



JOSIANA CRISTINA RIBEIRO

**ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS ANTIHERBIVORIA DE POPULAÇÕES
DE *VELLOZIA* DE CAMPO RUPESTRE EM DIFERENTES
CONDIÇÕES EDÁFICAS**

**INCONFIDENTES – MG
2014**

JOSIANA CRISTINA RIBEIRO

**ANÁLISE DAS ESTRATÉGIAS ANTIHERBIVORIA DE POPULAÇÕES
DE *VELLOZIA* DE CAMPO RUPESTRE EM DIFERENTES
CONDIÇÕES EDÁFICAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como parte dos requisitos para a aprovação no curso de Licenciatura em Ciências Biológicas do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Câmpus Inconfidentes.

Orientadora: Me. Luiza Coutinho Martins

**INCONFIDENTES – MG
2014**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família pelo amor, apoio que me deu e incentivo nas horas difíceis de desânimo e de cansaço, especialmente a minha mãe que é minha inspiração e base da minha vida.

A minha orientadora Luiza Coutinho Martins pelo empenho dedicado, pela paciência com minhas limitações, por me apresentar esta linda e interessante família Velloziaceae, por ter me proporcionado a oportunidade de conhecer como é o trabalho em campo, laboratório e principalmente na escrita, pela sabedoria que muito me auxiliou na conclusão deste trabalho e também pelos puxões de orelha.

Aos professores por compartilharem seus conhecimentos e pela contribuição a minha formação profissional, em especial ao professor coordenador Nilton L. Souto pela sua sabedoria, dedicação e paciência com a turma.

Ao professor Fernando A. de Oliveira e Silveira (Lele) que contribuiu muito com auxílio no campo, delineamento experimental e nas análises estatísticas.

Aos meus colegas da faculdade por todos os momentos de alegrias e de dificuldades e pela colaboração, em especial a Mirelly F. Gonçalves, Tamires Talamonte e Janaina L. de Freitas pelo auxílio em campo e laboratório.

A FAPEMIG pela concessão de bolsa. A professora Cristiane C. Camargo pela colaboração.

Aos laboratórios, de anatomia vegetal da Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG e da Universidade Federal do Vale do Jequitinhonha e Mucuri – UFVJM. Aos laboratórios de solos e de microbiologia do Instituto Federal do Sul de Minas Gerais – IFSULDEMINAS e a Casa Glória (Diamantina) pela hospedagem durante as coletas realizadas em Diamantina.

RESUMO

As espécies de *Vellozia*, são caracterizadas pela sua grande associação com ambientes rupestres, sendo dominantes sobre os afloramentos rochosos. A herbivoria pode atuar como fator de seleção e estruturação de comunidades vegetais e seu estudo atualmente é restrito em a poucos tipos vegetacionais e hábitos das plantas. No presente estudo foram analisadas as taxas de herbivoria e patogenia e estas foram correlacionadas com traços antiherbivoria e com características do solo. Foram amostradas quatro espécies do gênero *Vellozia* em campo rupestre quartzítico e ferruginoso. Em cada população foram selecionados aleatoriamente 20 indivíduos ao longo de um transecto de 2mX60m e coletado 300g de solo. Foram medidos traços antiherbivoria, a área removida por herbívoros e atacada por patógenos. Foram encontradas diferenças significativas nas taxas de ataque relacionadas aos diferentes ambientes, sendo que as espécies de canga apresentam menores taxas de herbivoria e patogenia. Os traços foliares medidos, em geral, não mostraram correlações significativas com o dano sofrido, entretanto foram encontradas fortes correlações com atributos do solo. Esse é o primeiro estudo a quantificar a herbivoria em plantas do Campo Rupestre e mostra que o solo pode ter influência preponderante na quantidade de dano sofrida pelas plantas por influenciar suas defesas.

Palavras-chave: Herbivoria, patogenia, defesas, campo rupestre, *Vellozia*.

ABSTRACT

Vellozia species usually occur and dominate rocky outcrops vegetation. Herbivory can act as a selection factor, restructuring the plant community. The study of herbivory is still restricted to few vegetational types and plant habits. We analyzed the herbivory and pathogeny indexes and correlated these indexes with antiherbivory traits and soil characteristics. We collected four *Vellozia* species occurring on quartzitic and iron outcrops. At each collection site, 20 individuals were randomly selected in a 2mX60m transect and 300g of soil were collected. We measured antiherbivory traits, the area removed by herbivores and the area attacked by pathogens. We found significant differences between the indexes of the different areas. Iron outcrops presented lower indexes. In general, we found no significant correlation between the antiherbivore traits and herbivory, but correlations between herbivory index and soil characteristics were strong and significant. This is the first study that quantified herbivory in the Brazilian outcrops and we showed that soil may have a special role in the amount of damage that plants experience in this vegetation type.

Key words: Herbivory, pathogeny, defenses, rupestrian field, *Vellozia*.

SUMÁRIO

RESUMO	3
ABSTRACT	4
1. INTRODUÇÃO	6
2. MATERIAL E MÉTODOS	9
2.1 ÁREA DE ESTUDO	9
2.2 COLETA DE MATERIAL	9
2.3 MEDIÇÃO DE ATAQUE POR HERBÍVOROS E PATÓGENOS	10
2.4 MEDIÇÃO DE TRAÇOS FOLIARES	10
2.5 ANÁLISE DE SOLOS	11
2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	11
3. RESULTADO E DISCUSSÃO	12
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
5. FIGURAS	19
6. TABELAS	24

1. INTRODUÇÃO

Para a estruturação de uma comunidade as interações ecológicas são de grande importância. Dentre essas interações, a herbivoria pode atuar como forte fator de seleção em algumas comunidades vegetais (COLEY & BARONE, 1996), sendo a relação ecológica dominante na natureza.

Mesmo as plantas sendo aparentemente inofensivas, os insetos encontram diversos problemas para atacá-las, como a sua localização, barreiras físicas, nutricionais oferecidas pelos tecidos vegetais e o metabolismo das plantas que pode ter evoluído de forma a utilizar compostos carbônicos como defesa contra herbivoria, tornando os tecidos vegetais quimicamente impalatáveis (FEENY, 1976; BERNAYS *et al.*, 1989 apud RIBEIRO & FERNANDES, 2000). Nos ambientes tropicais, como os brasileiros, são encontradas, não só as maiores taxas de defesa antiherbivoria, como também a maior diversidade dessas defesas (COLEY & BARONE, 1996).

Importantes mecanismos desenvolvidos pelas plantas são as defesas antiherbivoria. Ao longo do tempo evolutivo estes mecanismos são selecionados devido à resposta aos prejuízos causados pelos herbívoros (MARTIN & BALTZINGER, 2002). As defesas podem ser de resistência ou de tolerância ao herbívoro. A resistência consiste de mecanismos que evitam ou reduzem a quantidade de danos causados nos vegetais (NÚÑES- FARFÁN *et al.*, 2007), podendo ser defesas diretas ou indiretas.

As defesas diretas atuam diretamente contra os herbívoros (MYERS *et al.*, 2003), como alguns metabólitos secundários que podem ser adstringentes ou tóxicos. Por outro lado as defesas indiretas são traços desenvolvidos pelos vegetais que aumentam o desempenho de inimigos naturais dos herbívoros, uma vez que o nível trófico superior pode diminuir o número e o impacto dos herbívoros na planta (PRINCE *et al.*, 1980).

As defesas antiherbivoria podem variar, dentro de uma mesma espécie, por questões temporais ou geográficas, sendo então características plásticas (DELGADO, 2011). Segundo Lima *et al.* (2013) o solo possui qualidades que influenciam no crescimento, no

desenvolvimento, na produção de matéria seca e na produção de metabólitos que, frequentemente, têm papel importante na proteção da planta contra herbivoria. Portanto o solo pode ser um fator importante na determinação das defesas vegetais.

