

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
CURSO DE AGRONOMIA**

**TEORES DE SILÍCIO, CÁLCIO E ALUMÍNIO EM RAÍZES E FOLHAS DE  
ESPÉCIES LENHOSAS DO CERRADO EM DUAS CLASSES DE SOLO**

**ALEXANDRE LUIZ NEVES**

**GASPAR HENRIQUE KORNDÖRFER**  
(Orientador)

Monografia apresentada ao Curso de  
Agronomia, da Universidade Federal de  
Uberlândia, para obtenção do grau de  
Engenheiro Agrônomo.

Uberlândia – MG

Agosto - 2002

**TEORES DE SILÍCIO, CÁLCIO E ALUMÍNIO EM RAÍZES E FOLHAS DE  
ESPÉCIES LENHOSAS DO CERRADO EM DUAS CLASSES DE SOLO**

APROVADO PELA BANCA EXAMINADORA EM 09 / 08 / 2002

---

Prof. Dr. Gaspar Henrique Korndörfer  
(Orientador)

---

Prof. Dr. Gilberto Fernandes Corrêa  
(Membro da Banca)

---

Prof. Dr. Hamilton Seron Pereira  
(Membro da Banca)

Uberlândia – MG

Agosto - 2002

## ÍNDICE

<b>1- INTRODUÇÃO .....</b>	<b>4</b>
<b>2- REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>6</b>
2.1- Bioma cerrado .....	6
2.2- Fisionomias do cerrado .....	9
2.3- Nutrientes na vegetação do cerrado .....	11
<b>3- MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>16</b>
3.1- Caracterização dos sítios de estudo .....	16
3.2- Espécies estudadas .....	17
3.3- Amostragens de plantas .....	18
3.4- Determinação dos teores de alumínio e silício em folhas e raízes .....	19
3.5- Determinação dos teores de alumínio em folhas e raízes .....	20
3.6- Determinação dos teores de cálcio em folhas e raízes .....	21
3.7- Coletas e análises físicas e químicas dos solos .....	21
3.7.1- Coleta de amostras .....	21
3.7.2- Análises físicas .....	21
3.7.3- Análises químicas .....	22
3.8- Análise estatística .....	25
3.9- Cálculo da razão molar .....	25
<b>4- RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>26</b>
4.1- Solos .....	26
4.2- Espécies vegetais .....	29
4.2.1- alumínio, silício e cálcio em folhas .....	29
4.2.2- alumínio, silício e cálcio em raízes .....	32
<b>5- CONCLUSÕES .....</b>	<b>34</b>
<b>6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>
<b>7-APÊNDICE .....</b>	<b>40</b>

## RESUMO

O trabalho foi realizado em duas áreas remanescentes de vegetação de cerrado, situadas em LATOSSOLO VERMELHO Acríco típico e em NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico, no município de Araguari-MG. Objetivou-se determinar as concentrações de silício (Si), alumínio (Al) e cálcio (Ca) em tecidos foliares e radiculares de espécies lenhosas de ocorrência nestas duas classes de solo. Foram estudadas as seguintes espécies lenhosas: *Curatella americana*; *Roupala montana*, *Dimorphandra mollis*, *Qualea parviflora* e *Qualea multiflora*. Destas, apenas a *Curatella americana* pertence exclusivamente ao NEOSSOLO LITÓLICO e as demais pertencem a ambos os solos. Foram coletadas três plantas de cada espécie e destas retirou-se amostras de folhas e raízes, sendo que as raízes foram analisadas em dois fragmentos: ritidoma e “xilema + floema”. Também foram realizadas análises físico-químicas dos dois solos. A análise estatística foi realizada através do modelo fatorial, aplicando-se o teste de Tukey. Dentre as espécies, observou-se que a Dilleniaceae *Curatella americana* foi a única que apresentou uma expressiva capacidade de acumulação de silício em relação as demais espécies, provavelmente por estar estabelecida em um solo com baixa saturação por alumínio e com altos teores de silício, expressando assim o caráter sílico-acumulador. A característica alumino-acumuladora, é observada nas espécies *Qualea grandiflora*, *Qualea parviflora* e na *Roupala montana*. Verificou-se uma elevada concentração de cálcio nas espécies sobre NEOSSOLOS LITÓLICOS em função da grande disponibilidade deste elemento neste solo. A *Qualea parviflora* foi a única espécie calcícola verificada. Nos tecidos do ritidoma das raízes, foram encontradas as maiores concentrações de silício; alumínio e cálcio.

## **1- INTRODUÇÃO**

Qualquer tentativa de caracterizar a cobertura vegetal numa escala territorial como a do Brasil exige procedimentos de classificação abrangentes, levando sempre em conta as interações dos fatores geomorfológicos, climáticos, hidrológicos e pedológicos com a vegetação.

O cerrado estende-se por variadas formas de relevo, que vão de depressões aos planaltos. Seu solo é ácido, sendo a capacidade de troca catiônica e a soma por bases baixas e a saturação por  $Al^{3+}$  elevada, o que caracteriza-os como distróficos, mas muito aproveitado para a agricultura. Possui uma rica fauna e uma variada flora.

Os estudos sobre o papel do silício (Si) nas plantas, têm sido direcionados quanto ao acúmulo de Si no tecido foliar, dando origem aos corpos silicosos (opalóides). Há vários anos tem se pesquisado sobre a função do alumínio (Al) e também do cálcio (Ca) em espécies lenhosas do cerrado. No entanto, são raros os estudos direcionados para o estudo entre os três elementos (Si, Al e Ca), em folhas e raízes de plantas lenhosas do cerrado.

Para estudos à respeito, é necessária a escolha de espécies acumuladoras de sílica típicas da flora do cerrado, mas convém que sejam de ampla distribuição geográfica, a fim de que os resultados possam ser representativos.

Este trabalho teve como objetivo determinar teores de silício, alumínio e cálcio em folhas e raízes de espécies lenhosas nativas de cerrado em duas classes de solos.

## **2- REVISÃO DE LITERATURA**

### **2.1- O Bioma Cerrado**

Situado na faixa intertropical brasileira de 3° a 23° S e de 43° a 65° W, (Pereira et al., 1997) e ocupando uma área de aproximadamente 2,1 milhões de km<sup>2</sup> (Oliva e Giansanti, 1999), o Cerrado localiza-se basicamente no Planalto Central Brasileiro e é o segundo maior ecossistema do Brasil, abrangendo os estados de Goiás, Tocantins e o Distrito Federal, e parte dos estados da Bahia, Ceará, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Piauí, Rondônia e São Paulo, (Adámoli et al, 1987).

O estímulo para pesquisas mais intensivas no Cerrado vêm da percepção de que este bioma constitui-se em um centro de extrema e inigualável riqueza de biodiversidade e altamente ameaçado pelo crescimento da agricultura (Rater et.al, 2000).

Recentemente, há cerca de quarenta anos, é que as regiões de Cerrados começaram a ser mais densamente povoadas. Atualmente, os Cerrados já tem uma antropização

crecente em aproximadamente 700 mil km<sup>2</sup> os quais encontram-se ameaçados pelos projetos de monoculturas e pastagens (Oliva e Giansanti, 1999).

Dentre vários autores que vêm realizando levantamentos da florística do bioma, Rater et al. (2000) registraram a ocorrência de 727 espécies lenhosas. Dentre estas, as seguintes espécies destacam-se como de ampla distribuição: *Curatella americana*, *Dimorphandra mollis*, *Qualea grandiflora*, *Qualea multiflora* e *Roupala montana*.

A vegetação dominante do Cerrado é composta principalmente de dois estratos, o arbóreo-arbustivo, de caráter lenhoso, e o herbáceo-subarbustivo, formado pelas gramíneas e outras ervas. A combinação desses estratos produz uma cobertura vegetal em forma de um grande mosaico, constituído por trechos de campos limpos (predominância de gramíneas), de campos sujos (gramíneas e arbustos), de campos cerrados (predominância de arbustos, com espécies de 3 a 5 metros) e cerradões (florestas cujas copas se tocam e criam sombra, nas quais o estrato herbáceo-arbustivo é muito pobre e rarefeito) (Magnoli e Araújo, 1998). Em seu estrato superior apresenta árvores de pequeno porte, com troncos e galhos retorcidos, apresentando folhas grandes, esclerófilas, coriáceas e pilosas. O estrato médio é muito rico, composto de arbustos e subarbustos; e o estrato herbáceo varia sua densidade em função de sua cobertura arbórea pouco ou muito pouco densa (Embrapa 1982; Heringer et. al, 1977). De acordo com Beiguelman (1962), o estrato herbáceo reveste o solo enquanto não vem a estação relativamente seca. Adámoli et al. (1987) destacaram três grupos de formações da vegetação do Cerrado: a) formações florestais; b) formações savânicas; e c) formações campestres. As variações fisionômicas do bioma Cerrado são condicionadas pelos fatores físico-químicos do solo, geomorfológicos, topográficos,



pastoreio e queimadas (Coutinho, 1978). Eiten (1994), também credita como possíveis condicionantes, os efeitos indiretos do clima, a disponibilidade de água, a latitude, a frequência das queimadas, a profundidade do lençol freático e as ações antrópicas.

