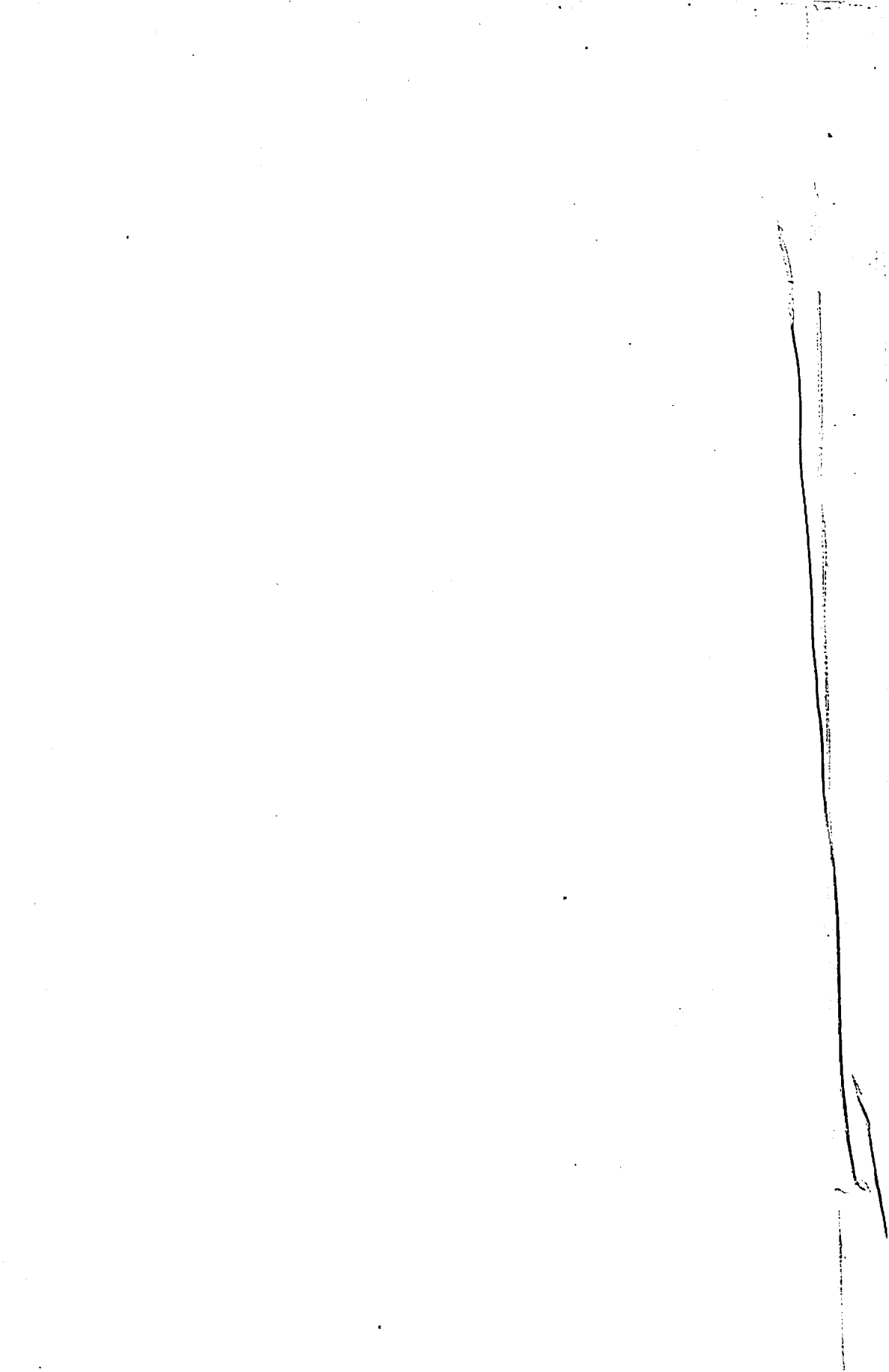


**ATRIBUTOS DE SOLOS E COMPORTAMENTO DE
ESPÉCIES FLORESTAIS EM PROCESSO DE
ESTABILIZAÇÃO DE VOÇOROCAS**

RODRIGO MARTINS GOULART

2005



RODRIGO MARTINS GOULART

**ATRIBUTOS DE SOLOS E COMPORTAMENTO DE ESPÉCIES
FLORESTAIS EM PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO DE
VOÇOROCAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador:

José Aldo Alves Pereira – UFLA

Co-orientador:

Natalino Calegário – UFLA

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2005

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Goulart, Rodrigo Martins

Atributos de solos e comportamento de espécies florestais em processo de estabilização de voçorocas / Rodrigo Martins Goulart. -- Lavras : UFLA, 2005.

91 p.: il.

Orientador: José Aldo Alves Pereira

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Área degradada. 2. Voçoroca. 3. Erosão. 4. Atributos do solo. 5. Penetrômetro. 6. Umidade do solo. 7. Temperatura do solo. 8. Espécie florestal. 9. *Acacia mangium*. 10. *Inga uruguensis*. 11. *Syagrus romanzoffiana*. 12. *Syzygium jambolanum*. 13. *Tapirira guianensis*
I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-631.64

RODRIGO MARTINS GOULART

**ATRIBUTOS DE SOLOS E COMPORTAMENTO DE ESPÉCIES
FLORESTAIS EM PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO DE
VOÇOROCAS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Ambiental para a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 28 de fevereiro de 2005

José Aldo Alves Pereira – UFLA (Presidente)

Marx Leandro Naves Silva – UFLA (Membro)

Soraya Alvarenga Botelho – UFLA (Membro)



José Aldo Alves Pereira
UFLA
(Orientador)

Lavras
MG – BRASIL
2005

DEDICATÓRIA

Dedico esta conquista aos meus Pais que, com muito trabalho e dignidade, hoje possuem seus espaços. Os verdadeiros mestres são vocês!...

AGRADECIMENTO

Agradeço a UFLA que, no curso de Engenharia Florestal, apresentou-me os caminhos para conquistar um espaço no mercado de trabalho.

Pelas cartas de indicação para o Mestrado, os Professores Alcione de Oliveira (DEG), Antônio Carlos da S. Zanzini (UFLA) e Lourival M. Mendes (DCF); em especial ao Zanzini, pelo apoio na monografia de graduação.

Aos Professores Ary T. O. Filho (DCF), Marx L. N. Silva (DCS), Mozart M. Ferreira (DCS) e o ex-vizinho e co-orientador Natalino Calegário (DCF). Aos amigos Evandro L. M. Machado, Gentil Júnior e Rubens M. dos Santos. Especialmente ao Leonardo M. Ogusukue e Ricardo Loschi, que acompanharam toda pesquisa com muita disposição. Minha gratidão eterna!

Ao Projeto Voçorocas (Vinícius M. Ferreira), desenvolvido com recursos da Prefeitura de Nazareno e do Fundo Nacional do Meio Ambiente – Governo Federal. Este estudo contou também com o apoio do Projeto Maria de Barro, financiado pelo BNDES.

Ao orientador, Professor José Aldo A. Pereira, que proporcionou liberdade na condução dos trabalhos, tranquilidade nos momentos difíceis e responsabilidade na cobrança dos resultados. A+ para você também!

Aos participantes da banca de defesa, Marx L. N. Silva (DCS) e Soraya A. Botelho (DCF), pela contribuição imensurável.

Aos meus pais, irmãos e cunhados: Adriano, Cássio, Juliano (*in memoriam*), Luciana, Tânia e Xaxá; aos amigos Alessandro e Vinícius pela convivência e amizade. Aos demais parentes e amigos, em especial tio Sérgio, tia Lena e primos (as), que me acolheram de forma especial em sua residência no início do período de minha mudança para Belo Horizonte, MG.

A Granasa Granitos Nacionais Ltda, em especial a Sirley F. de Oliveira, por me proporcionar a tranquilidade necessária para o encerramento do mestrado no início do primeiro emprego.

A Deus que, por fazer com que tudo acontecesse em minha vida até hoje, considero o mais importante. Não posso deixar de agradecer-lhe também pelos dias nublados, pois com estes aprendo cada vez mais a valorizar os dias de céu azul.

“Viver é uma ARTMAN!”