O estudo das defesas de plantas está geralmente ligado a ambientes de florestas tropicais ou ambientes temperados, sendo em ambos os casos priorizado o hábito arbóreo. No Brasil estudos que quantificam a herbivoria são escassos (MARQUIS *et al.*, 2001; ZAVA & CIANCIARUSO, 2014) e não existe nenhum estudo do tipo para áreas de Campos Rupestres, nem estudos que enfoquem espécies herbáceas.

Nesse contexto, a compreensão da evolução das defesas vegetais e sua relação com os níveis de herbivoria e as condições ambientais pode levar a um entendimento maior sobre os fatores históricos limitantes dentro das comunidades de Campo Rupestre. Considerando a importância do componente edáfico na determinação da estrutura das comunidades do Cerrado (HARIDASAN, 2000), a inclusão dos solos nas análises de relações ecológicas pode trazer o esclarecimento das diferenças apresentadas pelas populações de mesma espécie tanto na estrutura da planta quanto nas estratégias antiherbivoria que podem estar sendo influenciadas por ele.

Para esse estudo foram escolhidas espécies de *Vellozia* da família *Velloziaceae*, caracterizada pela sua grande associação com ambientes rupestres (AYENSU, 1972). Essas plantas são conhecidamente dominantes sobre os afloramentos rochosos tanto de solos quartzíticos quanto em solos de canga, sendo muito relevantes para a estruturação da comunidade vegetal. São resistentes ao fogo, às condições ambientais extremas e tem o Brasil como centro principal de dispersão na América do Sul (SMITH & AYENSU, 1976). A família *Velloziaceae* compõe cerca de 240 espécies divididas em cinco gêneros. O gênero *Vellozia* com aproximadamente 115 espécies, é um dos maiores, com a maioria de suas espécies ocorrendo na Cadeia do Espinhaço (MELLO-SILVA *et al.*, 2011). Segundo Jacobi e Carmo (2012) existem 11 espécies da família *Velloziaceae* e 08 do gênero *Vellozia* que ocorrem nas cangas, destas foram selecionadas 4 espécies do gênero que ocorrem também em solos quartzíticos. As espécies amostradas neste trabalho foram *V. compacta*, *V. albiflora*, *V. variabilis* e *V. caruncularis*.

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar e caracterizar as taxas de herbivoria e patogenias e as diferenças nas estratégias antiherbiherbivoria de populações de mesma espécie ocorrendo em diferentes solos. E como objetivos específicos caracterizar os

traços antiherbivoria de espécies e populações distintas de espécies do gênero *Vellozia*; relacionar as estratégias antiherbivoria com os níveis de herbivoria observada e analisar relação entre o investimento em estratégias antiherbivoria com o tipo de formação campestre.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

Dentro do Bioma Cerrado, áreas de especial interesse são as de Campo Rupestre que incluem formações herbáceo-arbustiva associadas a solos litolíticos ferruginoso e quartzítico e possuem uma imensa diversidade beta (RAPINI *et al.*, 2008). Os Campos Rupestres ocorrem principalmente a partir de 900m e ocupam as regiões mais altas da Cadeia do Espinhaço, podendo ser encontrados também mais ao sul de Minas Gerais, a oeste de Goiás e no norte da América do Sul (RAPINI *et al.*, 2008). Cangas ferruginosas são afloramentos rochosos, consideradas ambientes raros, enquanto que os afloramentos rochosos quartzíticos atingem áreas de pelo menos três ordens de magnitude a mais (JACOBI & CARMO, 2012). Nas cangas o substrato é rico em minerais óxidos e hidróxidos de ferro e no substrato dos quartzíticos os minerais predominantes são os silicatos (JACOBI & CARMO, 2012). Essa diferença de substrato é visível na coloração e na estrutura do solo (Figura 1).

O material botânico analisado foi coletado em diferentes regiões de Minas Gerais de acordo com o local de ocorrência de cada espécie (Tabela 1). Foram coletados nos meses de julho e dezembro de 2012 nas regiões da Serra do Cipó, Serra da Moeda e Serra da Calçada e em novembro de 2013 nas regiões da Serra do Gandarela e Planalto Diamantina.

A identificação do material foi feita utilizando chave específica para a família (SMITH & AYENSU, 1976), com consulta ao especialista, quando necessário. Foram amostradas plantas em áreas de afloramentos rochosos dos dois tipos litológicos, sendo uma população em cada um dos ambientes para cada espécie analisada (Tabela 1).

2.2 COLETA DE MATERIAL

Foram selecionados 20 indivíduos da população ao longo de um transecto de 2mX60m em cada área, dos quais foram amostradas 5 folhas de cada indivíduo (Figura 02). As folhas foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo de maneira a preservar suas características até a realização das análises. O período entre a coleta e a análise nunca foi superior a 4 horas. Estas folhas foram destinadas às análises descritas a seguir. De cada

indivíduo, 3 folhas foram selecionadas, totalizando 60 folhas/população para a realização da pesagem, medição de área foliar, medição de área retirada por herbívoros e área atacada por patógenos. E 2 folhas de cada indivíduo, totalizando 40 folhas/população para a medição de glândulas quando presentes.

2.3 MEDIÇÃO DE ATAQUE POR HERBÍVOROS E PATÓGENOS

Para realizar a medição de herbivoria e patogenia, as folhas foram escaneadas e a área foliar total (AF), a área removida por herbívoros (ARH) mastigadores e a área atacada por patógenos (AAP) foram calculadas utilizando-se o software SigmaScan Pro5 (figura 03). Como parâmetro para as análises considerou-se a porcentagem da área total removida por herbívoros e a área total atacada por patógenos.

2.4 MEDIÇÃO DE TRAÇOS FOLIARES

Mediu-se traços estruturais e do metabolismo primário e secundário da planta. Traços fenológicos não foram usados, já que as espécies estudadas são perenes, ou seja, não perdem suas folhas. Para obtenção dos traços estruturais foram medidos o comprimento da folha (CF), a área foliar (AF) e a área foliar específica (AFE). No metabolismo primário considerou-se o conteúdo de água (CA). Traços do metabolismo secundário foram estudados com a análise da concentração de glândulas.

Para medição e caracterização da distribuição das glândulas de resina, seguiu-se o protocolo adotado por Martins (2011). O bordo foliar inteiro foi retirado com cortes à mão livre, foi submetido à desidratação em série etílica e mantido em álcool 95% até a completa extração das clorofilas. Após a extração de clorofilas as amostras foram coradas com Sudan Red e montadas em gelatina glicerinada. Fotomicrografias foram utilizadas para medir o comprimento das glândulas e a porcentagem do bordo foliar ocupada por estas com o auxílio do programa Sigma Scan Pro 5 (SPSS, Inc. Chicago) (Figura 03).

A área foliar foi determinada pela digitalização das folhas e para a medição foi utilizado o programa Sigma Scan Pro 5 (SPSS, Inc. Chicago). Logo após as coletas as folhas foram destinadas a pesagem para obtenção do peso fresco e posteriormente, as folhas foram secas em estufa a 60°C por 48h para obtenção do peso de massa seca (PS) (ROZENDAAL *et al.*, 2006). O conteúdo de água foi considerado como a porcentagem de massa perdida durante a secagem.

Como um parâmetro de medição de esclerofilia foi selecionado a análise da área foliar específica (AFE). Para determinação da AFE, a área foliar (AF) foi dividida pelo peso seco (PS) da folha.