O clima da região dos Cerrados pode ser definido como tropical estacional, Aw segundo a classificação de Köppen (Adámoli et al., 1987; Resende et al., 1996). Os invernos são secos e os verões chuvosos, com temperaturas médias anuais situando-se de 22 °C ao sul a 27 °C ao norte e com uma precipitação média anual de 1500 mm, concentrando 80% das precipitações entre setembro e abril (Vargas, M.A.T.; Hungria, M. 1997). A estação seca estende-se de maio à setembro (Reis, 1971).

De acordo com Adámoli et al., (1987) os nove principais solos de ocorrência no bioma cerrado são: LATOSSOLOS VERMELHO Amarelos, LATOSSOLOS AMARELOS, LATOSSOLOS VERMELHOS Férricos, LATOSSOLOS VERMELHOS, ARGISSOLOS, NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS, CAMBISSOLOS, NEOSSOLOS LITÓLICOS e PLINTOSSOLOS PÉTRICOS, que juntos cobrem cerca de 75 % da área da região dos cerrados. Os solos da classe LATOSSOLOS ocupam aproximadamente 47 % do bioma cerrado, sendo distribuídos em: LATOSSOLOS AMARELOS e LATOSSOLOS VERMELHO Amarelos 24 %, LATOSSOLOS VERMELHOS não férricos 19 % e LATOSSOLOS VERMELHOS Férricos 4 %. Os outros 28 % da área do bioma é coberta por NEOSSOLOS QUARTZARÊNICOS 15 %, NEOSSOLOS LITÓLICOS 7 %, CAMBISSOLOS E PLINTOSSOLOS PÉTRICOS com 3 % cada.

Na classe LATOSSOLOS, os solos apresentam-se em avançado estágio de intemperização, onde a sílica e as bases vão sendo removidas do perfil, sem translocação do material para o horizonte B, ou seja, solos caracterizados pela presença de horizonte B

Latossólico (Lepsch, 1980; Resende et al., 1996). São normalmente muito profundos, variando de fortemente a bem drenados. Em geral são fortemente ácidos, com baixa saturação por bases, Distróficos ou Álicos. Típicos de regiões equatoriais e tropicais, ocorrem também em zonas subtropicais, distribuídos, sobretudo, por amplas e antigas superfícies de erosão, pedimentos ou terraços fluviais antigos, normalmente em relevo plano e suave ondulado, embora possam ocorrer em áreas mais acidentadas, (Embrapa, 1999).

A classe NEOSSOLOS, subdivide-se nas subordens Litólicos, Flúvicos, Regolíticos e Quartzarênicos. Os solos desta classe são pouco desenvolvidos, rasos a muito rasos, e possuem seqüência de horizonte alternativos como; A-R, A-C-R, A-Cr-R, A-Cr, A-C, O-C ou H-C. Esta classe admite diversos tipos de horizontes superficiais, incluindo o O ou H hístico, com menos de 30 cm de espessura, quando sobrejacente à rocha ou a material mineral (Embrapa, 1999). Na região do Triângulo Mineiro, a classe dos NEOSSOLOS LITÓLICOS geralmente encontra-se localizada às bordas dos rios Araguari, Tijuco e Paranaíba, sendo estes solos de alta fertilidade.

## **2.2- Fisionomias do Cerrado**

Os primeiros registros a cerca da origem das formações vegetacionais do bioma cerrado datam de fins do século XIX, em Lagoa Santa MG, quando Warming (1973) afirmou ser o clima o fator determinante das formações vegetacionais savânicas e campestres do bioma cerrado, onde o déficit hídrico do período seco seria o principal componente, correlacionando a presença de algumas características destas formações, tais

como folhas coriáceas, troncos com espessa epiderme corticosa e órgãos subterrâneos grandes e lignificados devido ao clima.

De acordo com Alvim e Araújo (1952) as formações da vegetação do bioma cerrado seriam tolerantes aos baixos teores de cálcio e valores de pH predominantes nos solos ora estudados, condições desfavoráveis ao estabelecimento de espécies de matas. Segundo Arens (1958a,b,1963), a causa mais provável do aparecimento deste escleromorfismo, residiria num certo tipo de balanço metabólico, dado pelo coeficiente entre a quantidade de hidratos de carbono produzidos pela fotossíntese e a utilizada em vários processos. Quando um fator (água, elementos minerais, temperatura, etc.) limita o uso de hidratos de carbono sem alterar a fotossíntese, o fator torna-se maior que 1 o que origina um excesso de produtos da fotossíntese, os quais serão eliminados sob a forma de estruturas xeromórficas, formando assim o escleromorfismo nas plantas do cerrado. Ferri (1960) estudou áreas incrustadas e isoladas dentro da floresta amazônica, localizadas sobre solos arenosos, desprovidos de seus nutrientes em função da excessiva drenagem local e encontrou estas formações vegetacionais possuindo os caracteres xeromórficos comuns aos detectados em vegetação de cerrado, concluindo ser a presença destes caracteres, nestas formações, consequência da carência nutricional do solo, e não de condições xéricas, aí inexistentes. Reforçando, assim, a teoria do escleromorfismo oligotrófico, a qual, segundo Goodland (1971) está associada à presença de elevados níveis de alumínio nos solos do bioma Cerrado, uma vez que o alumínio interfere diretamente na síntese de proteínas, pela combinação de seus íons com outros nutrientes, causando a precipitação ou a diminuição na solubilidade dos mesmos.

Atualmente a tendência é a admissão de que o aspecto da vegetação de Cerrado seja fruto da interação entre os fatores clima, biota e solo, o que a definiria como o resultado indireto do clima, induzindo-a para um clímax edáfico (Eiten, 1994).

### **2.3- Nutrientes na Vegetação do Cerrado**

Na vegetação do cerrado, existem espécies de plantas que acumulam determinados elementos em relação aos demais, e desta forma podem ser caracterizadas como plantas acumuladoras e plantas não acumuladoras. De acordo com Chenery (1948), espécies que acumulam alumínio em seus tecidos foliares são denominadas de plantas alumino-acumuladoras, e têm teores foliares de alumínio iguais ou maiores do que  $1.000 \text{ mg kg}^{-1}$ . Plantas calcícolas, ou seja plantas que acumulam cálcio, são plantas que possuem em seus tecidos foliares teores de cálcio entre  $15.700$  a  $22.700 \text{ mg kg}^{-1}$  de (Hou e Merkle, 1950).

Segundo Ma (2001), as plantas sílico-acumuladoras são as que apresentam teores de silício iguais ou superiores a  $10.000 \text{ mg kg}^{-1}$  nas folhas e a razão molar Si/Ca maior do que 1; moderadamente sílico-acumuladoras são as espécies de plantas que apresentam teores compreendidos entre  $5.000$  e  $10.000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Si nas folhas ou até mesmo maiores, porém com a razão molar Si/Ca menor do que 1 e, por último, as espécies não acumuladoras de silício são aquelas que possuem teores menores do que  $5.000 \text{ mg kg}^{-1}$  de Si nas folha.

O cálcio (Ca), um elemento indispensável para o metabolismo das plantas e praticamente imóvel nas mesmas, encontra-se presente nos minerais e na solução do solo na forma catiônica  $\text{Ca}^{2+}$ , a qual é absorvida pelas plantas sendo transportado via sistema vascular através dos tecidos vegetais, através do fluxo da transpiração (Cody and Horner, 1984; Zindler-Frank, 1991).

Segundo estudos de Horner and Wagner (1995), os elevados níveis de Ca nas plantas induz a formação de oxalato de cálcio, que desempenha a função de armazenamento do excesso de Ca, ocorrendo na parede celular e nos componentes citoplasmáticos, além de influenciar na formação de exoesqueletos e também de tornar as plantas menos palatáveis aos animais forrageadores. Sua ocorrência é de significância variável, e dependente da habilidade específica do organismo em o formar metabolicamente, (Khan, 1995).