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS	iv
RESUMO	v
ABSTRACT	vi
1 INTRODUÇÃO	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO	3
2.1 Erosão hídrica.....	3
2.1.1 Inter-relações entre solos e erosão hídrica	6
2.1.2 Erosão hídrica e cobertura vegetal	8
2.2 Voçorocas.....	9
2.2.2 Estabilização de voçorocas.....	12
2.3 Interação entre vegetação e sítio	16
2.3.1 Resistência do solo à penetração	17
2.4 Descrição das espécies selecionadas para estudos	21
2.4.1 <i>Acacia mangium</i> Willd.	21
2.4.2 <i>Inga uruguensis</i> Hook. & Arn.	22
2.4.3 <i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassm.	23
2.4.4 <i>Syzygium jambolanum</i> (Lam.) DC.	23
2.4.5 <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	26
3.1 Localização e características da área de estudo.....	26
3.1.1 Caracterização da voçoroca em estudo	27
3.2 Seleção das espécies e áreas de estudo.....	29
3.3 Preparo do solo e plantio das espécies avaliadas.....	30
3.4 Monitoramento do crescimento das espécies	31
3.5 Análise das características do solo	31

3.5.1 Umidade e temperatura do solo.....	31
3.5.2 Análise físico-química do solo.....	32
3.5.2.1 Resistência do solo à penetração.....	32
3.6 Análise estatística dos dados.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 Caracterização das variáveis ambientais.....	34
4.1.1 Características químicas e matéria orgânica.....	34
4.1.2 Características físicas.....	35
4.1.2.1 Textura do solo.....	35
4.1.2.2 Umidade e temperatura do solo.....	38
4.1.2.3 Resistência do solo à penetração.....	44
4.1.3 Análise de componentes principais.....	50
4.2 Crescimento das espécies.....	52
4.2.1 <i>Acacia mangium</i> Willd.....	53
4.2.2 <i>Inga uruguensis</i> Hook. & Arn.....	57
4.2.3 <i>Syagrus romanzoffiana</i> (Cham.) Glassm.....	60
4.2.4 <i>Syzygium jambolanum</i> (Lam.) DC.	65
4.2.5 <i>Tapirira guianensis</i> Aubl.	69
5 CONCLUSÕES.....	74
6 COMENTÁRIOS FINAIS E SUGESTÕES.....	76
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	77
ANEXOS.....	88

LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1 Localização geográfica do município de Nazareno, MG:26
- FIGURA 2 Mapa planialtimétrico da voçoroca em estudo, localização das áreas utilizadas para estudos e surgência de água.28
- FIGURA 3 Croqui detalhado da voçoroca em estudo, enfatizando a localização das áreas analisadas e situação da área de contribuição.29
- FIGURA 4 Teores médios de areia, silte e argila nos diferentes gradientes do talude da voçoroca em estudo.37
- FIGURA 5 Variação média mensal da umidade do solo nos taludes dos gradientes inferior, médio e superior, durante o período do estudo na profundidade de 0-20cm.....38
- FIGURA 6 Série histórica mensal dos últimos dez anos da precipitação na região da área de estudo. FONTE: INPE (2005).....39
- FIGURA 7 Variação mensal da umidade do solo nos taludes dos gradientes inferior, médio e superior da área um (a); dois (b) e três (c).....42
- FIGURA 8: Variação mensal da umidade do solo nos taludes do gradiente inferior, médio e superior da área quatro (a); cinco (b) e seis (c).43
- FIGURA 9 Temperatura média do solo dos gradientes inferior, médio e superior, nas seis áreas de estudo.44
- FIGURA 10 Representação das relações entre (a) profundidade do solo e as médias de resistência do solo à penetração e (b) profundidade do solo e média de umidade nos três gradientes das áreas em estudo.....45
- FIGURA 11 Representação gráfica das relações entre a resistência do solo à penetração versus profundidade e caracterização da umidade versus profundidade do solo, das áreas um, dois e três na voçoroca em estudo, (GI: gradiente inferior; GM: gradiente médio; GS: gradiente superior).48
- FIGURA 12 Representação gráfica das relações entre a resistência do solo à penetração versus profundidade e caracterização da umidade versus

profundidade do solo, das áreas quatro, cinco e seis na voçoroca em estudo, (GI: gradiente inferior; GM: gradiente médio; GS: gradiente superior). 49

FIGURA 13 Análise de componentes principais (PCA): diagrama de ordenação das áreas de estudo um, dois, três, quatro, cinco e seis e das variáveis ambientais. Gradientes: inferior (■), médio (▽) e superior (⊙). 51

FIGURA 14 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo da acácia, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 4,0816 + 0,889 \times I$ (crescimento no período: grad. médio > grad. superior > grad. inferior). 54

FIGURA 15 Crescimento da espécie *Acacia mangium* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses. 57

FIGURA 16 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo do ingá, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 7,9729 + 0,2114 \times I$ (crescimento no período: grad. inferior > grad. médio > grad. superior). 58

FIGURA 17 Crescimento da espécie *Inga uruguensis* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses. 60

FIGURA 18 Croqui da arquitetura dos jerivás presentes na área de estudo. 62

FIGURA 19 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo do jerivá, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 4,1487 + 0,0489 \times I$ (crescimento no período: grad. superior > grad. médio). 63

FIGURA 20 Crescimento da espécie *Syagrus romanzoffiana* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses. 65

FIGURA 21 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo do jambolão, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 5,7710 + 0,0693 \times I$ (crescimento no período: grad. médio > grad. inferior > grad. superior). 67

FIGURA 22 Crescimento da espécie *Syzygium jambolanum* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses.69

FIGURA 23 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo do peito de pombo, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 3,1201 + 0,0525 \times I$ (crescimento no período: grad. superior > grad. médio > grad. inferior).....70

FIGURA 24 Crescimento da espécie *Tapirira guianensis* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses.72

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 Análises químicas e matéria orgânica para as amostras de solos correspondentes aos gradientes das áreas em estudo.	34
TABELA 2 Análise granulométrica para as amostras de solo correspondentes a cada gradiente das áreas em estudo.	36
TABELA 3 Análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo da acácia, em função do tempo, pelo “teste de t” a 5%.	53
TABELA 4 Análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo do ingá em função do tempo, pelo “teste de t” a 5%.	57
TABELA 5 Análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo do jambolão, em função do tempo, pelo “teste de t” a 5%.	65
TABELA 6 Análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo do peito de pombo, em função do tempo, pelo “teste de t” a 5%.	70

RESUMO

Goulart, R.M. **Atributos de solos e comportamento de espécies florestais em processo de estabilização de voçorocas.** 2005. 91 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG*.

A degradação ambiental é um dos problemas mais críticos da humanidade. A maioria dos problemas relacionados a esta degradação é proveniente da ação do homem sobre os ecossistemas. Dentre os processos de degradação, a erosão hídrica em seu sentido mais avançado, as voçorocas, é o mais desolador. Nesse sentido, a presente pesquisa objetivou avaliar os atributos dos solos e o comportamento das espécies florestais *Acacia mangium* Willd., *Inga uruguensis* Hook. & Arn., *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassm., *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC. e *Tapirira guianensis* Aubl., nas diferentes condições de sítios existentes em uma voçoroca, no município de Nazareno, MG. Pretendeu-se, ainda, relacionar o comportamento das espécies florestais analisadas com as respectivas variáveis ambientais de cada sítio. Visando caracterizar os sítios, os taludes da voçoroca foram estratificados em gradiente inferior, médio e superior, nos quais realizaram-se análises nos solos para as variáveis: físico-química, umidade, temperatura e resistência do solo à penetração. O acompanhamento do desenvolvimento das espécies foi executado por meio das medidas de altura total, circunferência do caule à altura do solo e área de copa. Foram realizadas quatro medições: aos 20, 25, 28 e 31 meses de idade, totalizando doze meses de monitoramento. Utilizaram-se para análise dos atributos dos solos e desenvolvimento das espécies florestais, respectivamente, o programa Pc-Ord for Windows versão 4.0 e o software estatístico "R". Os resultados mostraram que os gradientes inferior, médio e superior apresentaram solos de baixa fertilidade nas diferentes áreas. Em média, o gradiente inferior apresentou maior umidade do solo, seguido do gradiente médio e superior. O adensamento do solo não demonstrou ser um parâmetro limitante ao desenvolvimento vegetal, tendo os solos do gradiente superior apresentando maiores adensamentos e temperaturas, seguidos pelo gradiente médio e inferior; e relação inversa destes com o parâmetro umidade do solo. Quanto mais próximo do gradiente inferior, menor a quantidade de argila no solo, ocorrendo o inverso para o teor de areia. *Acacia mangium* e *Inga uruguensis* apresentaram maior crescimento no período do estudo, enquanto *Syagrus romanzoffiana*, *Syzygium jambolanum* e *Tapirira guianensis* não se destacaram para os ambientes estudados. *Acacia mangium* apresentou melhor crescimento nos sítios mésicos e *Inga uruguensis* se destacou nos sítios úmidos, demonstrando relação positiva entre teor de umidade e crescimento.

* Comitê Orientador: José Aldo Alves Pereira - UFLA (Orientador), Natalino Calegário - UFLA.

ABSTRACT

Goulart, R.M. **Soil Attributes and behavior of forest species in gully erosion stabilization process.** 2005. 91 p. Dissertation (Master in Environmental Management) – Federal University of Lavras, Lavras, MG*.