2.5 ANÁLISE DE SOLOS

Para a realização da análise de solos foram coletados amostras de 300g de solo em pontos aleatórios do transecto onde foram coletadas as plantas. Em cada área coletou-se amostras de 0 a 20 cm de profundidade fazendo uma amostra composta e identificada. Os solos foram enviados para o Laboratório de Solos do Instituto Federal Sul de Minas - Inconfidentes, onde foi realizada uma análise química completa, podendo ser identificados quais componentes químicos estavam presentes. A metodologia utilizada seguiu a metodologia de análise química da Embrapa (EMBRAPA, 2009).

2.6 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Anteriormente a qualquer análise, foram verificados os pressupostos das análises paramétricas (ZAR, 1996). Os testes foram realizados para verificar se os traços têm distribuições normais ou não normais. O Teste T foi utilizado em dados paramétricos para a comparação das médias entre os ambientes. Em dados não paramétricos foi utilizado o teste Mann-Whitney para comparação das medianas entre os ambientes. Foi realizada uma matriz de correlação de Pearson para verificar o grau de associação entre as variáveis e entre as variáveis e o ambiente. Uma análise de variância multivariada com permutações foi utilizada para verificar a influência do ambiente, das espécies e da interação entre esses fatores na determinação das características amostradas. Para análise dos dados de solo foi realizada uma Análise de Componentes Principais (PCA) verificando se os solos de cada ambiente mostram características semelhantes. Para todas as análises foi estabelecido um valor de $\alpha = 0,05$ (ZAR, 1996). Utilizou-se para análises estatísticas o software Past (HAMMER *et al.*, 2001).

3. RESULTADO E DISCUSSÃO

Esse é o primeiro estudo a quantificar a herbivoria e a patogenia em plantas de Campo Rupestre. Todas as populações amostradas apresentaram baixas taxas de herbivoria, média de $2,39\% \pm 4,89$, variando entre $0,63\% \pm 2,16$ a $3,79\% \pm 5,85$, e de patogenia, média $0,11\% \pm 0,26$, entre $0,15 \pm 0,24$ e $1,77 \pm 3,42$. Esses valores são menores do que as médias obtidas para a vegetação de Cerrado (MARQUIS *et al*, 2001; ZAVA & CIANCIARUSO, 2014). Esse achado é condizente com a teoria da disponibilidade de recursos que prevê que plantas de crescimento lento em regiões com baixa disponibilidade de recursos suportam menores taxas de herbivoria (ENDARA & COLEY, 2011).

Nas cangas, foi observado que as populações amostradas tiveram menor área removida por herbívoros e atacada por patógenos, em comparação com as mesmas espécies em afloramentos quartzitos (Figura 04), essas plantas podem ter investido em diversos tipos de defesas, já que o prejuízo da perda de área nesses ambientes pode ser mais relevante (NÚÑES-FARFAN *et al*, 2007). *V. caruncularis* e *V. variabilis* apresentaram diferenças significativas na taxa de herbivoria entre os dois ambientes, enquanto que em *V. albiflora* e *V. compacta* as diferenças não foram significativas.

Observando a variação dos traços antiherbivoria medidos (Figura 04), pôde-se constatar que as populações de canga apresentaram área foliar (AF), área foliar específica (AFE) e o conteúdo de água (CA) maiores que das populações de quartzito. A área foliar específica está relacionada à dureza foliar, uma defesa física importante das plantas, já o conteúdo de água está relacionado à qualidade nutricional da planta (SILVA & BATALHA, 2011). O conteúdo de água e a área foliar quando maiores significariam maior suscetibilidade à herbivoria já que indicam menor investimento em defesas estruturais e maior qualidade nutricional, mesmo assim foi observado que as plantas de canga eram menos atacadas por herbívoros. Estudos mostram que a hiperacumulação de alguns compostos pode servir como uma estratégia de defesa (BOYD, 2007), no presente trabalho as diferenças observadas entre os tipos litológicos podem estar ligadas a uma hiperacumulação de metais nas plantas de

canga. Outra possível explicação é que as maiores taxas de herbivoria nos campos rupestres quartzíticos podem estar ligadas a condições estressante relacionadas à baixa fertilidade do solo e alta concentração de Alumínio (tabela 8), reforçando a Hipótese do Estresse de Plantas como mostrado para o Cerrado por Zava e Cianciaruso (2014).

Na correlação geral dos traços de todas as espécies coletadas nos dois ambientes (tabela 02), a área removida por herbívoros não apresenta relação significativa com nenhum dos traços foliares. A área atacada por patógenos apresenta correlação negativa com a área foliar, com o comprimento das folhas, com a área foliar específica e com as glândulas de resina presente em algumas espécies. Os traços foliares medidos são recorrentemente atrelados a defesas antiherbivoria (AGRAWAL & FISHBEIN, 2006). Entretanto a maior parte dos estudos dessas defesas foram realizados com árvores em ambientes de florestas tropicais. O fato de terem encontrados poucas correlações entre os traços analisados e o índice de herbivoria pode estar relacionado ao fato das espécies analisadas serem ervas, monocotiledôneas de ambientes improdutivos tropicais e pode indicar que essas plantas utilizem outras combinações de traços antiherbivoria. Analisando uma comunidade de Cerrado típico Zava e Cianciaruso (2014) também notaram que nenhum dos traços avaliados estavam correlacionados com a taxa de herbivoria a nível individual. Uma possível explicação levantada por esses autores é que as plantas de Cerrado já apresentam uma alta esclerofilia em geral, o que também é verdade para as plantas do presente estudo. Segundo Agrawal (2010), ainda se sabe muito pouco sobre a combinação de traços antiherbivoria que é mais efetiva. A relação negativa da patogenia com as glândulas de resina pode refletir as propriedades antifúngicas descritas para esse tipo de secreção vegetal (LANGENHEIM, 2003)

Analisando as correlações de cada área, quartzito e canga (tabela 03 e 04), pôde ser observado que, nas populações do quartzito, a área retirada por herbívoros está correlacionada significativamente apenas com a área foliar específica (AFE) e a área atacada por patógenos também apresenta correlação com a AFE, mas negativamente. Nas populações da canga a área retirada por herbívoros apresenta correlação negativa apenas com glândulas de resina, já a área atacada por patógenos apresenta correlação significativa e negativa com a área foliar, com a área foliar específica e com glândulas. Segundo Agrawal (2010) as defesas antiherbivoria das plantas tem evoluído convergente, seus traços foram adaptados à habitats específicos e algumas características das plantas são exclusivamente de defesas.

Analisando as correlações a nível populacional, foi observado que nas populações amostradas sobre solo quartzítico foram encontradas correlações diversas entre os traços analisados e a herbivoria (Tabela 05), em populações de *V. variabilis* a maioria dos traços se encontram negativamente correlacionados, apenas em *V. albiflora* a área removida por herbívoros não se mostra correlacionada significativamente com nenhum dos traços foliares.

Considerando os indícios de patogenicidade (Tabela 06), em *V. variabilis* não se encontra correlação significativa com nenhum dos traços, em *V. caruncularis* a patogenicidade está correlacionada apenas com a glândula de resina, em *V. albiflora* está negativamente correlacionada com a área foliar específica e em *V. compacta* está correlacionada com a área atacada por herbívoros. Por outro lado, em populações amostradas sobre solo ferruginoso não foram encontradas correlações significativas entre os traços foliares analisados e a área removida por herbívoros (Tabela 05) e, em relação à área atacada por patógenos (Tabela 06), foi encontrada apenas uma correlação significativa em duas das populações analisadas, em *V. caruncularis* a área removida por herbívoros se mostra negativamente correlacionada com o conteúdo de água e em *V. variabilis* a área atacada por patógenos se mostra significativamente correlacionada com a herbivoria. Deve-se destacar que as correlações observadas não mostram um padrão entre as populações.