A localização, a forma e o modo de hidratação dos cristais de oxalato de cálcio são geneticamente controladas pela espécie e tecido (Kausch and Horner, 1982), podendo ser influenciada pelo ambiente e afetada pela presença de outras moléculas e cátions associados com a formação do cristal (Cody and Horner, 1984; Zindler-Frank, 1991). Apesar de muito variável, em geral, a forma dos cristais pertencem a cinco tipos: ráfides, drusas, cristais de areia, estilete e primas. Ráfides, cristais e drusas variam suas formas, dependendo da espécie na qual esteja ocorrendo (Horner e Wagner, 1995).

O Al é um elemento abundante em solos sob cerrado pois está relacionado diretamente com o pH e o tipo de solo existente. Alvim e Araújo (1952), sugerem que o Al seja o elemento dominante nos solos de pH abaixo de 5,5 e preferencialmente adsorvido pelas argilas nos seus pontos de troca. É absorvido da solução do solo pelas raízes das plantas na forma de  $Al(H_2O)_6^{3+}$ , normalmente representado sem as moléculas de água como sendo  $Al^{3+}$ . Com isso, as condições sob as quais o alumínio torna-se tóxico variam muito com o pH, o tipo e a composição do solo, o clima e com as próprias plantas.

Argumentando que os solos do cerrado sejam excessivamente ácidos e com alta saturação por alumínio, Goodland (1971) enfatizou a possibilidade de que as espécies alumino-acumuladoras possam ter uma estratégia bem desenvolvida dentre as plantas do

cerrado, e baseando-se em outros autores (Hutchinson, 1943; Chenery, 1948 a,b) destacou esta característica presente principalmente nas famílias Vochysiaceae, Melastomataceae e Rubiaceae. Ainda de acordo com Goodland (1971), parte do escleromorfismo apresentado por estas espécies pode ser de natureza alumino-tóxica. Uma vez que o sistema radicular na presença de elevados teores de  $Al^{3+}$ , tem limitado o seu potencial em assimilar e ou transportar nutrientes tais como P, Ca e Cu, mas, por outro lado, esta condição favorece a assimilação de Mn (Boyer, 1985), indicando assim que o Al possui fundamental importância nos solos de cerrado.

Em seus estudos, Haridasan et al. (1986) cita a possibilidade do alumínio ser transportado livremente das folhas para outras partes da planta tais como sementes, através do floema.

No floema e nas nervuras central e secundárias das plantas nativas do Cerrado foram encontrados elevados teores de alumínio, sendo que nos elementos do floema as concentrações de Al foram maiores do que todos os demais nutrientes (Haridasan et al, 1987).

A maioria das plantas terrestres, desenvolvem-se em meios dominados pelos silicatos, os quais são derivados de rochas, a maioria das quais e dos solos delas formados, são silicatos e aluminossilicatos (Epstein, 2001). Segundo Raij e Camargo (1973), sem levar em consideração o carbono e o oxigênio, o Si representa quase 70 % dos elementos químicos do solo. Na natureza, o silício é encontrado somente em formas combinadas como sílica e minerais silicatados, sendo os minerais mais comuns: o quartzo, os feldspatos alcalinos e os plagioclásios, sendo os dois últimos aluminossilicatos, cujo intemperismo enriquece a crosta em alumínio (Jackson, 1964). O Si, ao ser absorvido pelas plantas, é

facilmente translocado no xilema, apresentando a tendência de se polimerizar Barber e Shone (1966).

Segundo Yoshida (1962) e Takahashi (1990), acompanhando a absorção da água, o Si penetra na planta na forma de ácido monossilícico  $H_4SiO_4$ . No interior da planta 99% do total acumulado encontra-se na forma de ácido silícico polimerizado, o qual é de difícil solubilização, enquanto o restante, menos de 1%, encontra-se na forma coloidal ou iônica Yoshida (1962). As principais fontes de ácido silícico para a solução do solo são a decomposição de resíduos vegetais, a dissociação do ácido silícico polimérico, a liberação de Si dos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, a dissolução de minerais cristalinos e não cristalinos, adição de fertilizantes silicatados e água de irrigação. Dentre os principais drenos de Si, encontram-se a precipitação do Si em solução formando minerais, a polimerização do ácido silícico, a lixiviação, a adsorção em óxidos e hidróxidos Fe e Al e a absorção pelas plantas (Tsai, 1999).

Existem inúmeras evidências de efeitos benéficos da sílica ao desenvolvimento de algumas espécies vegetais, o que segundo Marschner (1995) classifica-o como elemento benéfico. Teixeira da Silva (1983) observou o ácido silícico aliviando os efeitos prejudiciais do alumínio no sistema radicular e acelerando o desenvolvimento foliar, com isso, aumentando a superfície de incidência luminosa e a quantidade de tecido fotossintetizante, conferindo às plantas resistência e ou tolerância às adversidades da estação seca, sendo que nas condições do cerrado, o ácido silícico, pode talvez ser um fator moderador do oligotrofismo para as espécies. Sendo a deposição de sílica um caráter morfológico xeromorfo, provavelmente de valor adaptativo no Cerrado, o Si absorvido pela planta é depositado principalmente na parede celular, aumentando a rigidez da célula e

podendo elevar os conteúdos de hemicelulose e lignina da parede celular. Posteriormente, Oliveira (2000), estudando as Dilleniaceas *Curatella americana* e *Davilla elliptica* identificou a parede celular de células epidérmicas, de estômatos, de células das bases dos tricomas e até mesmos os próprios tricomas em *Davilla elliptica*, completamente preservados, mesmo quando submetidos à elevadas temperaturas e tratamentos ácidos, caracterizando os elevados níveis de silicificação destes tecidos.

Nos depósitos de sílica, denominados de fitólitos ou silicofitólitos, a sílica deposita-se intra ou intercelularmente na forma de pequenos sólidos opalinos (Piperno, 1988), podendo ainda estes depósitos encontrarem-se incrustados ou impregnados na parede celular (Fahn, 1990; Sangster et al., 1999). E o termo "fitólito", ficou reservado para denominar as estruturas silicificadas, produzidas pelos tecidos de plantas superiores. Segundo Smithson (1956), os fitólitos fornecem informações de vegetações precedentes.



### **3- MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1- Caracterização das áreas experimentais**

Sítio 1:

O trabalho foi realizado em dois sítios sob vegetação de cerrado (18° 33' S e 48° 28' W Gr.), localizados no município de Araguari, Minas Gerais, Brasil, escolhidos em função de diferenças quanto às classes de solo. Os mesmos situam-se na bacia de drenagem do rio Araguari, à margem da rodovia estadual MG - 223, que liga os municípios de Araguari e Tupaciguara. O primeiro local dista cerca de 35 km do perímetro urbano de Araguari e situa-se ao nível de chapada (relevo plano) em LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico, textura muito argilosa, originado de sedimentos cenozóicos (Pinheiro Filho, 1999). É um solo não pedregoso, não rochoso e bem drenado. O pH apresenta valores entre 5.0 e 6.0, saturação por bases menor que 20% e saturação por alumínio entre 50 e 85%. Nesta área, as plantas encontram-se mais ou menos espaçadas e com porte médio (Embrapa,

1982). Segundo a classificação de Köppen, a área apresenta o tipo climático Cwb, ou seja, clima temperado suave (mesotérmico), com verão chuvoso e inverno seco (Embrapa, 1982).

Sítio 2:

Aproximadamente, 10 km à frente do primeiro local, seguindo-se em direção ao rio Araguari, encontra-se o segundo sítio. Localizado em área com relevo variando de suave ondulado a montanhoso (3% a mais de 45%), em NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico (Ramos, 1997), pedregoso, não rochoso, bem drenado e derivado de rocha basáltica, possuindo estrutura granular e/ou em blocos. Apresenta pH entre 5.7 e 7.0 e saturação de bases entre 55 e 100%. A erosão se caracteriza por moderada. Neste sítio, as plantas apresentam porte um pouco superior ao primeiro. Estes solos, são normalmente utilizados com pastagens de capim Jaraguá e pastagens naturais. São áreas limitadas para o uso da agricultura em função da topografia acidentada e a presença, quase que constante, de pedregosidade acentuada (Embrapa, 1982 ). Este sítio, na borda da chapada, encontra-se numa faixa de transição climática, enquadrando-se, no tipo Aw, isto é, clima tropical (megatérmico) com verão chuvoso e inverno seco.