Environmental is one of the most critical problems of humankind. Most of the problems related with that degradation is coming from man's action on ecosystems. Among the degradation processes, water erosion in its most advanced sense, gully erosion, is the most desolating. In this sense, the present work aimed to evaluate the soil attributes and the behavior of the forest species *Acacia mangium* Willd., *Inga uruguensis* Hook. & Arn., *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassm., *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC. and *Tapirira guianensis* Aubl., under the different site conditions existing in a gully erosion, in the town of Nazareno, MG. It was intended, further, to relate the behavior of the surveyed forest species with the respective environmental variables of each site. By aiming to characterize the sites, the gully erosion slopes have been stratified into lower, medium and lower gradients, where analyses in the soils for the variables: physical-chemical, moisture, temperature, resistance of soil to penetration were performed. The monitoring of the development of the species was accomplished by means of the measures of total height, stem circumference at the soil height and crown area. Four measurements were done at 20, 25, 28 and 31 months of age, amounting to twelve months monitoring. The Pc-Ord for Windows version 4.0 program and the statistic "R" software were utilized, respectively for analysis of the attributes of soils and development of the forest species. The results showed that the lower, medium and upper gradients presented low fertility soils in the different areas. On the average, the lower gradient present increased soil moisture, followed by the medium and upper gradient. Soil densification did not prove to be a parameter limiting to the plant development, the upper gradient soils presented greater densifications and temperature, followed by the medium and lower gradients; and an opposite relationship of these with the parameter soil moisture. The closer to the lower gradient, less the amount of clay in soil, occurring the opposite to the sand content. *Acacia mangium* and *Inga uruguensis* presented increased growth in the period of the study, whereas *Syagrus romanzoffiana*, *Syzygium jambolanum* and *Tapirira guianensis* have not stood out for the studied environments. *Acacia mangium* presented best growth in the mesic sites and *Inga uruguensis* stood out in the moist sites, demonstrating a positive relationship between moisture content and growth.

*Guidance Committee: José Aldo Alves Pereira - UFLA (Adviser), Natalino Calegário - UFLA.

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental é um dos problemas mais críticos da humanidade. A maioria dos problemas relacionados a esta degradação é proveniente da ação do homem sobre os ecossistemas, tanto no presente como no passado. No caso específico do solo, observam-se sinais de intervenção e degradação desde os tempos do império, causados por estradas rurais, trilhas de carros de boi, cujas rodas finas e rígidas de madeira sulcavam o solo que, na época das chuvas, guiavam as enxurradas, provocando erosões e futuras voçorocas. Também as divisórias de fazendas, na forma de sulcos (valas), e feitas ainda na época dos escravos, resultaram em erosões, gerando imensas voçorocas.

No presente, há inúmeras intervenções desastrosas, dentre as quais duas têm sido marcantes para a degradação dos solos: o desmatamento nos últimos 50 anos para a fabricação de carvão vegetal e o uso incorreto do solo para a agricultura e obras de engenharia civil.

As terras são descritas degradadas quando suas condições edáficas e sua riqueza biótica foram reduzidas pela atividade humana a um ponto em que sua habilidade em satisfazer certos usos, como, por exemplo, a agricultura, tenha declinado. A degradação de uma área ocorre quando a vegetação nativa e a fauna são destruídas, removidas ou expulsas; a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada, e a qualidade e o regime de vazão do sistema hídrico são alterados, apresentando baixa capacidade de resiliência.

Dentre os processos de degradação, a erosão hídrica em seu estágio mais avançado, as voçorocas, é o mais desolador. Quando estas não são controladas ou estabilizadas, além de inutilizar áreas aptas à agricultura, podem ameaçar obras viárias e áreas urbanas, assorear rios, lagos e reservatórios, comprometendo quali-quantitativamente estes últimos quanto aos aspectos de

navegabilidade, abastecimento de água para as cidades, projetos de irrigação e geração de energia elétrica.

No tocante às voçorocas, a prevenção constitui-se na melhor maneira de se livrar do problema, pois, uma vez instalada esta forma de erosão, torna-se quase sempre inviável sua eliminação, restando como alternativa a estabilização da mesma para evitar o aumento da área voçorocada.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar os atributos dos solos e o comportamento das espécies florestais *Acacia mangium* Willd., *Inga uruguensis* Hook. & Arn., *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassm., *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC. e *Tapirira guianensis* Aubl., nas diferentes condições de sítios existentes em uma voçoroca, no município de Nazareno, MG.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Erosão hídrica

Erosão é o processo que age sobre o solo ou a rocha provocando sua desagregação, decomposição e arraste de parte das partículas para depositá-la em outra. É o fenômeno pelo qual as partículas do solo ou fragmentos são removidos e transportados pela ação do vento ou da água (Freire, 1984).

A erosão hídrica é a ação da água da chuva sobre o solo, mediante o impacto da gota, que cai com velocidade e energia variável segundo seu diâmetro e a ação de escorrimento. A erosão por impacto é aquela provocada pelo embate das gotas de chuvas sobre o solo, desintegrando parcialmente os agregados naturais, libertando as partículas finas e projetando-as à distância de até um metro ou mais (Galetti, 1989).

As gotas de chuva que golpeiam o solo contribuem para a erosão hídrica da seguinte maneira: (a) desprendem as partículas de solo no local que sofre seu impacto; (b) transportam por salpicamento as partículas desprendidas e (c) imprimem energia, em forma de turbulência, à água de superfície. A água que escorre na superfície de um terreno, principalmente nos minutos iniciais, exerce uma ação transportadora (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Existem duas modalidades de erosão: a erosão geológica, que é conhecida por meio das alterações que as atividades geológicas proporcionam no relevo e que é considerada como normal; e a erosão acelerada ou simplesmente erosão, aquela que as práticas conservacionistas visam impedir ou controlar (Embrapa, 1980).

A erosão acelerada se sobrepõe à erosão geológica e deve-se às atividades do homem que alteram a cobertura vegetal e as condições do solo. Ocorre principalmente pela influência da pluviosidade, que se torna maléfica

com o uso inadequado dos implementos e abuso das operações agrícolas (Vieira et al., 1996).

Relacionando grau de intensidade, observam-se três estágios principais de erosão hídrica: laminar, em sulcos e em voçorocas (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). A erosão laminar caracteriza-se por desgastar uniformemente o solo, sendo, portanto, a forma de erosão menos notada e, por isso, a mais perigosa. A erosão laminar arrasta primeiro as partículas mais leves do solo e, considerando que a parte mais ativa do solo e de maior valor é a integrada pelas menores partículas, pode-se julgar os seus efeitos sobre a fertilidade do solo (Vieira et al., 1996; Bahia & Ribeiro, 1998).

Quando se acumula na superfície, a água se move morro abaixo e raramente se movimenta em uma lâmina uniforme sobre a superfície do solo. Cada pequena porção de água toma o caminho de menor resistência, concentrando em pequenas depressões e ganhando velocidade à medida que a lâmina de água e a declividade do terreno aumentam (Bertoni & Lombardi Neto, 1990). Muitas vezes, a erosão laminar evolui para a erosão em sulcos, embora nem sempre seja o início dessa forma de erosão (Bahia & Ribeiro, 1998).

Caracteriza-se erosão em sulcos pela presença de canais sinuosos que se localizam ao longo dos declives. Estes se formam em consequência de pequenas irregularidades do terreno que fazem com que a enxurrada, concentrando-se em alguns pontos, atinja volume e velocidade suficientes para formar riscos mais ou menos profundos. Essa forma de erosão, a que o lavrador presta mais atenção, é ocasionada por chuvas de grande intensidade, em terrenos de elevada declividade e em grandes lançantes (Vieira et al., 1996; Bahia & Ribeiro, 1998).

Ao longo dos anos, os sulcos podem passar por profundas modificações, pois as grandes concentrações de enxurrada que passam, ano após ano, no mesmo sulco, deslocando grandes massas de solo, formam grandes cavidades

em extensão e em profundidade, cavidades estas conhecidas como voçorocas (Vieira et al., 1996).

A erosão hídrica do solo constitui, sem dúvida, a principal causa de depauperamento acelerado das terras. As enxurradas, provenientes das águas de chuva que não ficaram retidas sobre a superfície, ou não se infiltraram, transportam partículas de solo em suspensão e elementos nutritivos essenciais em dissolução (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

Segundo Vieira et al. (1996), a deposição é a última fase da erosão hídrica, possibilitando a acumulação de terra erodida que vinha sendo transportada pela água da enxurrada. Os materiais de solo depositados são geralmente separados por tamanho de partículas. Primeiro são depositados os de baixa transportabilidade e, por último, os materiais mais leves, nos pontos mais distantes das partes mais baixas. A quantidade de material fino, em geral, é proporcional à quantidade de solo salpicado. Os agregados do solo no processo de salpicamento são, em proporções, mais finos do que quando erodidos por escoamento de água; isto resulta em quantidades maiores de argila, limo e matéria orgânica, que são mais facilmente transportáveis. Estes materiais mais finos e mais leves são transportados a grandes distâncias e vão se depositar nos lagos, açudes e reservatórios de água.

A água da chuva exercerá maior ou menor ação erosiva sobre o solo em função da sua intensidade e, destacadamente, de fatores tais como condições topográficas ou de relevo (comprimento da encosta, grau de declive ou declividade, área do terreno), características do solo (textura, estrutura, profundidade do solum e permeabilidade do solo a água) e tipo de uso a que o solo está sendo submetido (mata, lavoura, pastagem) (Corrêa, 2003).

2.1.1 Inter-relações entre solos e erosão hídrica

O solo, camada superior da crosta terrestre, se forma a partir de rochas pela ação integrada dos seguintes processos: físicos, que resultam na desintegração das mesmas; químicos, que alteram a composição das rochas e minerais e, finalmente, biológicos, que resultam em uma intensificação das forças físicas e químicas, transformando-se em material poroso com características peculiares (Ferreira, 1998). Nesse sentido, o solo se forma a partir de cinco fatores: clima, relevo, seres vivos, material de origem e tempo (Jenny, 1941).