As áreas de Campo Rupestre como os quartzíticos apresentam solos pobres em carbonos e nutrientes indicando um processo de degradação por lixiviação (BENITES *et al.*, 2003), assim como os solos desenvolvidos sobre cangas são carentes em nutrientes, com capacidade extremamente baixa de troca, refletindo a sua natureza oxídica (JACOBI & CARMO, 2012). Em geral os ambientes de campo rupestre apresentam solos pobres em recursos e com baixa capacidade de retenção de água, solos rasos e arenosos, formados por rochas areníticas e quartzíticas (MATIAS, 1992). Pela análise de componentes principais (PCA) pode-se notar que os solos do mesmo tipo litológico se agrupam por possuírem uma série de características físicoquímicas comuns. Os dois eixos mostrados na figura 05 explicam juntos 76% da variação observada nos componentes do solo medidos. Nota-se que o solo do campo rupestre quartzítico é caracterizado por uma maior saturação por alumínio e maior pH, mesmo sendo ainda um solo ácido. Já os solos da canga são caracterizados por uma maior presença de metais e de matéria orgânica (figura 5 e tabela 8). A fertilidade do solo pode estar diretamente ligada à produção de defesas como postula a Teoria do Estresse de Plantas que prevê que plantas submetidas a maiores níveis de estresse seriam mais atacadas, por

carecerem de recursos para investimento de defesa. Nesse trabalho foi notado que características do solo relacionado ao estresse de plantas, como a baixa fertilidade e alta saturação por Alumínio, estão relacionadas as taxas mais altas de herbivoria como previsto por essa teoria (tabela 07).

O fato de ter encontrado correlações fortes entre a herbivoria e os traços do solo e correlações fracas e sem padrão definido com os traços foliares medidos corrobora o modelo delimitado por Zava e Cianciaruso (2014) para a comunidade de Cerrado do Parque Nacional das Emas, em que os melhores fatores preditivos para a média de dano foliar são relacionados ao solo.

Foi observado pela análise de variância multifatorial que tanto o ambiente quanto a espécie mostram efeitos na variação dos traços medidos e dos índices de herbivoria e patogenia (Tabela 09). Pode-se notar também que o ambiente é determinante nas diferenças encontradas nas populações em todos os casos, exceto na área atacada pelos patógenos (Tabela 09). Em todos os casos foi observado que ocorre uma interação entre o ambiente e a espécie influenciando as diferenças encontradas, ou seja, a variação entre as populações depende tanto do ambiente onde elas ocorrem quanto da espécie em questão (Tabela 09).

Com o presente estudo, pode-se concluir que as taxas de herbivoria e patogenia das espécies amostradas apresentam diferenças nos dois ambientes amostrados, sendo maiores nas populações de campo rupestre quartzítico. Os traços antiherbivoria das espécies amostradas na canga apresentaram-se relacionados a uma maior suscetibilidade à herbivoria e, mesmo assim, essas plantas apresentaram menor dano. As plantas de canga podem, então, ter investido em diferentes tipos de defesas não mensurados e, assim, puderam investir mais na qualidade nutricional.

Mostrou-se também uma correlação entre as características do solo e as taxas de herbivoria. A fertilidade dos solos pode estar diretamente relacionada na produção de defesas que as plantas desenvolvem e pode também haver uma acumulação de metais na planta culminando no afastamento dos herbívoros.

Esse trabalho abre novas perspectivas para o estudo dessa importante relação ecológica com plantas herbáceas, especialmente de campos rupestres.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGRAWAL, A. A. & FISHBEIN, M. **Plant defense syndromes**. Ecological Society of America. Vol. 87, n° 7. pp S132-149. 2006.
- AGRAWAL, A. A. **Current trends in the evolutionary ecology of plant defense**. Functional Ecology. Vol. 25, pp 420-432. 2010.
- AYENSU, E. S. **Studies on pollen morphology in the Velloziaceae**. Proceedings of the Biological Society of Washington. Vol. 85, n°40, pp 469-480. 1972.
- BENITES, V. M., CAIAFA, A. N., MENDONÇA, E. S., SHAEFER, C. E. KER, J. C. **Solos e vegetação nos complexos rupestres de altitude da Mantiqueira e do Espinhaço**. Floresta e Ambiente. Vol. 10, n° 1, pp 76-85. 2003.
- BOYD, R. S. **The defense hypothesis of elemental hiperaccumulation: status, challenges and new directions**. Plant Soil. Vol. 239, pp 153-176. 2007.
- COLEY, P. D. & BARONE, J. A. **Herbivory and plant defenses in tropical forest**. Annual Review of Ecology and Systematics. Vol. 27, pp 305-335. 1996.
- DELGADO, M. N. **Variações fenotípicas nas defesas anti-herbivoria de espécies de cerrado: Efeitos de diferentes condições ambientais**. Tese Mestrado. Departamento de Ecologia. Instituto de Ciências Biológicas. Universidade de Brasília. 2011.
- EMBRAPA. **Manual de análise química de solos, plantas e fertilizantes**. Editor técnico, Fabio Cesar da Silva. 2ª edição revista e ampliada. Brasília, DF: Embrapa informação tecnológica, 627pag. 2009.
- ENDARA, M. J., COLEY, P. D. **The resource availability hypothesis revisited: a meta-analysis**. Functional Ecology. Vol. 25 pp 389-398. 2011.
- HAMMER, O., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D. **PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis**. Palaentologia Electronica, Vol 4, n°1, pp 9. 2001
- HARIDASAN, M. **Nutrição mineral de plantas nativas do cerrado**. Revista Brasileira Fisiologia Vegetal. Vol. 12, n° 1, pp 54-64. 2000.
- JACOBI, C. M., CARMO, F. F. **Diversidade florísticas nas cangas do Quadrilátero Ferrífero**. 1º ed. Belo Horizonte: Código Editora. 222p. 2012.
- LANGENHEIM, J.H. **Plant resins: chemistry, evolution, ecology and ethnobotany**. Portland: Timber. Press. 2003.

- LIMA, H. R. P., KAPLAN, M. A. C. & CRUZ, A. V. M. **Influência dos fatores abióticos na produção e variabilidade de terpenóides em plantas.** Floresta e Ambiente. Vol. 10, nº 2, pp 71-77. 2013.
- MARQUIS, R. J., DINIZ I. R., MORAIS, H. C. **Patterns and correlates of interspecific variation in foliar insect herbivory and pathogen attack in brazilian cerrado.** Cambridge University Press. Journal of Tropical Ecology. Vol. 17, pp 127-148. 2001.
- MARTIN, J. L. & BALTZINGER, C. **Interaction among deer browsing, hunting, and tree regeneration.** Canadian Journal of Forest Research. Vol. 32, pp 1254-1264. 2002.
- MARTINS, L. C. **Prospecção, caracterização anatômica e ultraestrutural, composição de secreção e aspectos funcionais de estruturas secretoras em cinco espécies de *Vellozia* (Velloziaceae) ocorrentes em canga ferruginosa.** Tese Mestrado. Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte MG. 2011.
- MATIAS, L. Q. **Biologia e estratégia para conservação de *Constantia cipoensis* Porto & Brade (Orquidaceae).** Tese Mestrado. Departamento de Ecologia Conservação e Manejo da Vida Silvestre. Universidade Federal de Minas Gerais. 112 f. 1992.
- MELLO-SILVA, R., SANTOS, D.Y.A.C., SALATINO, M. L., MOTTA, L.B., CATTAL, M.B., SASAKI, D., LVO, J., PITA, P.B., ROCINI, C., RODRIGUES, C. D. N., ZARREI, M. & CHASE, M.W. **Five vicarious genera from Gondwana: the Velloziaceae as shown by molecules and morphology.** Annals of Botany. Vol. 108, pp 87-102. 2011.
- MYERS, N., MITTERMEIER R. A., MITTERMEIER C. G., DA FONSECA G. A. B. & NESS, J. H. ***Catalpa bignonioides* alters extrafloral nectar production after herbivory and attracts and bodyguards.** Oecologia. Vol. 134, pp 210-218. 2003.
- NÚÑEZ- FARFÁN, J., FORFONI, J. & VALVERDE, P. L. **The evolution of resistance and tolerance to herbivores.** Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics. Vol. 38, pp 541-566. 2007.
- PRINCE, P. W., BOUTON, C. E., GROSS, P., MCPHERON, B. A., THOMPSON, J. N. & WEIS, A. E. **Interactions among 3 trophic levels- Influence of plants on interactions between insect herbivores and natural enemies.** Annual Review of Ecology and Systematics. Vol. 11, pp 41-65. 1980.
- RAPINI, A., RIBEIRO, P. L., LAMBERT, S. & PIRANI, J. R. **A flora dos campos rupestres da Cadeia do Espinhaço.** Megadiversidade. Vol. 4, pp 15-23. 2008.
- RIBEIRO, K. T. & FREITAS, L. **Impactos potenciais das alterações no Código Florestal sobre a vegetação de campos rupestres e campos de altitude.** Biota Neotropica. Vol. 10, pp 239-246. 2010.
- RIBEIRO, S. P. & FERNANDES, G. W. **Interações entre insetos e plantas no Cerrado: Teoria e hipóteses de trabalho.** In Martins, R. P., Lewinsonh, T. M., Barbeitos, M. S. (eds). Ecologia e comportamento de insetos. Série Oecologia Brasiliensis, vol VIII. PPGE-UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil. pp 299-300. 2000.
- ROZENDAAL, D. M. A., HURTADO, V. H. & POORTER, L. **Plasticity in leaf traits of 38 tropical tree species in response to light; relationships with light demand and adult stature.** Functional Ecology. Vol. 20, pp 207–216. 2006.