### **3.2- Espécies estudadas**

As espécies lenhosas estudadas foram selecionadas com base em levantamento fitossociológico elaborados por Ramos et al., (1996 ; 1997) e Pinheiro Filho (1999). O material vegetal foi coletado em (12 de Maio de 2000). Entre as espécies objeto do presente estudo, encontram-se alumino-acumuladoras e sílico-acumuladoras, presentes nos dois sítios e / ou exclusivamente presentes em um ou outro (sítio 1 - Comunidade Vegetal de

Cerrado situada sobre LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico. Sítio 2 - Cerrado situado sobre NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico). Foram amostradas cinco espécies (Tabela 1), das quais quatro espécies presentes em ambos os sítios e apenas *Curatella americana* L. presente exclusivamente em sítio 2. Todo o material amostrado foi identificado e, encontra-se depositado no Laboratório de Análises de Fertilizantes - LAFER - da UFU

**Tabela 1.** Espécies lenhosas nativas de ambiente de cerrado coletadas nos sítios e tecidos amostrados para fins de análise de teores de nutrientes.

ESPÉCIE	FAMÍLIA	SOLO DE ORIGEM		TECIDO AMOSTRADO		
		Latossolo	Neossolo	Folha	Raiz	
					Ritidoma	Floema + Xilema
<i>Curatella americana</i> L.	Dilleniaceae		x	x	x	x
<i>Dimorphandra mollis</i> Benth.	Caesalpiniaceae	x	x	x	x	x
<i>Qualea grandiflora</i> Mart.	Vochysiaceae	x	x	x	x	x
<i>Qualea parviflora</i> Mart.	Vochysiaceae	x	x	x	x	x
<i>Roupala montana</i> Aubl.	Proteaceae	x	x	x	x	x

### 3.3- Amostragem de plantas

Foram amostradas quatro espécies lenhosas nativas de cerrado, comuns aos dois sítios (LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico e sítio de NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico) e uma espécie presente exclusivamente no sítio NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico. De cada espécie, para cada sítio estudado, foram amostrados três indivíduos adultos, dos quais foram coletadas folhas e raízes.

FOLHAS: Cada amostra de tecido vegetal foliar, foi composta, em média, por vinte folhas, completamente desenvolvidas e pecioladas, coletadas nos quatro pontos cardeais da porção mediana da copa. Estas amostras foram enxaguadas em água corrente, lavadas em solução

com detergente neutro, novamente enxaguadas em água corrente e, abundantemente enxaguadas em água destilada. A seguir, o material foi embalado em sacos de papel identificados, permanecendo em estufa a 65 °C até atingir peso constante. Posteriormente, moído em moinho tipo Willey e depositado em sacos plásticos identificados e armazenados para posterior análise.

**RAÍZES:** De cada indivíduo foi coletada uma amostra de raiz, proveniente da primeira ramificação, próxima ao ponto de inserção tronco-raiz (colo), com tamanho aproximado de 35 cm. Estas amostras foram enxaguadas em água corrente, lavadas em solução com detergente neutro e higienizadas com “escova de unhas”. A seguir, foram novamente enxaguadas em água corrente e abundantemente enxaguadas em água destilada. Cada amostra foi dividida, com o auxílio de uma “grosa”, em duas partes: casca ou ritidoma (a amostra ritidoma, provavelmente contém elementos do floema), mais floema ou líber e xilema. Após esta operação, seguiu-se o mesmo procedimento de secagem e embalagem descrito para folhas.

### **3.4- Determinação dos teores de silício em folhas e raízes**

Foram pesados 0,200 g de cada amostra e transferidas para cadinhos de níquel de 30 ml para digestão em Mufla, à 590° C por 40 minutos. Após o material esfriar, adicionou-se 1,0 ml de NaOH a 10%, retornando o material à Mufla por mais 30 minutos a 490° C. Novamente, esperou-se esfriar e, com o auxílio de um bastão de teflon e água destilada recuperou-se o extrato, totalizando um volume de 50 ml. Os extratos foram colocados em repouso (conservados em geladeira). Para a determinação do teor de silício foram utilizados copos plásticos de 50 ml, aos quais adicionou-se 5ml do extrato, 30 ml de água destilada e

5 ml de solução sulfomolibdica. Após uma agitação, a mistura permaneceu em repouso por 10 minutos e então, a ela acrescentados 5 ml da solução de ácido tartárico 30% e novamente submetida a agitação e repouso por 5 minutos. Finalmente após acrescentado 1 ml de ácido ascórbico 3% mais 9 ml de água destilada avolumando 50 ml, a mistura foi submetida a nova agitação e aguardados outros 15 minutos. A leitura foi então realizada em colorímetro, no comprimento de onda de 810 nm.

### **3.5- Determinação dos teores de alumínio em folhas e raízes**

Foram pesados 0,300 g de cada amostra e transferidas para tubos de vidro. A seguir, adicionados 6 ml de solução nitro-perclórica (4 : 0,5) e as amostras foram levadas ao bloco digestor e aquecidas por 15 minutos a 50 °C. Logo após, a temperatura foi aumentada para 75 °C e mantida por 15 minutos. Após este tempo, a temperatura foi elevada à 120 °C e mantida por 30 minutos e a seguir, levada para 160 °C e mantida neste nível até o completo desaparecimento das fumaças vermelhas, quando finalmente, foi elevada à 210 °C e, neste nível, permaneceu até o completo desaparecimento das fumaças brancas, ou a redução do volume no tubo para aproximadamente 0,5 ml. Após resfriar, o conteúdo do tubo foi recuperado, completando o volume para 50 ml com água destilada. Esta retirada do extrato do tubo foi realizada em duas etapas, em cada uma delas acrescentados 22,5 ml de água destilada, acompanhados de agitação. A leitura do Al, foi realizada diretamente no extrato obtido, utilizando-se um espectrofotômetro de absorção atômica, utilizando lâmpada de cátodo oco do elemento, com chama de alta temperatura, tendo como comburente oxidante o óxido nitroso.

### **3.6- Determinação dos teores de cálcio em folhas e raízes**

A determinação do teor do cálcio, foi realizada em copos plásticos, de 50 ml. De cada amostra foi utilizado 0,5 ml do extrato, ao qual adicionou-se 22 ml de água destilada e 2,5 ml de óxido de lantânio 5%, seguindo-se repouso por quatro horas. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro de absorção atômica de chama, utilizando lâmpada de cátodo oco do elemento.

### **3.7- Coletas e análises físicas e químicas dos solos**

#### **3.7.1- Coleta de amostras**

Em cada área, o solo foi amostrado em dois locais, numa secção de 60 cm (0-1 cm, 1-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-40 cm e 40-60 cm) em função das limitações de profundidade impostas pelo NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico. A coleta das amostras no LATOSSOLOS VERMELHO Ácrico típico, foi realizada em 12/05/2000 e em 01/09/2000 no NEOSSOLO.

#### **3.7.2- Análise textural:**

As amostras de solos foram analisadas nos Laboratórios de Análise de Solos (LABAS), Laboratório de Análise Foliar e de Fertilizantes (LAFER) e Laboratório de Manejo de Solos (LAMAS) do Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia.

Preparo da terra fina seca ao ar (TFSA):

As amostras secas ao ar foram passadas em peneiras com malha de 2 mm de abertura, obtendo assim a TFSA.

Granulometria :

As frações granulométricas da terra fina (areia grossa, areia fina, silte e argila), foram determinadas empregando-se a metodologia preconizada pela Embrapa (1999). Em amostras de 10 g de TFSA foi adicionado 50 ml de NaOH 0,1N mantendo tempo de contato (em repouso) por 12 horas, seguindo agitação mecânica por 15 minutos à 10.000 rpm. As frações areia grossa e areia fina foram separadas por tamisação, respectivamente em peneiras com abertura de 0,210 mm e 0,530 mm. A suspensão de silte e argila foi colocada em uma proveta de 500 ml, ajustada para este volume e homogeneizada. Após 46 segundos uma alíquota de 25 ml, contendo “silte + argila”, foi coletada a 10 cm de profundidade para determinação do silte. Após 4 horas, outra alíquota de 25 ml foi coletada, desta vez a 5 cm de profundidade, contendo apenas argila em suspensão. Após secagem em estufa, determinou-se a percentagem de cada fração, com base no peso da amostra.

### **3.7.3- Análises químicas**

pH em H<sub>2</sub>O e em KCl 1N:

A reação do solo foi determinada pelo método potenciométrico, utilizando-se uma relação solo : solução de 1 : 2,5. Foi utilizado 10 cm<sup>3</sup> de TFSA e 25 ml de H<sub>2</sub>O ou KCl 1N. Após agitação por 15 minutos e repouso por 45 minutos, foi realizada a leitura em pHmetro com a suspensão em repouso (Embrapa, 1999).