Enfim, o solo é a camada em que se sustentam e se nutrem os vegetais. Esta tênue camada é composta por partículas de rochas em diferentes estágios de desagregação, água e substâncias químicas em dissolução, ar, organismos vivos e matéria orgânica em distintas fases de decomposição (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

A natureza do solo influi no volume de enxurrada, quantidade de terra, matéria orgânica e elementos químicos arrastados. Esta influência, segundo Resende et al. (1985), depende das propriedades que afetam a velocidade de infiltração, permeabilidade do solo à água, capacidade de armazenamento do solo à água, bem como daquelas que oferecem resistência a forças de dispersão, salpico e transporte.

A erosão não é a mesma para todos os solos. As propriedades físicas, principalmente textura, estrutura, permeabilidade do solo à água e densidade, assim como as características químicas e biológicas, exercem diferentes influências. Suas condições físicas e químicas, ao conferirem maior ou menor resistência à ação das águas, tipificam o comportamento de cada solo exposto a condições semelhantes de topografia, chuva e cobertura vegetal (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

O solo mais resistente à erosão, de acordo com Resende & Rezende (1983), é aquele que apresenta melhor combinação dos fatores coerência entre partículas e ou agregados e permeabilidade do solo à água. A combinação destes dois fatores influencia para determinar a erodibilidade do solo, pois o sistema terá a coerência suficiente para evitar a remoção de partículas por salpicamento e arraste, e permeabilidade adequada para reduzir o volume do deflúvio (Silva, 1990).

A textura constitui-se numa das características físicas mais estáveis, sendo representada pela distribuição quantitativa das partículas do solo quanto ao tamanho. Areia, silte e argila são as três frações texturais do solo que apresentam amplitudes de tamanho específico. No sentido morfológico e genérico, a estrutura do solo refere-se à agregação das partículas em unidades compostas ou agrupadas de partículas primárias, que são separadas de agregados adjacentes por superfícies de fraca resistência (Ferreira & Dias Júnior, 1997).

De acordo com Silva (1990), a estrutura constitui-se na propriedade mais importante no que diz respeito à resistência de solos ao voçorocamento, pois, para o surgimento dessa forma de erosão, os horizontes A e B do solo devem ser totalmente erodidos em alguma parte do terreno, expondo o horizonte C.

Lemos (1956), citado por Silva (1990), atribui aos elevados teores de silte e areia fina a formação de uma crosta na superfície do solo pelo impacto direto das gotas de chuva, as quais desagregam os torrões do solo em partículas unitárias e as arrastam para dentro dos poros, reduzindo a permeabilidade e induzindo maiores volumes de enxurrada. Com o aumento da enxurrada, a água, com maior energia, provoca a destruição local da crosta, iniciando o processo de voçorocamento por microssolapamentos, que ampliam rapidamente a área erodida.

Em relação à matéria orgânica, Wischmeier & Mannering (1969) descrevem que, elevando-se o teor desta, eleva-se também a velocidade final de infiltração da água no solo, sendo necessária maior energia da chuva para iniciar a enxurrada, enquanto que a quantidade de solo nas enxurradas é inversamente proporcional ao teor de matéria orgânica no mesmo.

Sendo o horizonte C dos solos altamente susceptível à perda de material, a proteção do sistema se limita à manutenção dos componentes do solum, ou seja, horizontes A e B, que se constituem na capa protetora como um todo. Nesse contexto, o uso e o manejo racional da terra tornam-se imprescindíveis, minimizando o impacto promovido pela quebra do equilíbrio entre o solo e a vegetação natural (Silva, 1990).

2.1.2 Erosão hídrica e cobertura vegetal

A vegetação é o fator fundamental na conservação do solo e na redução do processo erosivo (Resende, 1995). Contudo, a sua existência e o vigor dependem da disponibilidade de nutrientes e umidade do solo, fatores que normalmente se encontram em níveis inadequados em áreas erodidas. Por isso, é importante a presença de espécies vegetais com capacidade de estabelecimento em locais de condições adversas, objetivando o controle do processo erosivo (Schroeder, 1984).

Segundo Farias (1992), a importância da vegetação está na captação e transformação de energia que mantém toda a cadeia trófica, gerando sítios ecológicos associados aos fatores ambientais. A vegetação ainda protege o solo do impacto direto das gotas de chuvas e diminui o escoamento superficial das águas, aumentando sua infiltração e melhorando sua qualidade, contribuindo para a diminuição dos processos erosivos e minimizando o impacto visual. Visa também atrair dispersores, como pássaros, insetos e outros animais de pequeno

porte, que são importantes para promover a auto-sustentabilidade do ecossistema.

A proteção do solo contra a erosão hídrica oferecida pela cobertura vegetal pode ser assim enumerada: (a) proteção direta contra o impacto das gotas de chuva, (b) dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo, (c) decomposição das raízes das plantas que, formando canalículos no solo, aumentam a infiltração de água, (d) melhora da estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumentando assim sua capacidade de retenção de água e (e) diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície (Bertoni & Lombardi Neto, 1990).

O uso da cobertura vegetal é considerado parte essencial na recuperação de áreas degradadas e implica não só no plantio de espécies vegetais, mas também na seleção adequada destas espécies e das técnicas de manejo, visando reconstituir e acelerar os processos de sucessão natural (Nappo, 1999).

2.2 Voçorocas

O termo voçoroca tem origem no vocabulário tupi-guarani e significa terra rasgada. São vales de erosão nos quais a remoção do solo é tão rápida que não permite o desenvolvimento da vegetação. Sua distinção com ravinas é feita pelo tamanho e, de uma forma empírica, a voçoroca é um sulco de tal extensão que impede o cultivo e ou o uso do solo para qualquer finalidade e que não pode ser eliminado por meio de práticas normais de manejo (FAL, 1965 citado por Silva, 2001a).

Segundo Resende (1985), a concentração do fluxo de água em alguns pontos do terreno, provocada por uma causa natural como a queda de uma árvore, um pequeno deslizamento ou movimento de terra ocasionado por um animal etc., é o suficiente para o início de um processo de erosão diferencial, mesmo sem a destruição total da vegetação. A superfície torna-se rebaixada mais

rapidamente num local que no outro, originando uma ravina que se expande substancialmente a montante e nas laterais, com menor atividade nas partes mais inferiores.

Ravinas e voçorocas podem ser consideradas como incisões que resultam da tendência de sistemas naturais a atingir um estado de equilíbrio entre energia disponível e eficiência do sistema em dissipar energia. Quando um sistema natural (encosta, bacia hidrográfica etc.) não é eficiente para dissipar a energia disponível, o sistema se adapta, de forma a atingir um novo estado de equilíbrio. No caso dos solos, tanto a mudança na quantidade de energia disponível (intensidade e frequência de precipitações, teor de umidade dos solos etc.) quanto a alteração das características do sistema (uso do solo, cobertura vegetal, grau de estruturação etc.) podem levar a uma situação de desequilíbrio entre energia disponível e capacidade de dissipação de energia (Bak, 1997).

Silva (1990) concluiu que os Podzólicos são os solos de maior resistência ao voçorocamento e os mais susceptíveis são os Cambissolos, por possuírem os maiores teores de silte e areia fina dentre os caracterizados em seu estudo, o que favorece sobremaneira ao encrostamento e a baixa permeabilidade, elevando significadamente o deflúvio superficial. Possuem também, em média, solum pouco espesso, horizonte C profundo, pobreza química acentuada e se situam em locais de relevo bastante acidentado, o que torna este sistema muito instável, com elevada susceptibilidade ao voçorocamento.

De maneira geral, as voçorocas apresentam composição florística de plantas pioneiras, com capacidade de se adaptarem a locais com baixa disponibilidade de nutrientes e, nos taludes, com reduzida disponibilidade de água (Farias, 1992).

Segundo a mesma autora, observando-se a sucessão das espécies sobre a área após o fenômeno da erosão até a culminância em voçorocas, as gramíneas surgem primeiro e ocupam os fundos, onde há deficiência de drenagem,

juntamente com aquelas espécies que participam, em comunidade, das mesmas condições adaptativas ambientais, ou seja, teores baixos de nutrientes, solo arenoso e saturação hídrica.

De acordo com Ray (1972), citado por Felipe & Polo (1983), as espécies invasoras apresentam sementes pequenas. As sementes, ou esporos, sendo pequenas, propiciam maior estabilidade, por se alojarem nas microrreentrâncias das paredes desnudas, o que reduz o arraste e facilita a germinação. Estabelecido o processo de propagação, as espécies se sobressaem em função da capacidade de adaptação ao ambiente.

A samambaia *Gleichenia sp.* (pteridophyta) evidencia esta adaptação pelo fato de constituir uma espécie competente quanto ao recobrimento do solo, ocupando parte das paredes das voçorocas. Com a capacidade de se desenvolver em locais com pouca disponibilidade de água e baixa fertilidade, além de produzir muitos esporos pequenos, a *Gleichenia sp.* torna-se quase que única nos taludes íngremes (Farias, 1992).