SILVA, D. M. & BATALHA, M. A. **Defense syndromes against herbivory in a cerrado plant community.** Plant Ecology, Vol. 212, n° 2, pp. 181-193. 2011.

SMITH, L. B. & AYENSU, E. S. **A revision of american Velloziaceae.** Smithsonian Institution Press. Washington. 1976.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis.** Prentice-Hall International Editions. 3° edition. New Jersey. 1996.

ZAVA, P.C. & CIANCIARUSO, M.V. **Can we use plant traits and soil characteristics to predict leaf damage in savanna woody species?** Plant Ecology, Vol. 215, pp.625-637.2014

5. FIGURAS

Figura 01. Áreas de estudo nos Campos Rupestres. A e B) Visão Geral das áreas de coleta; A) Afloramentos rochosos quartzíticos; B) afloramentos rochosos ferruginosos (canga); C e D) Detalhe dos afloramentos evidenciando a coloração e estrutura superficial do solo: C) Afloramento quartzítico; D) Afloramento ferruginoso.

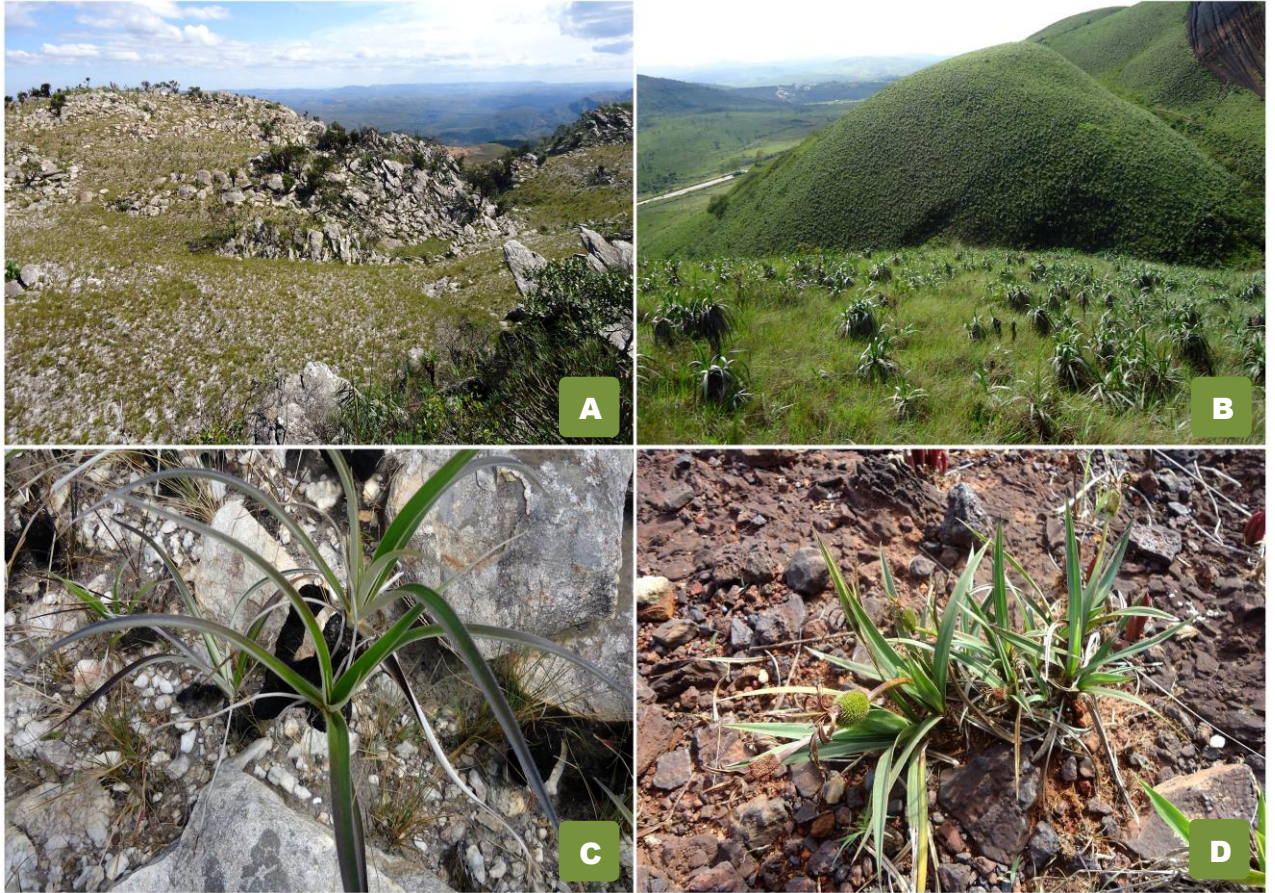


Figura 02. Visão geral do processamento dos materiais. A) Coleta das amostras para estudo. B) Pesagem das folhas. C) Preparação dos bordos para observação das glândulas. D) Digitalização das folhas para a medição das áreas.



Figura 03. Exemplos de medição das áreas. A) Medição da área foliar; B) Pontos evidenciados em vermelhos e azuis indicando a medição da área atacada por patógenos; C) Medição da área removida por herbívoros; D) Medição do comprimento da amostra e da área ocupada por glândula de resina em preparação anatômica.