H + Al trocáveis:

Estes íons foram determinados a partir de amostras de 10 cm<sup>3</sup> de TFSA, com adição de 25 ml de solução CaCl<sub>2</sub> mais 5 ml da solução tampão SMP (pH 7,5). Após agitação por 15 minutos e repouso por 45 minutos, foi realizada a leitura em pH-metro (Embrapa, 1997).

Al<sup>3+</sup> trocável:

A extração foi em solução de KCl 1N, na relação volumétrica de 1 : 10 (TFSA : solução), agitação por 15 minutos e repouso por 12 horas, utilizando-se 10 cm<sup>3</sup> de TFSA. A determinação foi por titulometria com NaOH 0,025 N, após adicionar 3 gotas de azul de bromotimol em 25 ml do extrato (Embrapa, 1999).

Ca + Mg trocáveis:

A extração foi efetuada pela adição de 100 ml de solução de KCl 1N em 10 cm<sup>3</sup> de TFSA, seguida de agitação por 15 minutos e repouso por 12 horas (Embrapa, 1999). O Cálcio (Ca<sup>2+</sup>) foi determinado com a adição de 5 ml de coquetel para cálcio, 3 gotas de calgon e 50 ml de H<sub>2</sub>O, em alíquota de 25 ml do extrato. Titulação com EDTA 0,01N. O Magnésio (Mg<sup>2+</sup>), determinado mediante a adição de 5 ml de coquetel para cálcio e magnésio e 3 gotas de eriocromo T, em alíquota de 25 ml de extrato. A titulação foi com EDTA 0,01N.

Fósforo assimilável e potássio trocável:

Foram determinados a partir da adição de 100 ml da solução extratora H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0025N + HCl 0,05N em amostra de 10 cm<sup>3</sup> de TFSA (Embrapa, 1999). O fósforo foi determinado mediante a adição de 5 ml do complexo B (ácido ascórbico), em alíquota de 5 ml do extrato. Após o desenvolvimento de cor durante 45 minutos, fez-se a leitura em



fotocolorímetro calibrado para 100% de transmitância, equipado com filtro para comprimento de onda de 660 nm. O potássio, determinado por fotometria de chama, com calibração na faixa de 0 a 80 ppm, utilizando-se padrão de 8 ppm de K.

#### Matéria orgânica:

Amostra de 0,5 cm<sup>3</sup> de solo (TFSA) foi submetida à oxidação em 10 ml de dicromato de potássio 0,4 N, em meio sulfúrico (20 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), após repouso por 30 minutos. A seguir, adicionados 200 ml de água deionizada e 10 ml de solução de ácido fosfórico, uma pitada de fluoreto de sódio e 15 gotas de difenilamina, procedendo-se a titulação com sulfato ferroso amoniacal (Embrapa, 1999).

#### Análise do silício:

Em amostras de 10 g de solo (TFSA) foi adicionado 100 ml de ácido acético 0,5 M e então submetidas a agitação por uma hora, seguida de 15 minutos de repouso para decantação. A seguir, a suspensão foi filtrada, permanecendo o filtrado em repouso por uma noite (12 h). Para a determinação, foi utilizado 10 ml do filtrado, ao qual foi acrescentado 1 ml de solução sulfo-molibdica. O ácido orto-silícico (H<sub>4</sub>SiO<sub>4</sub>), que é a forma em que o silício se apresenta na solução, reagiu com o molibdato desenvolvendo a cor amarela. Após 10 minutos, acrescentou-se 2 ml de uma solução de ácido tartárico a 20%, a fim de complexar o fósforo (P) da solução. Após 5 minutos, adicionou-se 10 ml de uma solução de ácido ascórbico para promover o aparecimento da cor azul na solução (este ácido se oxida rapidamente e, portanto, funciona como eficiente redutor). Após 1 hora, a leitura foi realizada em um fotocolorímetro (espectofotômetro) ajustado no comprimento de onda de 660 nm.

### **3.8- Análise estatística**

Foi utilizado o modelo fatorial, com o teste de Tukey a 5 % de significância (Tabelas 1A, 2A, 3A, 4A, 5A, 6A.)

### **3.9- Cálculo da razão molar**

A razão molar da relação (Si / Ca), é o resultado da divisão entre os resultados obtidos pela divisão dos valores da concentração de Si nas folhas em relação à sua massa atômica, e da divisão dos valores da concentração de Ca nas folhas em relação à sua massa atômica.

$(Si / Ca) = (\text{teores de Si em folhas/massa atômica do Si}) / (\text{teores de Ca em folhas/massa atômica do Ca})$

Para as relações (Si / Al) e (Al / Ca), segue-se a mesma metodologia aplicada para (Si / Ca), considerando suas respectivas massas atômicas e concentrações destes elementos nas folhas.

## **4- RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1- Solos**

Encontrou-se na análise granulométrica (Tabela 2) para os LATOSSOLO VERMELHO Ácrico típico nítida predominância da fração argila, a qual apresentou valores ligeiramente crescentes ao longo do perfil, acompanhados por valores decrescentes das frações silte, areia grossa e areia fina. No NEOSSOLO LITÓLICO Eutrófico chernossólico, verificou-se valores de argila crescentes em profundidade, simultaneamente acompanhados por valores decrescentes da fração silte. Portanto, esses dois tipos de solos são classificados, segundo Embrapa (1999), respectivamente, como muito argiloso e argiloso, tratando-se portanto de dois solos texturalmente completamente diferentes.

**Tabela 2.** Valores de areia grossa, areia fina, silte e argila nos primeiros 60 cm dos solos (sítio 1 e sítio 2). Média de dois locais de coleta por classe de solo.

Camada		L A T O S S O L O			
cm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
	g kg <sup>-1</sup>				
0 - 1	148	103	80	670	
1 - 2	131	96	88	686	
2 - 5	122	81	86	712	
5 - 10	125	100	90	686	
10 - 20	116	94	87	703	
20 - 40	107	89	87	717	
40 - 60	106	59	51	786	

  

Camada		N E O S S O L O			
cm	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	
	g kg <sup>-1</sup>				
0 - 1	56	26	568	351	
1 - 2	56	26	520	383	
2 - 5	65	22	512	402	
5 - 10	40	27	478	466	
10 - 20	36	17	467	481	
20 - 40	27	18	453	503	
40 - 60	24	16	424	536	

Quimicamente, as diferenças entre os dois solos apresentaram-se mais nítidas. Os maiores teores de alumínio trocável (Tabela 3) foram encontrados nas amostras provenientes do LATOSSOLO. Neste solo, foram encontrados valores de até 1,4 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup> na camada de 1 a 2 cm. No NEOSSOLO não registramos a presença de alumínio trocável nos primeiros 10 cm, sendo os maiores teores, encontrados na camada de 40 a 60 cm, com 0,3 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup> de Al<sup>3+</sup>

Os teores de cálcio trocável (Tabela 3) em ambos os solos apresentaram um gradiente de concentração decrescente ao longo do perfil estudado. No LATOSSOLO VERMELHO encontrou-se os menores teores cálcio, enquanto no NEOSSOLO LITÓLICO

encontrou-se elevados teores de cálcio trocável. Segundo CFSEMG (1999), os teores de cálcio, no sítio 1 são considerados “muito baixos” e no sítio 2 “muito bom”. Os teores de silício (Tabela 3) ao longo da seção estudada em LATOSSOLO foram diferentes dos encontrados para este elemento no NEOSSOLO LITÓLICO. Os teores de Si encontrados neste sítio 2, foram muito superiores do que os observados no sítio 1, o que reflete o grau de evolução pedogenética dos dois solos em questão.

**Tabela 3.** Teores de cálcio, alumínio e silício em diferentes profundidades nos dois solos.

Média de dois locais de coleta por classe de solo.