De acordo com a mesma autora, na área de baixada há a presença de vegetação rasteira que, na época das chuvas, fica encharcada. A rede de drenagem carrega sedimentos do tamanho de areia fina, criando bancos de deposição. A área de baixada é ocupada quase que totalmente por gramíneas, como, dentre outras, o *Andropogon bicornis* L. (capim rabo-de-burro) e o *Aristida sp.*, que se estabelecem nos ambientes encharcados.

Nos locais onde a drenagem é melhor, a vegetação arbórea se estabelece de forma contínua. Nos taludes íngremes, mais especificamente nas partes superiores, o solo é praticamente exposto. Nestes locais, a deficiência de água é notória (Farias, 1992).

De acordo com a mesma autora, os taludes íngremes, em conjunto, constituem ramificações que abrigam espécies arbóreas bem desenvolvidas, formando uma mata. Estas espécies lenhosas encontram-se nos locais onde,

embora haja mais água disponível, ocorre razoável oxigenação do ambiente das raízes. Estes locais são mais fechados e de pouca iluminação, caracterizando as grotas.

Segundo Ferreira & Silva (2001), o surgimento de vegetação espontânea em voçoroca é favorecido quando o homem deixa de interferir no sistema. O uso de práticas, como a deposição de lixo e o uso do fogo, tem desencadeado a desestabilização do processo de voçorocamento.

Os danos provocados por voçorocas são muitos. Segundo Millett (2003), no campo, as voçorocas reduzem a área de plantio por destruição das terras cultiváveis, causam perdas de solos férteis, prejudicam o trabalho de máquinas agrícolas e aumentam os custos operacionais das lavouras. Os sedimentos arrastados pelo processo erosivo podem causar assoreamento de rios e reservatórios de água, afetando a fauna e a flora aquática e adjacente.

De acordo com o mesmo autor, o problema que se inicia na voçoroca e se estende até os caminhos próximos para onde estiverem indo as águas da enxurrada, ocasiona cobrimento das camadas férteis adiante devido ao carreamento de sedimentos. Parte deste sedimento é depositada nos cursos de água, dificultando o livre escoamento das águas de chuva e, com isso, ficará facilitado o processo das enchentes.

Dependendo das dimensões da voçoroca e da relação entre custo e benefício, pode-se optar pela recuperação total ou estabilização da área, com possibilidade de utilizá-la para outras finalidades.

2.2.2 Estabilização de voçorocas

Segundo Millett (2003), o controle e a estabilização de voçorocas são assuntos bastante complexos e começam com o trabalho de especialistas avaliando todos os fatores que levaram à sua formação, desde o regime de águas na região até os usos anteriores do local. Normalmente, o controle da voçoroca

compreende o estudo e a análise de toda a bacia de captação de água na qual ela está inserida.

Para Gonçalves et al. (2002), dá-se o início à implantação do projeto de contenção dos processos erosivos, tomando-se como base os levantamentos dos atributos físicos, químicos e morfológicas do solo, além das condições topográficas.

Muito embora as causas de voçorocamento possam ser totalmente distintas, alguns princípios tradicionais podem ser aplicados visando a estabilização do processo (Silva, 2001a). A primeira ação é interromper a entrada de água na voçoroca, construindo um canal divergente ou terraços de dispersão na área de contribuição. Nesta fase, tem-se por objetivo a suspensão do processo que provoca o aumento da área afetada, evitando que a concentração de água continue a erodir o leito e desestabilizar os taludes. As voçorocas não devem ser utilizadas como canal escoadouro de terraços ou para o recebimento de água proveniente de estradas (Millet, 2003).

Torna-se necessário, em alguns casos, o isolamento da área com cerca, cujo objetivo é evitar a entrada de animais, além de diminuir o risco da ocorrência de acidentes. A construção da cerca a uma distância das bordas, equivalente ao dobro da profundidade máxima da voçoroca, tem apresentado bons resultados (Silva, 2001b). De acordo com Millett (2003), o isolamento da área também dificulta a deposição de lixo nas voçorocas urbanas, evitando a ocorrência de fogo, o que prejudica a regeneração natural no local.

Para voçorocas maiores, deve-se utilizar estruturas temporárias (paliçadas, esteiras vegetais e sintéticas) e ou estruturas permanentes (gabiões, vertedouros e outros). Recomenda-se a construção de várias estruturas ao longo do leito da voçoroca, distribuídas em intervalos uniformes e ou em posições estratégicas, objetivando proteger os pontos críticos e o crescimento de vegetação nos mesmos. As estruturas temporárias, em função do desnível do

leito da voçoroca, podem ser espaçadas, à semelhança dos terraços. É também necessário que o vertedouro colocado na parte central da estrutura tenha uma seção suficiente para comportar o volume da descarga previsível (Silva, 2001b).

Segundo a Secretaria da Agricultura (1983), a construção de bacias de captação de água, que constitui o sistema mais perfeito de aproveitamento integral das águas, sejam de um rio ou de regime torrencial, pode ser utilizada.

O profissional responsável pela estabilização do processo deverá prever e provocar o aparecimento de diferentes espécies dentro do processo de sucessão. Por isto, o conhecimento da dinâmica do fenômeno de formação de voçorocas e suas relações complexas entre o meio biótico e abiótico é de inestimável importância (Lopes, 1996).

Como medidas de caráter vegetativo podem ser citadas: plantio em nível de capim-elefante (*Pennisetum hybridum*) na cabeceira da voçoroca, o qual possui a mesma forma de crescimento da cana-de-açúcar, desempenhando bem o seu papel de cordão permanente na retenção do aporte de sedimentos e absorção de água; plantio consorciado de braquiária (*Brachiaria decumbensis*) com *Brachiaria ruziziensis* na parede de contenção do açude e nos locais mais declivosos, para diminuir o impacto das gotas de chuva e proporcionar o travamento do solo; plantio de mudas de essências florestais, como angico (*Anadenanthera macrocarpa*), mogno (*Swietenia macrophylla*) e bálsamo (*Myroxylon balsamum*), visando aumentar a infiltração da água, o travamento do solo e a interceptação das gotas de chuva, além de acelerar a sucessão ecológica (Gonçalves et al., 2002).

O desenvolvimento da vegetação possibilita a criação de novas propriedades ambientais que induzem à redução da degradação específica que, em termos ecológicos, representam a sustentabilidade das ações ambientais. Este processo cria condições para o estabelecimento de infiltração e facilita o surgimento das espécies espontâneas, complementando mais uma etapa do

processo de recuperação de área degradada (Pinheiro & Valcarcel, 2002). Segundo Rodrigues et al. (2002), quanto maior for o número de espécies implantadas, mais acelerado são o processo de reconstrução do solo e a recuperação do ambiente.

Para voçorocas pequenas, mais largas do que profundas, com pouca declividade em seu leito e cuja bacia de captação não seja muito grande, pode-se utilizar apenas métodos vegetativos. Recomenda-se o plantio ou semeadura de vegetação em linhas perpendiculares ao declive da voçoroca, de modo a formar pequenos anteparos. Estes anteparos arbustivos reduzem a velocidade da água no interior da voçoroca, resultando em deposição de sedimentos, o que favorece o estabelecimento de novos vegetais (Silva, 2001b).

Segundo Rodrigues & Gandolfi (1996), os métodos aplicados para a recuperação de áreas se fundamentam em idéias divergentes e com objetivos diversos. As primeiras tentativas de recuperação de áreas degradadas se baseavam em simples plantios aleatórios de espécies exóticas e nativas. No momento seguinte, para baixar os custos, efetuava-se o plantio de bosques de uma única ou de poucas espécies. Porém, a recuperação deve dispor de um conjunto de medidas de acordo com as características da degradação.

No Brasil, o uso de técnicas avançadas e ecologicamente viáveis no controle de processos erosivos, proteção e recuperação de encostas, ainda é muito restrito, devido, principalmente, ao desconhecimento de metodologias avançadas utilizadas nos países mais desenvolvidos e, de maneira geral, ao fato de os técnicos e a sociedade acreditarem serem de custos elevados. Na verdade, estas metodologias são de grande eficiência, muito seguras, rápidas e de baixo custo, quando comparadas às tradicionais (Pereira, 2002a). Segundo Coelho (1999), citado por Pereira (2002b), poucos estudos existem com relação a tratamentos de erosões que mostram eficiência e técnica adequada.

Normalmente, utilizam-se técnicas tradicionais sem utilizar os conhecimentos necessários para se obter sucesso e garantia do trabalho a longo prazo.

2.3 Interação entre vegetação e sítio

De acordo com Gonçalves (1988), a expressão sítio é utilizada para designar uma unidade de área indivisível em termos de produtividade vegetal, sendo reflexo da situação de todas as variáveis biológicas e ambientais (pedológicas, topográficas e climáticas) que afetam o crescimento das plantas, tornando as voçorocas um ambiente extremamente complexo devido à amplitude de variáveis existentes.

O ambiente físico é tão importante quanto as espécies, devendo-se considerar, para a instalação de plantios, a interação entre ambos. O desempenho de espécies florestais é fortemente influenciado pelas características do sítio; pequenas variações entre áreas contíguas provocam grandes variações de respostas no crescimento das árvores (Davide & Faria, 1994). A qualidade do sítio pode ser expressa pelos indicadores de crescimento da planta, os quais representam uma expressão integrada de todas as influências biológicas e ambientais sobre o desenvolvimento da espécie.