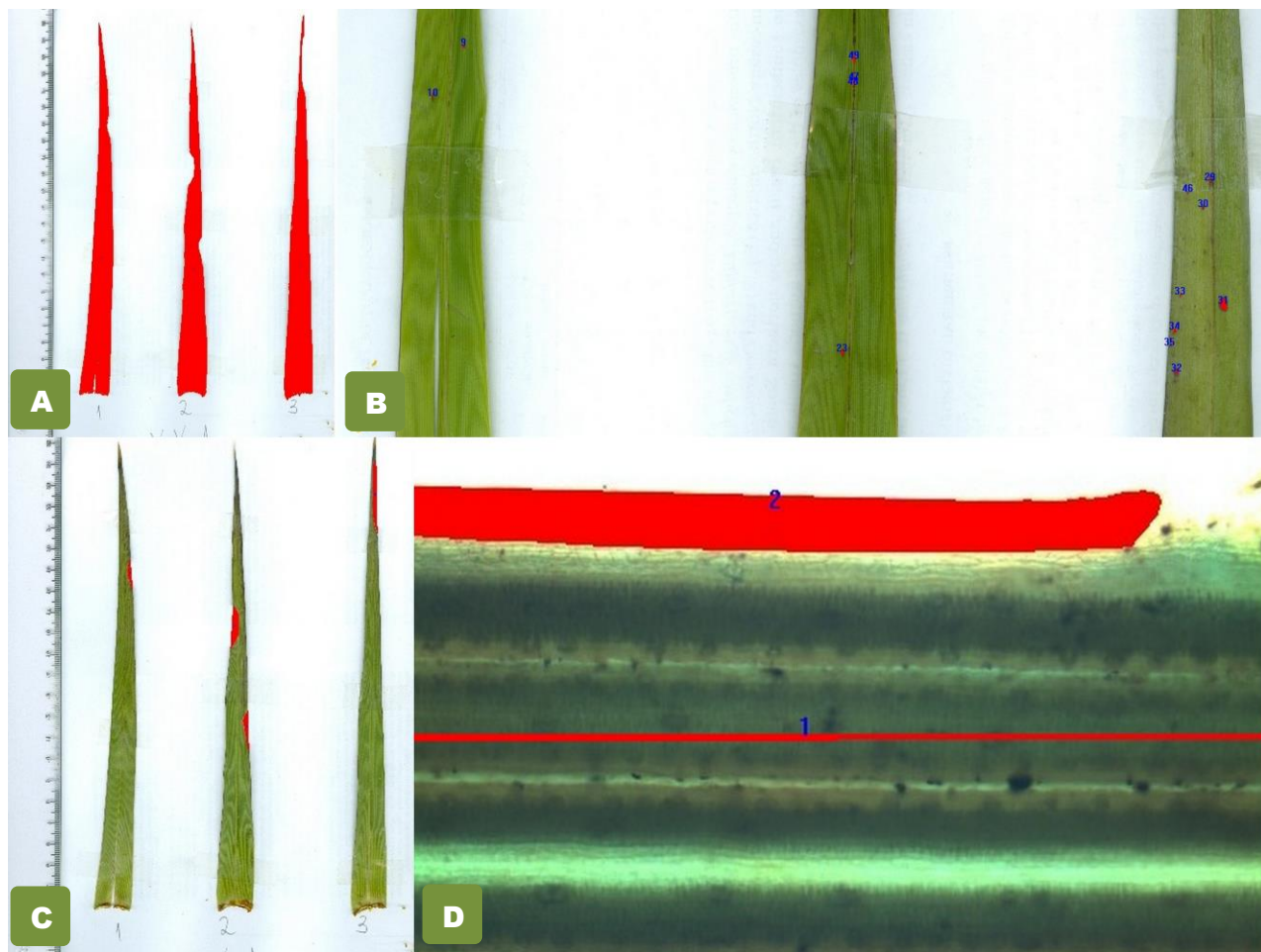
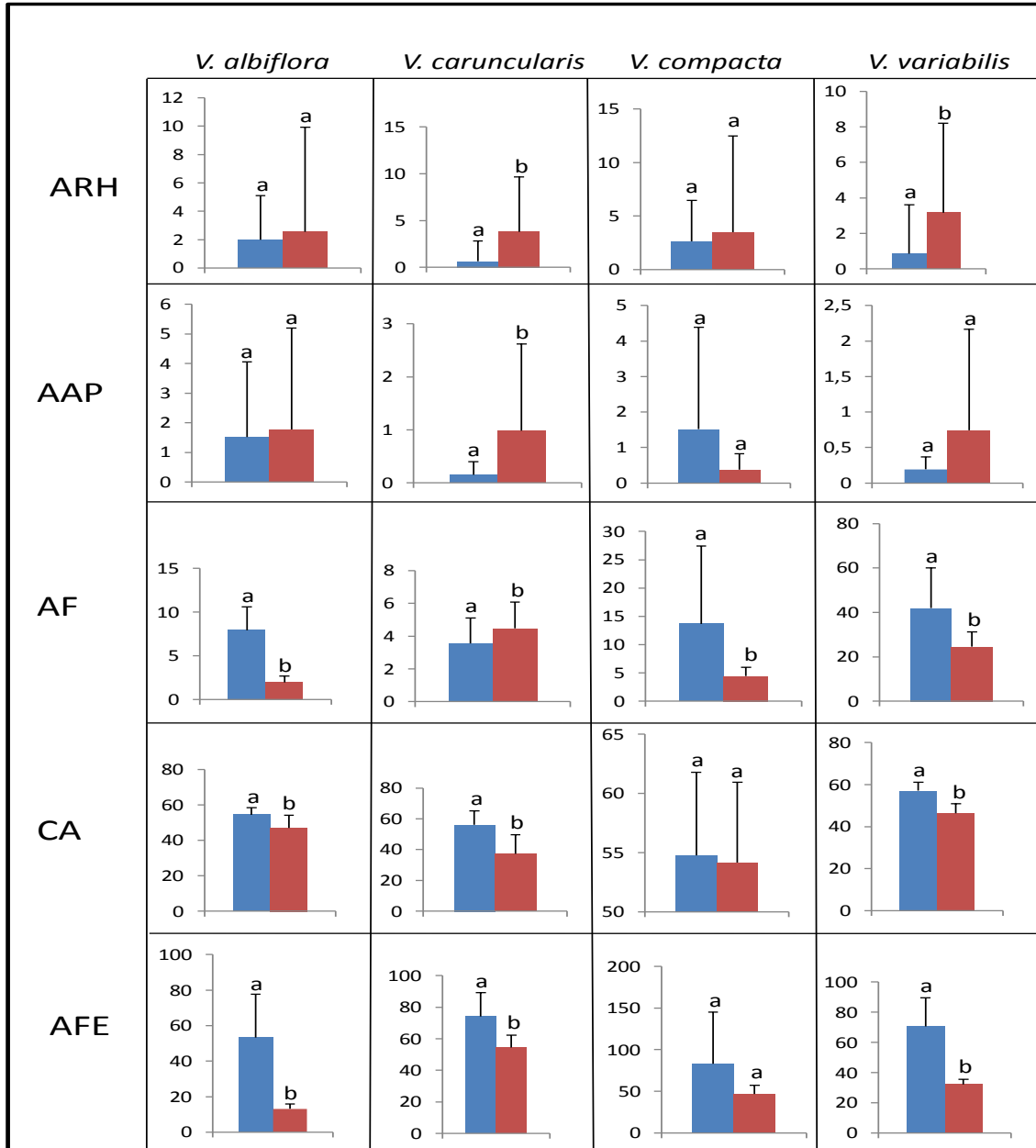
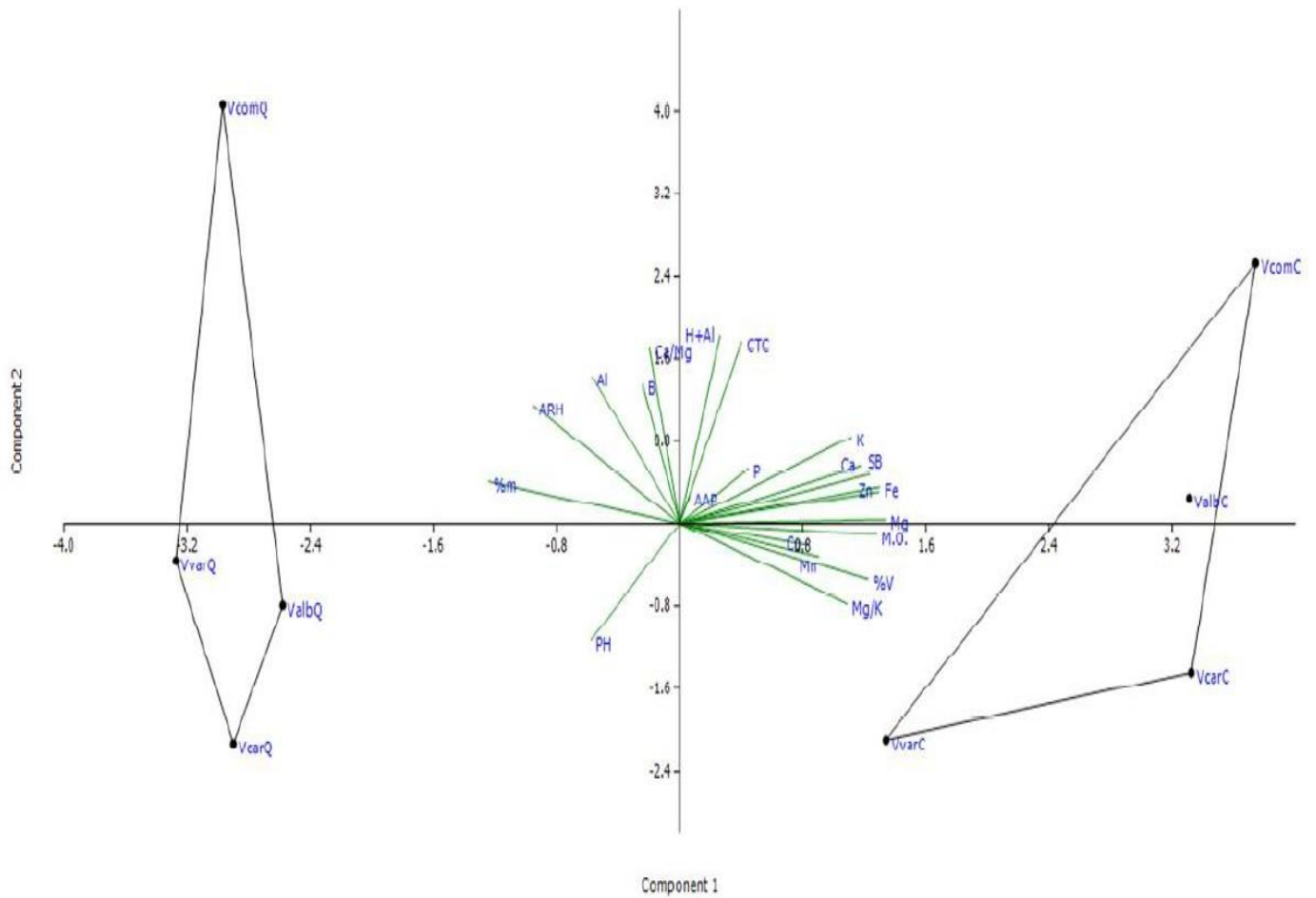