Camada cm	LATOSSOLO			NEOSSOLO		
	Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Si mg dm <sup>-3</sup>	Al cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Ca cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	Si mg dm <sup>-3</sup>
0-1	1,2	0,7	9	0,0	18,8	138
1-2	1,4	0,3	10	0,0	16,6	120
2-5	1,2	0,1	10	0,0	14,1	97
5-10	1,2	0,1	8	0,0	14,0	77
10-20	1,0	0,1	7	0,1	13,6	71
20-40	0,7	0,1	7	0,2	10,9	69
40-60	0,4	0,1	13	0,3	8,8	71

Acompanhando inversamente o comportamento das bases trocáveis, os níveis encontrados de saturação por alumínio (Tabela 4) foram maiores no LATOSSOLO que no NEOSSOLO, onde este apresenta uma saturação por bases (Tabela 4) superior. Os níveis de matéria orgânica (Tabela 4) no NEOSSOLO foram maiores (praticamente o dobro) daqueles encontrados no LATOSSOLO. De acordo com os resultados obtidos, o LATOSSOLO VERMELHO apresenta caráter álico e o NEOSSOLO, com elevada saturação por bases, é eutrófico.

**Tabela 4.** Valores de matéria orgânica, saturação por bases e por alumínio, em diferentes profundidades. Média de dois locais de coleta por classe de solo.

Camada cm	LATOSSOLO			NEOSSOLO		
	Mat. Org. g kg <sup>-1</sup>	Sat, Bases %	Sat, Al	Mat. Org. g kg <sup>-1</sup>	Sat, Bases %	Sat, Al
0 – 1	58	15	49	110	93	0
1 – 2	55	7	73	108	91	0
2 – 5	49	3	86	88	86	0
5 – 10	45	3	88	74	83	0
10 – 20	34	4	86	60	82	1
20 – 40	29	4	83	47	77	1
40 – 60	21	3	77	39	75	2

## 4.2- Espécies vegetais

### 4.2.1- Alumínio, silício e cálcio em folhas

A espécie *Curatella americana*, não foi incluída na análise estatística, em função de ter sido amostrada apenas no ambiente sobre NEOSSOLO LITÓLICO .

Embora sejam notadamente diferentes as concentrações dos nutrientes Si e Al nas espécies sobre cada um dos sítios, na análise estatística aplicada, estas espécies não se diferiram estatisticamente em relação aos seus respectivos ambientes de origem, sendo portanto, calculada a média entre os dois solos para os teores de Si e Al nas folhas das espécies vegetais estudadas.(Tabela 5).

Em folhas de espécies amostradas tanto no LATOSSOLO quanto no NEOSSOLO LITÓLICO (Tabela 5), encontrou-se um teor médio de alumínio igual a 5.600 mg kg<sup>-1</sup> , sendo os valores mais altos encontrados nas espécies da família Vochysiaceae, *Qualea parviflora* e *Qualea grandiflora*. Segundo Chenery (1948), todas as espécies amostradas, com exceção da *Dimorphandra mollis* e *Curatella americana*, podem ser consideradas como alumino-acumuladoras. Os menores teores de alumínio foram registrados em

*Curatella americana*, com apenas 200 mg kg<sup>-1</sup> de Al. Em relação aos teores de silício, a *Curatella americana* foi a única a expressar o caráter sílico-acumulador, de acordo com o critério de Ma (2001), apresentando o maior teor de Silício em folhas, com 37.800 mg kg<sup>-1</sup> de Si., informação esta observada também por Teixeira da Silva (1983). Com teores bem menores, da ordem de 3.900 g kg<sup>-1</sup> de Si encontrou-se *Qualea grandiflora* e *Roupala montana*.

**Tabela 5.** Teores de Al e Si em folhas (teores médios encontrados em dois tipos de solos).

Média de três plantas adultas.

ESPÉCIES	Al	Si
	mg. Kg-1	
<i>Curatella americana</i>	200	37800
<i>Dimorphandra mollis</i>	600 a	1300 a
<i>Qualea grandiflora</i>	7500 bc	3900 b
<i>Qualea parviflora</i>	11000 c	1100 a
<i>Roupala montana</i>	3400 ab	3900 b
<b>Médias</b>	<b>5600</b>	<b>2600</b>

Em uma mesma coluna, médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente (P<0,05).  
Teste de Tukey.

Os teores médios de Ca (Tabela 6), encontrados nas espécies coletadas no sítio 2 foram, aproximadamente, 4,7 vezes maiores que os encontrados em espécies do sítio 1. Isto reflete a maior concentração e disponibilidade deste elemento no sítio 2. Apenas a *Qualea parviflora* sobre o NEOSSOLO, expressou o caráter calcícolo, conforme o critério de Hou and Merckle (1950), apresentando teor foliar superior a 15.700 mg kg<sup>-1</sup> de Ca (Tabela 6). Ao nível de espécie, as duas Vochysiaceas, acima citadas apresentando os maiores teores de Al em folhas, aparecem também aqui como sendo tanto em valores absolutos como pelos dados da análise estatística, as duas maiores depositárias de Ca em folhas, possuindo

*Qualea parviflora* e *Qualea grandiflora* 16.900 e 13.100 mg kg<sup>-1</sup> de Ca (Tabela 6) quando sobre o NEOSSOLO, respectivamente.

**Tabela 6.** Teores de Ca em folhas. Média de três plantas adultas.

ESPÉCIES	LATOSSOLOS	Ca mg.kg <sup>-1</sup>	NEOSSOLOS
<i>Curatella americana</i>	-		6400
<i>Dimorphandra mollis</i>	1500 a		9200 bc
<i>Qualea grandiflora</i>	3000 a		13100 cd
<i>Qualea parviflora</i>	2300 a		16900 d
<i>Roupala montana</i>	3100 a		8100 b
<b>Médias</b>	<b>2500 A</b>		<b>11800 B</b>

Médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey (P < 0,05).

A partir dos teores encontrados nos tecidos de folhas, calculou-se a razão molar (Tabela 7) entre Si/Ca, Si/Al e Al/Ca para cada espécie em particular. Para a espécie *Curatella americana*, exclusivamente coletada no sítio 2, encontram-se as razões molares: Si/Ca = 8,4; Si/Al = 182,4 e Al/Ca = 0,1. As demais espécies foram amostradas em ambos os solos, e apresentaram razão molar Si/Ca menor que 1,0 no LATOSSOLO apenas para *Qualea parviflora*, enquanto que no NEOSSOLO apenas *Roupala montana*, dentre as espécies comuns, atingiu razão molar Si/Ca igual ou maior que 1,0.



**Tabela 7.** Razão molar Si/Ca, Si/Al e Ca/Al em folhas de espécies lenhosas do cerrado situadas nos dois solos. Média de três plantas adultas.

ESPÉCIES	Si/Ca		Si/Al		Al/Ca	
	Latossolo	Neossolo	Latossolo	Neossolo	Latossolo	Neossolo
<i>Curatela americana</i>	-	8,4	-	182,4	-	0,1
<i>Dimorphandra mollis</i>	1,1	0,3	1,5	4,3	0,8	0,1
<i>Qualea grandiflora</i>	1,9	0,5	0,4	0,6	4,5	0,8
<i>Qualea parviflora</i>	0,5	0,1	0,1	0,1	6,0	1,1
<i>Roupala montana</i>	1,2	1,0	0,8	14,2	2,7	0,1
<b>Médias</b>	<b>1,2</b>	<b>0,5</b>	<b>0,7</b>	<b>4,8</b>	<b>3,5</b>	<b>0,6</b>

#### 4.2.2- alumínio, silício e cálcio em raízes

Os teores médios de deposição de Al, Si e Ca em raízes das espécies lenhosas estudadas (Tabela 8), foi estatisticamente determinado como que ocorrendo diferencialmente nos tecidos do ritidoma quando comparou-os aos encontrados para os mesmos elementos em tecidos de “floema + xilema”. Apesar disto, ao nível de espécie, encontrou-se no “floema + xilema” do sistema radicular da Vochysiaceae *Qualea parviflora*, 7.200 mg kg<sup>-1</sup> de Al, o qual foi o mais elevado teor de Alumínio e a espécie *Roupala montana* foi a que apresentou o maior teor de Alumínio nos tecidos do Ritidoma, com 6400 mg kg<sup>-1</sup>.

Os maiores teores de Si encontrados nos tecidos do sistema radicular das espécies estudadas, foram da ordem de 96.100 e 6.600 mg kg<sup>-1</sup> de Si, respectivamente em ritidoma e “floema + xilema” de *Curatella americana* (Tabela 8). Dentre as espécies amostradas em ambos os ambientes, a que diferenciou estatisticamente das demais foi *Roupala montana*, a

qual apresentou 2.900 e 3.300 mg kg<sup>-1</sup> de Si em ritidoma e “floema + xilema”, respectivamente (Tabela 8).

Para o cálcio, os mais elevados teores encontraram-se no ritidoma, das espécies *Qualea grandiflora* e *Qualea parviflora* com 25.200 e 16.300 mg kg<sup>-1</sup> de Ca, respectivamente.