O crescimento das plantas pode ser definido como o aumento das dimensões (diâmetro, altura, área basal, volume, biomassa e outros) de uma ou mais árvores, em um dado período de tempo. O crescimento das árvores depende de fatores como disponibilidade de recursos ambientais (luz, água e nutrientes) e espaço físico, tamanho e constituição genética da árvore, bem como sua história de desenvolvimento. Cada um deles pode afetar, sozinho ou em conjunto, a vegetação (Poorter & Bongers, 1993).

Para que se possa estudar o maior número de espécies arbóreas potenciais para reflorestamentos, é necessário que os experimentos envolvam diferentes ecossistemas. Somente assim torna-se possível testar um maior

número de espécies e estudar seu comportamento e características silviculturais dentro de vários sítios existentes (Carvalho, 1982).

2.3.1 Resistência do solo à penetração

A superfície do solo pode ter sua estrutura modificada pela formação de uma camada delgada, com espessura variável de poucos milímetros a poucos centímetros que, quando seca, torna-se mais dura, compacta e quebradiça do que o material imediatamente abaixo dela. Esta modificação recebe o nome de encrostamento ou adensamento (Santos, 2000).

Em um perfil de solo, podem aparecer camadas adensadas, nas quais a compactação deve-se aos processos pedogenéticos, isto é, de derivação genética e que resultam de uma ação lenta e contínua, formando-se, ao final, horizontes de impedimentos à penetração de raízes e água, não ocorrendo a influência direta do homem. O termo camada compactada é reservado para situações em que a redução no volume é decorrente do manejo do solo (Grohmann, 1975).

Estudos sobre a morfologia desta camada superficial adensada têm sugerido que sua formação está diretamente relacionada à ausência de estrutura do material, aos ciclos de umedecimento e secagem e ou à deposição e rearranjo de partículas em suspensão na superfície do solo. A importância do estudo deste processo é que, uma vez formada a crosta, a superfície do solo torna-se menos permeável, com diminuição da infiltração de água e conseqüente aumento do escoamento superficial. Além disso, a formação de crosta poderá impedir o desenvolvimento vegetal (Oliveira et al., 1996).

As raízes das plantas, para que possam se movimentar e crescer entre as partículas do solo, precisam desenvolver forças capazes de vencer a resistência do solo à penetração. É possível que esta resistência exceda a capacidade da planta, restringindo parcialmente ou totalmente o crescimento de suas raízes, causando alterações no seu metabolismo (Silva Júnior, 2001).

Diversos trabalhos comprovam que o encrostamento superficial desencadeia uma série de danos, tais como: aumento da densidade natural do solo, decréscimo no volume de macroporos e velocidade de infiltração, diminuição do movimento interno de água e da adsorção de nutrientes, aumento interno de água, diminuição da aeração e aumento da resistência mecânica do solo ao crescimento das raízes (Seixas, 1988).

De acordo com o mesmo autor, a densidade do solo é uma propriedade física que reflete o arranjo das partículas. Assim, todas as modificações na disposição das partículas, bem como no adensamento, refletirão diretamente nos valores de densidade. A densidade correlaciona-se diretamente com a permeabilidade do solo à água e, como tal, constitui-se em importante indicativo da capacidade de armazenamento de água para as plantas. Pritchett & Fisher (1987) ressaltam que não há fator isolado que seja inteiramente responsável por prejudicar o crescimento vegetal em solos com altas densidades. Para este autor, o crescimento radicular pode ser restrito pela resistência mecânica, baixo suprimento de oxigênio e por altas concentrações de CO₂ ou outros gases, resultados da aeração deficiente.

Segundo Pedrotti et al. (2001), quando a raiz encontra uma zona de impedimento, esta emite sinais hormonais à parte aérea que interrompe seu crescimento. Assim, inicia-se a brotação excessiva de raízes laterais que se mantêm confinadas em um pequeno volume de solo, ficando as plantas sujeitas à subnutrição, ao tombamento e ao déficit hídrico.

O microclima do solo pode ser definido como uma complexa interação de elementos e fatores que caracterizam o seu estado. Dentre estes elementos destacam-se a temperatura, a umidade, a aeração e a permeabilidade à água; destes, a temperatura e a umidade têm sido os mais estudados. As diferentes condições de cobertura do solo, tais como vegetação morta ou solo nu, entre outras, são fatores predominantes (Wilk, 1965 citado por Sandanielo, 1983).

A superfície do solo, ao absorver parte da energia latente radiante durante o dia, é aquecida mais rapidamente que a camada atmosférica circundante, podendo alcançar diferenças consideráveis. A energia térmica da superfície pode tomar dois rumos: ser transferida para as camadas mais profundas do solo ou, como a condutividade do ar é muito inferior a dos sólidos ou da água, um solo seco, poroso, contendo ar, torna-se um mal condutor, sofrendo apenas um rápido aquecimento superficial. Portanto, a temperatura do solo está condicionada a diversos fatores, tais como: composição mineralógica, textura, estrutura, conteúdo de ar, água e matéria orgânica (Meguro, 1994).

A temperatura e o regime térmico do solo dependem da sua cobertura superficial, da vegetação ou resíduos, e do conteúdo de água, além da intensidade e duração da radiação solar (Hillel, 1998). Como a água possui um calor específico maior do que o solo, quanto mais água um solo tiver, menor será o aumento de temperatura para uma dada quantidade de radiação latente (Reichardt, 1987).

De acordo com o mesmo autor, a fração gasosa do solo é constituída pelo ar do solo ou "atmosfera" do solo. Sua composição química é semelhante à da atmosfera livre acima da superfície. No solo, a atmosfera difere principalmente no teor de O_2 (mais baixo) e CO_2 (mais alto), devido às atividades metabólicas do sistema radicular e dos microrganismos. Assim, sob condições de drenagem pobre, aparecem deficiências de O_2 que causam uma redução das atividades metabólicas do sistema radicular e, como consequência, ele não se desenvolve adequadamente. Tais condições resultam, normalmente, na redução do crescimento radicular e, eventualmente, na mortalidade das raízes (Pritchett & Fisher, 1987).

A atividade microbiana do solo é bastante afetada pelas condições de aeração. Em condições de oxigenação ou aeróbicas, ocorrem processos de *mineralização* que desdobram a matéria orgânica em nutrientes, principalmente

nitrogênio e fósforo. Em condições de redução ou anaeróbicas, a matéria orgânica é reduzida, havendo imobilização de nitrogênio. Microrganismos vão se utilizar de NO_3 como fonte de oxigênio e, com isso, ele é reduzido a N_2 , sendo este processo denominado desnitrificação (Reichardt, 1987).

De acordo com o mesmo autor, a água é retida no solo, isto é, em seus poros, devido aos fenômenos de capilaridade e adsorção. A capilaridade está ligada à afinidade entre partículas sólidas do solo e a água, havendo, porém, a necessidade de interfaces água-ar. Estas interfaces, chamadas meniscos, apresentam uma curvatura que é tanto maior quanto menor o poro. A curvatura determina o estado de energia da água e, por isso, diz-se que quanto menor o poro, mais retida se encontra a água. Assim, para esvaziar um poro grande, precisa-se aplicar menos energia do que para esvaziar um menor. Como o solo possui uma variedade imensa de poros, em forma e “diâmetro”, quando se aplica uma dada energia ao solo, esvaziam-se inicialmente os poros maiores; aumentando-se a energia aplicada, esvaziam-se cada vez poros menores.

A capilaridade atua na retenção de água dos solos na faixa úmida. Quando um solo seca, seus poros vão se esvaziando e filmes de água recobrem as partículas sólidas. Nestas condições, o fenômeno da adsorção passa a dominar a retenção de água. A energia de retenção da água nestas condições é muito maior ainda e, por isso, grandes quantidades de energia são requeridas para se retirar esta água do solo (Reichardt, 1990).

A água move-se no solo quando existem diferenças de potencial total nos diferentes pontos do sistema, movimentando-se de pontos de maior potencial para os de menor. O movimento depende de inúmeros fatores, tais como umidade, textura, porosidade, densidade do solo e declividade do terreno (Ferreira & Dias Júnior, 1997).

De acordo com os mesmos autores, o reservatório da água é o solo que temporariamente a armazena, podendo fornecê-la às plantas à medida de suas

necessidades. Como a recarga natural deste reservatório é descontínua, o volume disponível às plantas é variável. Quando as chuvas são excessivas, sua capacidade de armazenamento é superada e grandes perdas podem ocorrer. Estas perdas podem ser por escoamento superficial, provocando ainda a erosão ou por percolação profunda, indo se perder no lençol freático. Esta água percolada é perdida do ponto de vista da planta, mas é ganha do ponto de vista dos aquíferos subterrâneos.

2.4 Descrição das espécies selecionadas para estudos

2.4.1 *Acacia mangium* Willd.

Sinonímia botânica: não encontrada.

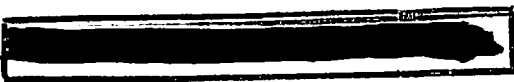
Nomes populares: acácia, acácia-negra.