Figura 04. Gráficos de médias e desvio padrão mostrando as diferenças entre as taxas de herbivoria e ataques por patógenos nos dois ambientes e diferença em alguns traços antierbivoria. A cor azul representa Canga e vermelha Quartzito. Letras diferentes no mesmo gráfico indicam diferenças significativas.



ARH: Área Removida por Herbívoros. AAP: Área Atacada por Patógenos. AF: Área Foliar. CA: Conteúdo de Água. AFE: Área Foliar Específica.

Figura 05. Análise de Componentes Principais (PCA) dos solos onde ocorrem as espécies amostradas nos Campos Rupestres. *VcomQ*= *V. compacta* quartzito, *VvarQ*= *V. variabilis* quartzito, *ValbQ*= *V. albiflora* quartzito, *VcarQ*= *V. caruncularis* quartzito. *VcomC*= *V. compacta* canga, *VvarC*= *V. variabilis* canga, *ValbC*= *V. albiflora* canga, *VcarC*= *V. caruncularis* canga.



6. TABELAS

Tabela 01. Amostras coletadas nos dois tipos de substratos e local de ocorrência de cada espécie.

Espécie	Tipo de Substrato	Área de Coleta	Localização Geográfica
<i>V. caruncularis</i>	Quartzito	Serra do Cipó	S19 °17' W43 °33
	Canga	Serra da Calçada	S20°04.666 W43°59.612
<i>V. albiflora</i>	Quartzito	Chapada Diamantina.	S18° 11.276 W43° 34.048
	Canga	Serra da Moeda	S20°11.534' W43°58.843'
<i>V. compacta</i>	Quartzito	Serra do Cipó	S19 °17' W43 °33
	Canga	Serra Gandarela.	S20° 05.533 W46° 41.212
<i>V. variabilis</i>	Quartzito	Serra do Cipó	S19 °17' W43 °33
	Canga	Serra da Moeda	S20°11.534 W43°58.843

Tabela 02. Correlação geral dos traços foliares e as taxas de herbivoria e patogenia em populações de *Vellozia* amostradas em Canga e Quartzito.

	PF	AF	CF	PS	ARH	AAP	AFE	CA	GLA
PF		0,859***	0,81***	0,986***	-0,12	-0,139	-0,017	0,093	0,236**
AF			0,958***	0,79***	-0,148	-0,188*	0,399***	0,210**	0,404***
CF				0,730***	-0,15	-0,173*	0,313***	0,180*	0,491***
PS					-0,1	-0,119	-0,089	0,001	0,153
ARH						0,127	-0,072	-0,122	-0,13
AAP							-0,228**	-0,149	-0,178*
AFE								0,358***	0,284***
CA									0,136

*p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001. PF: Peso Fresco. AF: Área Foliar. CF: Comprimento Foliar. PS: Peso Fresco. ARH: Área Removida por Herbívoros. AAP: Área Atacada por Patógenos. AFE: Área Foliar Específica. CA: Conteúdo de Água e GLA: Glândulas.

Tabela 03. Correlação dos traços foliares e as taxas de herbivoria e patogenicidade em populações de *Vellozia* amostradas em Quartzito.

	PF	AF	CF	PS	ARH	AAP	AFE	CA	GLA
PF		0,975***	0,892***	0,995***	-0,128	-0,094	-0,233*	0,123	-0,303**
AF			0,95***	0,975***	-0,082	-0,119	-0,049	0,062	-0,194
CF				0,9***	-0,074	-0,113	0,074	-0,073	-0,008
PS					-0,117	-0,085	-0,237*	0,07	-0,287**
ARH						0,118	0,231*	0,028	0,064
AAP							-0,274*	-0,198	0,14
AFE								-0,128	0,517***
CA									-0,508***

*p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001. PF: Peso Fresco. AF: Área Foliar. CF: Comprimento Foliar. PS: Peso Fresco. ARH: Área Removida por Herbívoros. AAP: Área Atacada por Patógenos. AFE: Área Foliar Específica. CA: Conteúdo de Água e GLA: Glândulas.

Tabela 04. Correlação dos traços foliares e as taxas de herbivoria e patogenicidade em populações de *Vellozia* amostradas em Canga.

	PF	AF	CF	PS	ARH	AAP	AFE	CA	GLA
PF		0,921***	0,958***	0,995***	-0,158	-0,188	0,069	0,065	0,481***
AF			0,963***	0,906***	-0,175	-0,238*	0,413***	0,109	0,455***
CF				0,943***	-0,191	-0,219	0,227*	0,086	0,503***
PS					-0,14	-0,176	0,041	0,019	0,445***
ARH						0,172	-0,104	-0,034	-0,242*
AAP							-0,263*	-0,121	-0,312**
AFE								0,257*	0,111
CA									0,195

*p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001. PF: Peso Fresco. AF: Área Foliar. CF: Comprimento Foliar. PS: Peso Fresco. ARH: Área Removida por Herbívoros. AAP: Área Atacada por Patógenos. AFE: Área Foliar Específica. CA: Conteúdo de Água e GLA: Glândulas.

