**. v. 107, p. 315-321, 1995.

DYER, A.R. et al. **Effects of growing conditions and source habitat on plant traits and functional group definition**. *Revista Functional Ecology*, v. 15, p. 85-95. 2001.

EMBRAPA – Centro Nacional de Pesquisa de solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Brasília, 2006.

FELFILI, J. M; CARVALHO, F.A; HAIDAR, R. F. **Manual para monitoramento de Parcelas Permanentes nos biomas Cerrado e Pantanal**. Brasília: Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Florestal, 2005.

FERNANDES, M. S. Nutrição mineral das plantas. **Revista Sociedade Brasileira de Ciências do Solo – SBCS**. Viçosa, Minas Gerais, 2006.

FURLEY, P. A; RATTER, J. A. Soil resources and plant communities of the central Brazilian Cerrado and their development. **Jornal biogeography**. v. 15, p. 96-108. 1988.

GOODLAND, R. Análise ecológica da vegetação do cerrado. In: Goodland, R. e Ferri M.G. **Ecologia do Cerrado**. São Paulo: EDUSP, 1976. p. 61-161.

GRIME, J. P. Evidence for the existence of three primary strategies in plants and its relevance to ecological and evolutionary theory. **Revista Amer. Natural** .vol. 111, p. 1169-1195, 1977.

\_\_\_\_\_. **Plant strategies and vegetation processes**. New York: Chichester, 1979.

\_\_\_\_\_. **Plant strategies, vegetation processes, and ecosystem properties**. 2 ed. New York: Chichester, UK: Wiley, 2001.

HARIDASSAN, M. Solos do Distrito Federal. In: PINTO, M.N (Org.). **Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2 ed. Brasília, DF: UNB: SEMATECC. 1994. p. 321-344.

\_\_\_\_\_. Nutrição mineral das plantas nativas do Cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**. v. 12, p. 54-64, 2000.

\_\_\_\_\_; ARAÚJO, G.M. Perfil nutricional de espécies lenhosas de duas florestas semidecíduas em Uberlândia, MG. **Revista Brasileira Botânica**. v. 28 n.2, p. 295-305, 2005.

\_\_\_\_\_. Alumínio é um elemento tóxico para as plantas nativas do cerrado? In: PRADO, C.H.B.A.; CASALI, C.A. **Fisiologia Vegetal: práticas em relações hídricas, fotossíntese e nutrição mineral**. Barueri: Editora Manole, 2006.

HARIDASAN, M. Nutritional adaptations of native plants of the cerrado biome in acid soils. **J.Plant Physiol**. v. 20, n. 3. p.183-195, 2008.

KALRA, Y.P. Handbook of reference methods for plant analysis: Soil and plant Analysis Council. **Library of Congress Cataloging-in-Publication**, 1997.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A Conservação do Cerrado Brasileiro. **Megadiversidade**. v. 1 n.1. p. 147-155. 2005.

KOCHIAN, L. V.; PIÑEROS, M. A.; HOEKENGA, O. A. The physiology, genetics and molecular biology of plant aluminium resistance and toxicity. **Plant and Soil**, 274: 175-195. 2005.

KREBS, C.J. **Ecology**: The experimental analysis of distribution and abundance. New York: Harper & Row..1972. p. 694.

LARCHER,W. **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos: Rimã. 2006.

LOMOLINO,M.V.; RIDDLE,B.R.; BROWN,J.H. **Biogeography**, Third Edition. Sinauer Associates, Inc. Publishers Sunderland, Massachusetts. 2006.

MACHADO,P.D.A. **Considerações Gerais sobre a toxicidade de alumínio nas plantas**. Rio de Janeiro: Embrapa-CNPS (Documento 2) p.22.1997.

MARENCO,R.A.; LOPES,N.F. **Fisiologia vegetal**. Viçosa, MG. Editora UFV. 2009. p.486.