Espécie pioneira arbórea da família Leguminosae, de rápido crescimento e exótica. Os indivíduos desta espécie alcançam de 25 a 30m de altura, com o diâmetro raramente ultrapassando os 50cm (Turnbull, 1984).

Originária da região que abrange Nova Guiné, Indonésia e Austrália, cresce em solos ácidos e com teor de fósforo muito baixo. Normalmente ocorre em áreas de baixa altitude (inferiores a 100m); também ocorre em altitudes de até 720m (NRC, 1983).

Essa espécie pode ser encontrada associada às margens de mangues, pântanos, riachos ou sítios méxicos, vindo a sofrer descontinuidade no crescimento quando submetida a períodos de estiagem prolongada, conforme NRC (1983). Já segundo Embrapa (2004), a espécie não tolera solos mal drenados, hidromórficos ou muito úmidos e apresenta desenvolvimento reduzido em solos muito ácidos e de baixa fertilidade.

Esta espécie apresenta grande potencial para aportar matéria orgânica, nitrogênio e bases trocáveis no solo, além de produzir serrapilheira de baixa relação C/N (Dias et al., 1994), influenciando de forma positiva na manutenção



da atividade biológica e na ciclagem de nutrientes em solos degradados. Os valores expressivamente altos de serrapilheira que esta espécie pode depositar no solo permitem a formação de reservatório de matéria orgânica e nutrientes, essenciais para o processo de revegetação (De Souza & Silva, 1996). É destaque como exemplo de leguminosa fixadora de nitrogênio, respondendo bem à micorrização, com tolerância à solos ácidos e litólicos, com potencialidade para a recuperação de áreas degradadas. No Brasil, além do uso na recuperação de áreas, vem sendo plantada, principalmente, com a finalidade de produção de tanino e energia (Franco et al., 1992).

2.4.2 *Inga uruguensis* Hook. & Arn.

Sinonímia botânica: não encontrada.

Nomes populares: ingá-do-brejo, ingá-de-quatro-quinas, ingá-banana, ingá, angá.

Espécie da família Leguminosae, são plantas de 5 a 28m de altura e diâmetro do tronco podendo atingir 70cm. Ocorrem no Brasil, Uruguai, Paraguai e nordeste da Argentina (Figliolia, 1993; Lorenzi, 1992; 2000).

Como planta semidecídua e pioneira adaptada a solos úmidos, apresentando nítida preferência por solos bastante úmidos e até brejosos, é considerada ótima para plantios mistos em áreas ciliares degradadas. Pode ser aproveitada para paisagismo, uma vez que cresce normalmente em terrenos enxutos (Lorenzi, 2000). Segundo Software (2004), a madeira é utilizada para embalagem, construção civil e objetos leves. Os frutos são comestíveis e muito procurados por animais.

É uma espécie que cresce rapidamente, embora apresente um baixo índice para o formato do fuste, com bifurcação baixa e múltiplas gemas e ramos laterais (González & Fisher, 1994). As sementes, em número de 2 a 13 por fruto,

são disseminadas pelos cursos d'água, aves e outros animais, e sua viabilidade não ultrapassa quinze dias em condições naturais (Barbedo & Bilia, 1994).

2.4.3 *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassm.

Sinonímia botânica: *Arecastrum romanzoffianum* (Cham.) Becc., *Cocos romanzoffiana* Cham., *Cocos romanzoffiana* var. *Plumosa* Berg, *Arecastrum romanzoffianum* var. *genuinum* Becc., *Cocus plumosa* Hook.

Nomes populares: jerivá, coqueiro-gerivá, coqueiro, coco-de-cachorro, baba-de-boi, coco-catarro, licuri.

Espécie da família Palmae, são plantas que atingem de 10 a 20m de altura, com estipe de 30 a 40cm de diâmetro. As folhas atingem 3m de comprimento. Ocorre no Espírito Santo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Goiás e Mato Grosso do Sul até o Rio Grande do Sul. Existem variações morfológicas desta espécie, dependendo da região de ocorrência (Lorenzi, 2000).

De acordo com Tiete (2004), esta espécie ocorre em várias formações florestais, freqüentemente nas matas em processo de regeneração, bordas e clareiras, em solos que variam de secos até úmidos, inundáveis ou brejosos. Nos primeiros anos, o desenvolvimento das plantas é lento, passando em seguida a moderado. As flores são extremamente melíferas e os frutos muito apreciados pelo homem e consumidos pela fauna silvestre.

Planta perenifólia e, por ser freqüentemente encontrada nas capoeiras e áreas recém-abandonadas, trata-se de uma espécie pioneira. Por ser altamente decorativa, é a palmeira mais empregada na arborização urbana em todo o país (Lorenzi, 1992).

2.4.4 *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC.

Sinonímia botânica: *Myrtus cuminii* L., *Eugenia jambolana* Lam., *Syzygium cuminii* (L.) Skeels.

Nomes populares: jambolão, jamelão, jalão, jambuí, oliva, oliveira.

Espécie climax exigente de luz, pertencente à família Myrtaceae, exótica, mas de ampla dispersão por todo Brasil. Originária da Ásia, é amplamente difundida pelo cultivo nas regiões tropicais, inclusive nas margens de cursos d'água (ESALQ, 2004).

Pio Corrêa (1984) a descreve como sendo uma árvore de grande porte, com valor social e ecológico muito grande, uma vez que seus frutos são comestíveis, agradáveis ao paladar, tornando-se um importante complemento alimentar para as famílias carentes e bastante procurada pela avi-fauna.

Árvore com cerca de 15m de altura, apresentando copa com folhagem abundante, ramos de coloração acinzentada-claro, com fissuras escuras e cicatrizes foliares bastante aparentes. Inflorescência com flores numerosas, pequenas, de coloração creme, hermafroditas. Frutos numerosos, carnosos, negro-arroxeados, de 2 a 3cm de comprimento, que possuem uma única semente. Considerada de potencial medicinal, o pó das sementes é empregado no tratamento da diabetes, com as mesmas propriedades da insulina, enquanto que a cinza da casca, misturado com óleo, é usada para curar queimaduras. Sua casca é empregada também no tratamento de disenteria. É muito cultivada como planta ornamental, além da madeira ser utilizada para fabricação de remos e obras internas (Pio Corrêa, 1984; ESALQ, 2004).

2.4.5 *Tapirira guianensis* Aubl.

Sinonímia botânica: *Tapirira myriantha* Triana et Planch.

Nomes populares: peito-de-pombo, camboatá, tapiriri, tapirirá, copiúva, guapiruba, cedrói, aroeirana, fruta-de-pombo, tatapiririca, cupiúva, pau-pombo, cedrói, jobo, bom-nome, fruto-de-pombo, cedro-novo.

Espécie pertencente à família Anarcadiaceae, com altura variando entre 8 e 14m, tronco curto de 40 a 60cm de diâmetro. Ocorre em todo território

nacional, principalmente em terrenos úmidos, em quase todas as formações vegetais. Árvore perenifólia, pioneira, característica da floresta ombrófila de planície. Embora possa ser encontrada amplamente também em ambientes secos de encostas, é na várzea úmida que apresenta seu maior desenvolvimento (Corrêa, 1984; Lorenzi, 2000).

A madeira é leve, macia ao corte, de baixa resistência ao ataque de xilófagos, sendo empregada na confecção de brinquedos, compensados, caixotaria leve, cabos de vassoura etc. A árvore pode ser empregada em reflorestamentos heterogêneos de áreas degradadas, principalmente em locais úmidos, graças à tolerância a este ambiente e à produção de frutos altamente procurados pela fauna em geral (Lorenzi, 1992; 2000). A espécie produz um óleo aromático com cheiro de limão (Corrêa, 1984).

3.1 Localização e características da área de estudo

A voçoroca em estudo localiza-se no município de Nazareno, MG (Figura 01), situado entre 21°14'37" e 21°15'50" de latitude sul, 44°29'28" e 44°30'59" de longitude oeste, entre as altitudes de 960 e 1060 metros, abrangendo uma área de 323,5 km² na parte sul da região central de Minas Gerais, pertence à bacia hidrográfica do rio Grande.

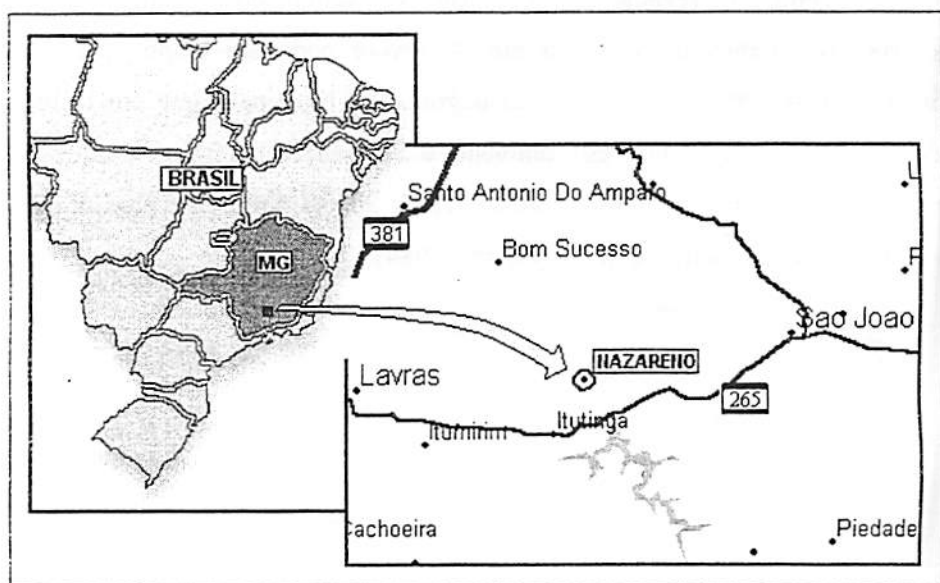


FIGURA 1 Localização geográfica do município de Nazareno, MG.