**Tabela 8.** Teores médios de alumínio, silício e cálcio em tecidos de raiz (ritidoma e “floema + xilema”) de espécies lenhosas de Cerrado situadas em duas classes de solos - sítios 1 e 2 (médias dos teores dos dois solos). Média de três plantas adultas.

ESPÉCIES	Al		Si		Ca	
	R	FL + XI	R	FL + XI	R	FL + XI
<i>Curatela americana</i>	1000	4300	96100	6600	16600	6100
<i>Dimorphandra mollis</i>	2400 ab	300 a	2400 bc	800 a	8500 b	3500 ab
<i>Qualea grandiflora</i>	4600 bc	2400 ab	2500 bc	400 a	25200 d	3700 ab
<i>Qualea parviflora</i>	4800 bc	7200 c	1100 ab	600 a	16300 c	6100 ab
<i>Roupala montana</i>	6400 c	600 a	2900 c	3300 c	5600 ab	1100 a
<b>Médias</b>	<b>4550 B</b>	<b>2625 A</b>	<b>2225 B</b>	<b>1275 A</b>	<b>13900 B</b>	<b>3600 A</b>

R: ritidoma FL : floema XI : xilema

Em uma mesma coluna, médias seguidas de letras iguais não diferem estatisticamente (P<0,05). Teste de Tukey.

## 5- CONCLUSÕES

Dentre as espécies estudadas, a *Curatela americana* foi única que acumulou teores de silício suficiente para expressar o caráter sílico-acumulador, evidenciando assim que a sua adaptação no NEOSSOLO LITÓLICO se dá por estes solos possuírem altos teores de silício e baixa saturação de alumínio.

As espécies *Qualea grandiflora*, *Qualea parviflora* e *Roupala montana* foram as únicas a apresentaram-se como acumuladoras de alumínio.

Apenas a Vochysiaceae *Qualea parviflora*, sobre NEOSSOLO LITÓLICO, foi classificada como calcícola.

Nas raízes, os elementos alumínio, silício e cálcio concentram-se preferencialmente nos tecidos do ritidoma.

Diante dos resultados obtidos neste trabalho, evidenciamos a necessidade de uma continuidade nos estudos a cerca do assunto para um melhor entendimento da influência dos nutrientes silício, alumínio e cálcio no cerrado.

## 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADÁMOLI, J., J. MACEDO, L.G. AZEVEDO, and J. MADEIRA NETTO. 1987. **Caracterização da região dos cerrados.** In: W. J. Goedert (ed.) Solos dos cerrados. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária/Nobel, São Paulo. p.33-74.
- ALVIM, P. T.; ARAÚJO, W.A. 1952. **El suelo como factor ecológico en desarrollo de la vegetación en el planalto central de Brasil.** Turrialba. v.2, p.153-160.
- ARENS, K. 1963. **As plantas lenhosas dos campos cerrados como flora adaptada às deficiências minerais do solo.** In: Simpósio Sobre O Cerrado, 1962, São Paulo. Anais. São Paulo: EDUSP. p.285-303.
- ARENS, K. 1958a. **Considerações sobre a causa do xeromorfismo foliar.** Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, n.224 e Botânica, n.15 p. 25-56.
- ARENS, K. 1958b. **O cerrado como vegetação oligotrófica.** Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, n.224 e Botânica, n.15 p. 59-77.
- BARBER, D. A. & SHONE, M. G. T. 1966. **The absorption of silica from aqueous solutions by plants.** J. esp. Bot., Oxford, 17 (52): 569-578.
- BEIGELMAN, B. 1962 **Considerações sobre a vegetação do Cerrado.** Ciênc. E Cultura. 15:39-44.
- BOYER, J. L. 1985. **Dinâmica dos Elementos Químicos e Fertilizantes dos Solos.** Instituto de Geociências da UFBA. 328p.

- CFSEMG (Comissão de Fertilidade do solo do Estado de Minas Gerais). 1999. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5ª aproximação. Viçosa-MG:UFV. 359pp.
- CHENERY, E. M. 1948. **Aluminium in the plant world. Part I. General survey in the dicotyledons**. Kew Bull. 3: 173-183.
- CODY, A. and HORNER, H. T. 1984. **Crystallographic analysis of crystal images in scanning electron micrographs and their application to phycocrystalline studies**. *Scan. Electron Microsc.*, III, 1451.
- COUTINHO, L. M. 1978. **Fire in the Ecology of the Brazilian Cerrado**. In: *Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges*. J. G. GOLDMAMER (ed.) Ecological Studies Vol 8A. Springer Verlag, Berlin. p.82-105.
- EITEN, G. 1994. **Vegetação do Cerrado In: PINTO, M.N. Coord. Cerrado: caracterização, ocupação e perspectivas**. 2.ed. Brasília: UnB / SEMATEC, 1994. p.9-65.
- EMBRAPA, 1982. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA/EMPRESA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DE MINAS GERAIS. **Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação de aptidão agrícola das terras do Triângulo Mineiro**. Rio de Janeiro: EMBRAPA / SNLCS, 526p.
- EMBRAPA, 1999. Centro Nacional de Pesquisas de Solos (Rio de Janeiro, RJ). **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília: Embrapa. Rio de Janeiro, 412 p.
- EPSTEIN, E. 2001. **Silicon in plants: Facts vs. concepts**. In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G.H. and KORNDÖRFER, G.H., 2001. **Silicon in Agriculture**.
- FAHN, A. 1990. **Plant Anatomy**, 4ª Ed. Jerusalem: Pergamom Press, 588 p.
- FERRI, M. G. 1960. **Contribution to the Knowledge of the Rio Negro "Caatinga" (Amazon)**. Bull. Res. Counc. Israel, Sec. D. Bot. 8d, 3-4 : 195-208.
- GOODLAND, R. 1971. **Oligotrofismo e alumínio no cerrado**. In Simpósio sobre o cerrado (M. G. FERRI, coord.).1971. Edgard Bluncher e EDUSP, São Paulo, p.44-60.
- HARIDASAN, M. 1982. **Aluminium accumulation by some cerrado native species of central Brasil**. Plant and Soil. 65, 265-273.
- HARIDASAN, M. 1987. **Distribution and mineral nutrition of aluminiumaccumulating species in different plant communities of the cerrado region**

**of central Brasil.** Pages 309-348. In: San José and R. Montes, editors. La capacidad bioproductiva de sabanas, IVIC. Caracas, Venezuela.

-HARIDASAN, M., ARAÚJO, G. M. 1987. **Aluminium-accumulating species in two forest communities in the cerrado region of central Brazil.** Forest Ecology and Management 24:15-26.

-HARIDASAN, M., HILL, P. G., and RUSSEL, D.G., 1987. **Semi-quantitative estimates de Al and other cations in the leaf tissues of some Al-accumulating species.** Plant Soil 104: 99-102.

-HARIDASAN, M., PAVIANI, T. I., SCHIAVINI, I. 1986. **Localization of aluminium in the leaves of some aluminium-accumulating species.** Plant and Soil 94, 435-437.

-HERINGER, E. P. 1977. et al **A flora do Cerrado. IV Simpósio sobre o Cerrado.** Belo Horizonte/São Paulo. Ed. Itatiaia/EDUSP, p. 211-232.

-HORNER, H. T. and WAGNER, B. L.. In: KHAN, S. R. 1995. **Calcium Oxalate in Biological Systems. Calcium oxalate formation in higher plants.** Gainesville, Florida. p. 53-71.

-HOU, H. Y. and MERKLE, F. G. 1950. **Chemical composition of certain calcifugous and calciculous plants.** Soil Sci. 69:471-486.

-HUTCHINSON, D. E. 1943. **The biochemistry of aluminium and certain related elements.** Quart. Rev. Biol. 18:1-29, 123-153, 242-262, 331-363.

-JACKSON, M. L. 1964. **Chemical composition of soils.** In: BEAR, S.E. (ed.). **Chemistry of the soil.** 2.ed. New York: Reinhold, 1964. p.71-141.

-KAUSCH, A. P. and HORNER, H. T. 1982. **A comparison of calcium oxalate crystals images in isolated from callus cultures and their explant sources.** Scan. Electron Microsc., II, 211, 1982.

-KHAN, S. R. 1995. **Calcium Oxalate in Biological Systems.** CRC Press. Florida.

-LEPSCH, I.F. 1980. **Solos Formação e Conservação.** Editora Melhoramentos. São Paulo.SP. 158p.