Tabela 05. Matriz de correlação entre a área removida por herbívoros e os traços foliares.

		PF	AF	CF	PS	AAP	AFE	CA	GLA
V. caruncularis	Quartzito	0,453*	0,503*	NS	NS	NS	NS	NS	NS
	Canga	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
V. albiflora	Quartzito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NA
	Canga	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NA
V. variabilis	Quartzito	-0,49*	-0,487*	-0,517*	-0,456*	NS	NS	-0,557*	NA
	Canga	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS
V. compacta	Quartzito	NS	NS	NS	NS	0,590**	0,577**	NS	NA
	Canga	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NA

*p < 0,05; ** p < 0,01. PF: Peso Fresco. AF: Área Foliar. CF: Comprimento Foliar. PS: Peso Fresco. AAP: Área Atacada por Patógenos. AFE: Área Foliar Específica. CA: Conteúdo de Água e GLA: Glândulas. NS: correlação Não Significativa. NA: Não se Aplica.

Tabela 06. Matriz de correlação entre a área atacada por patógenos e os traços foliares.

		PF	AF	CF	PS	ARH	AFE	CA	GLA
V. caruncularis	Quartzito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	0,649**
	Canga	NS	NS	NS	NS	NS	NS	-0,485*	NS
V. albiflora	Quartzito	NS	NS	NS	NS	NS	-0,499*	NS	NA
	Canga	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NA
V. variabilis	Quartzito	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NA
	Canga	NS	NS	NS	NS	0,662**	NS	NS	NS
V. compacta	Quartzito	NS	NS	NS	NS	0,590**	NS	NS	NA
	Canga	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NA

*p < 0,05; ** p < 0,01. PF: Peso Fresco. AF: Área Foliar. CF: Comprimento Foliar. PS: Peso Fresco. ARH: Área Removida por Herbívoros. AFE: Área Foliar Específica. CA: Conteúdo de Água e GLA: Glândulas. NS: correlação Não Significativa. NA: Não se Aplica.

Tabela 07. Correlação de Pearson entre a área removida por herbívoros (ARH), a área atacada por patógenos (AAP) e as características físicoquímicas do solo.

	pH	P	K	Ca	Mg	H+Al	Al	SB	CTC	%V
ARH	-0,10	-0,17	-0,36	-0,41	-0,69	0,40	0,64	-0,47	0,32	-0,87**
AAP	-0,14	0,69	0,00	0,22	0,00	0,02	-0,09	0,18	0,03	-0,17

Continuação...

	Mg/K	Zn	Fe	Mn	Cu	B	M.O.	%m	Ca/Mg
ARH	-0,73*	-0,55	-0,59	-0,65	-0,45	0,48	-0,67	0,77*	0,613
AAP	-0,08	0,11	0,01	-0,19	0,09	-0,44	0,10	0,08	0,30

* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$. pH: pH em água; P: fósforo (em mg/dm^3); K: potássio (em mg/dm^3); Ca: cálcio (em Cmol/dm^3); Mg: magnésio (em Cmol/dm^3); H+Al: alumínio em extração ácida (em Cmol/dm^3); Al: alumínio (em Cmol/dm^3); SB: soma de bases trocáveis (em Cmol/dm^3); CTC: capacidade de troca de cátions a pH7 (em Cmol/dm^3); %V: saturação de bases à CTC pH7 (em porcentagem); M.O.: matéria orgânica (em g/dm^3); %m: saturação de alumínio (em porcentagem); Ca/Mg: razão cálcio magnésio; Mg/K: razão magnésio potássio; Zn: zinco (em mg/dm^3); Fe: ferro (em mg/dm^3); Mn: Manganês (em mg/dm^3); Cu: cobre (em mg/dm^3); B: boro (em mg/dm^3).

Tabela 08. Características físicoquímicas dos solos onde ocorrem as populações de *Vellozia* amostradas

Espécie	<i>V.albiflora</i>		<i>V.caruncularis</i>		<i>V.compacta</i>		<i>V.variabilis</i>	
	Canga	Quartzito	Canga	Quartzito	Canga	Quartzito	Canga	Quartzito
PH	4	4,81	4,23	4,85	4,37	4,24	5,13	4,64
P	3,25	4,13	1,15	0,01	2,7	1,6	1,36	0,01
K	35,4	7	24,6	3,6	29,9	21,4	21	12,7
Ca	0,92	0,15	0,94	0,1	1,99	0,19	0,65	0,1
Mg	0,31	0,03	0,35	0,03	0,38	0,03	0,24	0,03
H+Al	5,82	3,46	4,05	1,46	15,44	16,26	5,01	3,32
Al	0,7	0,7	0,6	0,3	0,8	1,7	0,2	1,5
SB	1,32	0,2	1,35	0,15	2,45	0,28	0,95	0,17
CTC	6,94	3,66	5,41	1,61	17,89	16,58	5,95	3,49
%V	19,06	5,44	25,01	3,79	13,68	1,88	15,89	4,92
M.O.	9,48	3,97	10,17	3,79	8,45	2,93	5,34	2,76
%m	34,59	77,85	30,73	68,88	24,63	85,95	17,46	89,72
Ca/Mg	2,96	4,25	2,73	3,03	5,24	5,46	2,69	3,03
Mg/K	3,44	1,93	5,45	3,75	4,97	0,63	4,5	1,08
Zn	1,52	0,01	1,26	0,01	1,32	0,23	0,55	0,01
Fe	225,8	28,7	247,7	11,4	307	66,1	166,6	62,7
Mn	17,8	0,3	8,9	0,9	18,6	1,7	35,5	3
Cu	0,09	0,01	0,06	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
B	0,39	0,01	0,17	0,11	0,23	1,02	0,41	0,35
ARH	2	2,53	0,67	3,76	2,64	4,84	0,85	3,17
AAP	1,52	1,76	0,15	0,96	1,51	0,37	0,19	0,71

pH: pH em água; P: fósforo (em mg/dm³); K: potássio (em mg/dm³); Ca: cálcio (em Cmol/ dm³); Mg: magnésio (em Cmol/ dm³); H+Al: alumínio em extração ácida (em Cmol/ dm³); Al: alumínio (em Cmol/ dm³); SB: soma de bases trocáveis (em Cmol/ dm³); CTC: capacidade de troca de cátions a pH7 (em Cmol/ dm³); %V: saturação de bases à CTC pH7 (em porcentagem); M.O.: matéria orgânica (em g/dm³); %m: saturação de alumínio (em porcentagem); Ca/Mg: razão cálcio magnésio; Mg/K: razão magnésio potássio; Zn: zinco (em mg/dm³); Fe: ferro (em mg/dm³); Mn: Manganês (em mg/dm³); Cu: cobre (em mg/dm³); B: boro (em mg/dm³).

Tabela 09. Resultados da ANOVA de duas vias para traços antiherbivoria, índices de herbivoria e patógenos em quatro espécies de *Vellozia* ocorrentes em canga e quartzito.

Traço	Ambiente	Espécie	Ambiente X espécie
Área foliar	69,82***	189,51***	23,7***
AFE	307,12***	98,81***	34,77***
Herbívoros	8,945**	0,635	3,316*
Patógenos	1,907	9,907***	4,997**
CRA	175,55***	22,72***	31,48***

*p < 0,05; ** p < 0,01; *** p < 0,001. AFE: Área Foliar Específica. CRA: Conteúdo Relativo de Água.