MOBOT. Missouri Botanical Gardem. Disponível em (<http://www.mobot.org/W3T/search/vast.html>). Acessado em out. 2010.

MOONEY, S. J. **A simple group work approach for affective field work: a soil sciences case study**. Journal of Geoscience Education, [S.I.], 54(1): 74-80.2006.

MUELLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG. H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Wiley. 1974. p.547.

NERI, A. **Gradiente Pedológico-Vegetacional de Cerrado em Paraopeba, MG**. Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Botânica, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*. 2007. p. 141.

ODUM, E. The strategy of ecosystem development. **Science**. vol. 164. p. 262-270. 1969.

PETERSON, D.W.; REICH,P.B ; WRAGE,K.J. Plant functional group responses to fire frequency and tree canopy cover gradients in oak savannas and woodlands. **Journal of Vegetation science**. v. 18, p. 3-12, 2007.

RATTER, J. A. Some notes on two types of cerradão occurring in North Eastern Mato Grosso. In: MG. Ferri. In: III Simpósio sobre Cerrado. São Paulo. **Anais**. São Paulo: USP, 1997. p. 100 a 103.

\_\_\_\_\_. et al. Estudo preliminar da distribuição das espécies lenhosas da fitofisionomia cerrado sentido restrito nos estados compreendidos pelo bioma cerrado. **Boletim do Herbário Ezechias Paulo Henringer**. v. 5, p. 5-35, 2000.

REATTO, A. et al. Solos de ocorrência em duas áreas sob Matas de Galeria no Distrito Federal: aspectos pedológicos, uma abordagem química e físico-hídrica. In: RIBEIRO, J. F.; FONSECA, C. E. L.; SOUZA-SILVA, J. C. **Cerrado: caracterização e recuperação de Matas de Galeria**. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados. p.115-140, 2001.

\_\_\_\_\_. Classe de solo em relação aos controles da paisagem do bioma Cerrado. In: **Cerrado: Ecologia, biodiversidade e conservação.** – Brasília, DF:Ministério do Meio Ambiente. 2005. p. 48-59.

RAUNKIAER, C. **The like forms of plants and statistical plant geography.** Oxford: Clarendon. 1934.

SALVADOR, J. O. et al. Influência do alumínio no crescimento e na acumulação de nutrientes em mudas de goiabeira. **Revista Brasileira de Ciências do solo,** Campinas, v. 24, n.4. p. 787-796, 2000.

SANO, E. E. et al. Mapeamento semidetalhado do uso da terra do Bioma Cerrado. **Pesquisa agropecuária brasileira.** Brasília, DF, v. 43, n.1, p.153-156, 2008.

SCHULZE, E.D.; BECK, E.; MULLER-HOHENSTEIN. Aluminium. In: SCHULZE, E.D.; BECK, E.; MULLER-Hohenstein. **Plant Ecology.** Springer Berlin, Heidelberg. 2005. p.195-206.

SHAEFER, C.E.G.R. et al. Relações solo-vegetação em alguns ambientes brasileiros: Fatores edáficos e florísticos. In: MARTINS, S. V. **Ecologia de Florestas Tropicais do Brasil.** Viçosa: UFV, 2009. p. 143-184.

SPERA, S. T. et al. **Atributos físicos de solos e distribuição das Fitofisionomias de Cerrado na Bacia Hidrográfica do Rio Jardim, DF.** Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2005.

TILMAN, D. **Plant strategies and the dynamics and structure of plant communities.** New Jersey: Princeton University Press. p. 362, 1988.

\_\_\_\_\_. **Resource competition and community structure.** New Jersey: Princeton University Press, 1982.

\_\_\_\_\_. The ecological consequences of changes in biodiversity: a search for general principles. **Ecology,** v.80, p.1455-1474, 1999.

WARD, C. L. et al. Phosphorus-deficiency reduces aluminium toxicity by altering uptake metabolism of root zone carbon dioxide. **Revista J. Plant Physiol.** v.168, 459-465, 2011.