-MA, J. F.; MIYAKE, Y. and TAKAHASHI, E. 2001. **Silicon as a beneficial element for crop plants.** In: DATNOFF, L. E.; SNYDER, G.H. and KORNDÖRFER, G.H., 2001. **Silicon in Agriculture.**

- MAGNOLI, D. e ARAÚJO, R. 1998. **A nova geografia: Estudos de geografia do Brasil**. Editora Moderna. 2<sup>o</sup> edição.
- MARSCHNER, H. 1995. **Beneficial Mineral Elements**. p. 405. In: Mineral Nutrition of Higher Plants, Academic Press, San Diego, CA.
- OLIVA, J. e GIANANTI, R. 1999. **Espaço e modernidade: Temas de Geografia do Brasil**. Editora Atual. São Paulo SP.
- OLIVEIRA, L. A. 2000. **Ocorrência de sílica nas folhas de *Curatella americana* L. e *Davilla elliptica* St. Hil.**
- PEREIRA, G., J.L. AGUIAR, L. MOREIRA, and H.S. BEZERRA. 1997. **Área e População do Cerrado**. Pesquisa Agropecuária Brasileira. 32:759-763.
- PINHEIRO FILHO, D. 1999. **Estudo do silício e do alumínio no sistema solo - planta em espécies lenhosas do cerrado, no município de Araguari MG**. Uberlândia. 45p. Monografia (Conclusão do Curso de Agronomia) – Instituto de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Uberlândia.
- PIPERNO, D. R. 1988. **Phytoliths Analysis. An archaeological and Geological Perspective**. Academic Press. San Diego.
- RAIJ, B. van and CAMARGO, O. A. 1973. **Sílica solúvel em solos**. Bragantia. v. 32. p. 223-236.
- RAMOS, M. V. V., ARAÚJO, G. M. & CORRÊA, G. F. 1996. **Levantamento fitossociológico das espécies arbóreas de um cerrado residual, no município de Araguari, MG**. In XLVII Congresso Nacional de Botânica. Resumos. Sociedade Brasileira de Botânica, Nova Friburgo, p.216.
- RAMOS, M.V.V., 1997. **Caracterização de uma transição floresta-cerrado numa toposequência íngreme com substrato basáltico, no Triângulo Mineiro**. Monografia de Graduação, Curso de Agronomia, UFU. Uberlândia MG.
- RATTER, J. A., ASKEW, J. P., MONTGOMERY, R. F., GIFFORD, D. R. 2000. **Observações adicionais sobre o cerradão de solos mesotróficos no Brasil central**. p. 303-316. In FERRI, M. G. (editor) IV Simpósio sobre o cerrado. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- REIS, A.C. de S. 1971. **Climatologia dos cerrados**. p. 15-25 REIS, A.C. de S. 1971. **Climatologia dos cerrados**. p. in M. G. Ferri (Coord.), Simpósio sobre o cerrado. Ed. Edgard Blucher Ltda., São Paulo.

- RESENDE, M., J. C. KER and A. F. C. BAHIA FILHO. 1996. **Desenvolvimento sustentado do Cerrado**. In: V. H. ALVAREZ et al. (ed.) **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. p. 169-199.
- SANGSTER, A. G., HODSON, M. J. and TUBB, H. J. 1999. **Silicon on Deposition in Higer Plants. In: Silicon in Agriculture Conference, 1999, Florida, USA.**
- SMITHSON.1956. **Silicon Deposition in Higher Plants** A. G. SANGSTER, M. J. HODSON and H. J. TUBB, 2001. **Silicon in Agriculture**.
- TAKAHASHI, E., MA, J. A. & MIYAKE, Y. 1990. **Comments Agric. & Food Chemistry**. Vol. 2. Nº 2. Pp. 99-122. Gordon and Breach Science Publishers S. A. Printed in Great Britain.
- TEIXEIRA DA SILVA, S. 1983. **Aspectos Morfológicos e Físio-ecológicos da absorção de ácido silícico em Curatella americana L. (Dilleniaceae)**. São Paulo. Dissertação (Doutorado em Ciências Biológicas) - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo.
- TSAI, S. M. et al. POTAFÓS. 1999. **O silício na agricultura**. Informações agronômicas. Encarte técnico. p.1-7.
- VARGAS, M.A.T.; HUNGRIA, M. 1997. **Biologia dos solos sob Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC. 524p.
- WARMING, E. 1973. **Lagoa Santa; A vegetação de cerrados brasileiros**. São Paulo: EDUSP/Belo Horizonte:Itatiaia. p. 1-284.
- YOSHIDA, S., OHNISHI, Y. and KITAGISHI, K. 1962 **Soil Sci. Plant Natr.** (Tóquio). v. 8, n. 30, p. 113.
- ZINDLER-FRANK, E. 1991. **Calcium oxalate crystal formation and growth in two legume species as altered by strontium**, *Bot. Acta*, 104(3), 229.



## **7- APÊNDICE**

**Tabela 1A.** Quadro de análise de variância para os teores de Si nas folhas de diferentes espécies de plantas coletadas em dois tipos de solos. Coleta 2 - Tabela 5.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GL	QM	P < 0,05
ESPÉCIE	3	14,82333	0,000003*
SOLO	1	11,76000	0,000413*
ESPÉCIE x SOLO	3	1,51667	0,093039
RESÍDUO	16	0,597083	
MÉDIA GERAL = 2,57			
CV = 30,0 %			

**Tabela 2A.** Quadro de análise de variância para os teores de Al nas folhas de diferentes espécies de plantas coletadas em dois tipos de solos. Coleta 2 - Tabela 5.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GL	QM	P < 0,05
ESPÉCIE	3	125,4744	0,000019*
SOLO	1	4,0017	0,454545
ESPÉCIE x SOLO	3	20,3628	0,062112
RESÍDUO	16	6,8112	
MÉDIA GERAL = 5,57			
CV = 46,8 %			

**Tabela 3A.** Quadro de análise de variância para os teores de Ca nas folhas de diferentes espécies de plantas coletadas em dois tipos de solos. Coleta 2 - Tabela 6.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GL	QM	P < 0,05
ESPÉCIE	3	24,9115	0,000699*
SOLO	1	519,8704	0,000000*
ESPÉCIE x SOLO	3	24,8815	0,000704*
RESÍDUO	16	2,572917	
MÉDIA GERAL = 7,14			
CV = 22,5 %			

**Tabela 4A.** Quadro de análise de variância para os teores de Si nas raízes de diferentes espécies de plantas coletadas em dois tipos de solos. Coleta 2 - Tabela 8.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GL	QM	P < 0,05
ESPÉCIE	3	10,67472	0,000002*
SOLO	1	0,520830	0,394717
TECIDO	1	10,45333	0,000511*
ESPÉCIE x SOLO	3	0,541390	0,517331
ESPÉCIE x TECIDO	3	3,911670	0,003368*
SOLO x TECIDO	1	2,613330	0,062194
ESPÉCIE x SOLO x TECIDO	3	7,451670	0,000052*
RESÍDUO	32	0,699792	
MÉDIA GERAL = 1,7			
CV = 49,2 %			

**Tabela 5A.** Quadro de análise de variância para os teores de Ca nas raízes de diferentes espécies de plantas coletadas em dois tipos de solos. Coleta 2 - Tabela 8.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GL	QM	P < 0,05
ESPÉCIE	3	300,549	0,000000*
SOLO	1	8,585	0,340420
TECIDO	1	1276,17	0,000000*
ESPÉCIE x SOLO	3	38,918	0,012378*
ESPÉCIE x TECIDO	3	186,400	0,000000*
SOLO x TECIDO	1	0,035	0,950968
ESPÉCIE x SOLO x TECIDO	3	10,070	0,364001
RESÍDUO	32	9,166667	
MÉDIA GERAL = 8,7			
CV = 34,8 %			

**Tabela 6A.** Quadro de análise de variância para os teores de Al nas raízes de diferentes espécies de plantas coletadas em dois tipos de solos. Coleta 2 - Tabela 8.

CAUSAS DA VARIAÇÃO	GL	QM	P < 0,05
ESPÉCIE	3	43,98972	0,000000*
SOLO	1	8,16750	0,052352
TECIDO	1	44,08333	0,000052*
ESPÉCIE x SOLO	3	6,46083	0,035893*
ESPÉCIE x TECIDO	3	34,08222	0,000001*
SOLO x TECIDO	1	6,16333	0,089607
ESPÉCIE x SOLO x TECIDO	3	5,02222	0,077418
RESÍDUO	32	2,011250	
MÉDIA GERAL = 3,6 CV = 39,4 %			