O clima é o Cwa (tropical de altitude) de Köppen (1948), com os solos, exceto os das várzeas, sujeitos aos regimes údicos e isotérmicos (Giarola, 1994).

O tipo de vegetação dominante é de transição entre a Mata Atlântica e o cerrado tropical subcaducifólio. Há também campo surgente no terço inferior das encostas, campo cerrado tropical nos locais de domínio de solos mais rasos e o campo hidrófilo de várzeas nas baixadas (Motta et al., 2001).

De acordo com os mesmos autores, os principais solos da sub-bacia do rio Grande são os Cambissolos, Latossolos Vermelho-Amarelo, Latossolos Vermelho, afloramento de rochas, solos Neossolos Litólicos e solos Hidromórficos. As áreas de dominância de Latossolos estão concentradas na porção setentrional, ao passo que os Cambissolos dominam amplamente no restante da sub-bacia. Há registro de inclusões de Latossolos na área de dominância de Cambissolos, o que tem grande importância, pois são nestas áreas que se encontram a maioria das culturas anuais.

3.1.1 Caracterização da voçoroca em estudo

A voçoroca utilizada neste estudo (Figuras 2 e 3) pertence ao grupo das ativas e está localizada a cerca de 200m a leste da cidade de Nazareno. Possui forma oval e suas dimensões máximas são 400m de comprimento, 130m de largura, 864m de perímetro e 20m de profundidade, perfazendo uma área de aproximadamente 3,2 ha.

A ocupação da sua área de contribuição é composta por um plantio de café, cerrado em regeneração natural e por uma estrada rural sem pavimentação, que já mudou algumas vezes de traçado devido ao avanço da erosão. A voçoroca contribui ainda para o assoreamento do córrego do Cravo, que recebe grande parte do esgoto da sede municipal. O uso anterior da voçoroca consistiu em depósitos de lixo domiciliar, de entulhos da construção civil e resíduos de matadouros.

Segundo relato de moradores locais, a origem da voçoroca está associada à mineração de ouro ocorrida nos séculos XVIII e XIX. Dessa forma, ela evoluiu do terço médio da encosta para os terços superior e inferior, devido aos desabamentos provocados pela concentração de enxurrada proveniente de rampas de comprimentos longos, declives acentuados e da estrada situada na sua

área de contribuição, que fazia seu depósito final de águas de enxurradas no interior da voçoroca.

O solo é variável, apresentando-se em camadas bem diferenciadas, e a encosta mostra uma variação de Latossolo Vermelho Distrófico Típico (LVEd), passando para Latossolo Vermelho-Amarelo Distrófico Típico (LVd) quando se aproxima da parte baixa da encosta em que está inserida a voçoroca. Nos perfis dos solos encontrados nos taludes ao longo da encosta, observa-se uma espessura do solum variando de aproximadamente 0,7 a 2,0m de profundidade e diminuindo na parte inferior da encosta (Ferreira et al., 2003).

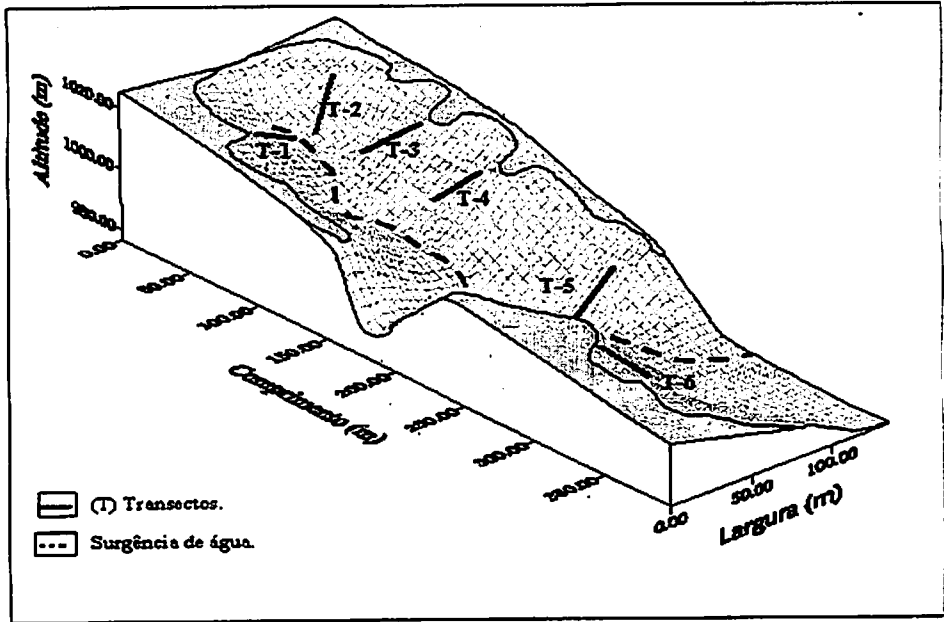


FIGURA 2 Mapa planialtimétrico da voçoroca em estudo, localização das áreas utilizadas para estudos e surgência de água.

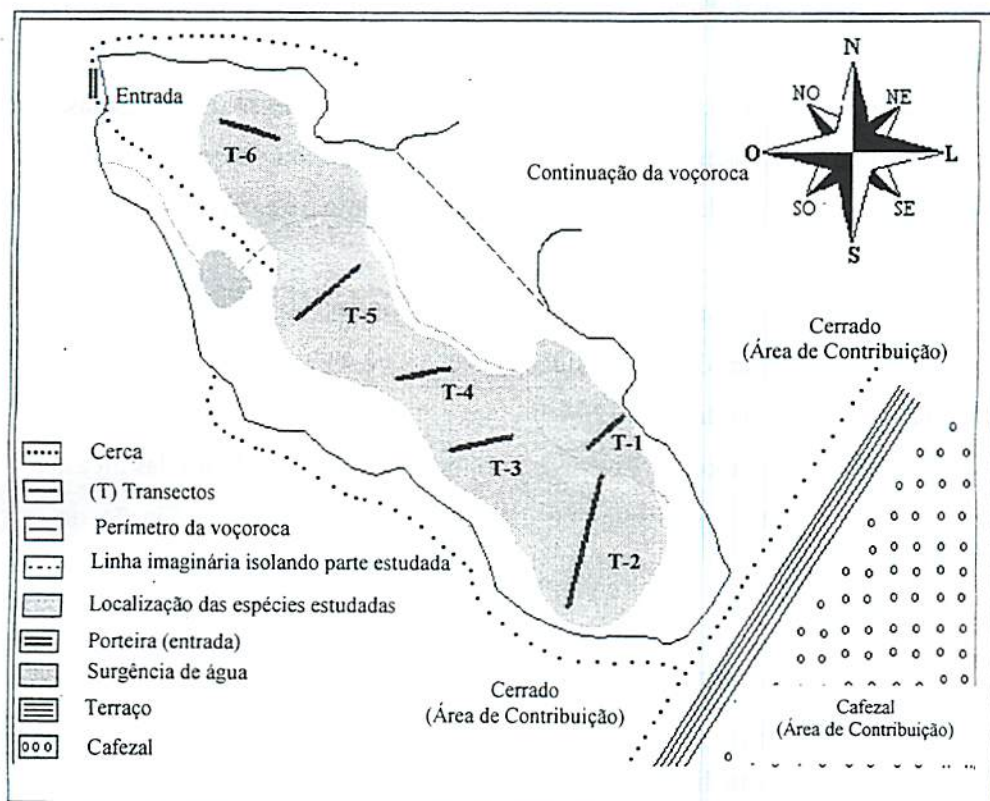


FIGURA 3 Croqui detalhado da voçoroca em estudo, enfatizando a localização das áreas analisadas e situação da área de contribuição.

3.2 Seleção das espécies e áreas de estudo

Visando estabilizar o processo erosivo na voçoroca em estudo foram utilizadas dezenas de espécies vegetais de várias origens, grupos ecológicos, plantadas aleatoriamente nos diversos sítios existentes. Destas espécies, foram analisadas as que apresentavam quantidade suficiente de indivíduos para aplicação de análises estatísticas e distribuição uniforme nos diversos sítios existentes na voçoroca.

As espécies selecionadas foram: *Acacia mangium* Willd. (acácia), *Inga uruguensis* Hook. & Arn. (ingá), *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassm.

(jerivá), *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC. (jambolão) e *Tapirira guianensis* Aubl. (peito de pombo).

A partir da seleção das espécies, realizou-se o censo das mesmas, quantificando os indivíduos. Definiram-se então a distribuição espacial das mesmas, com o objetivo de selecionar as áreas de estudo para caracterização dos sítios.

Foram selecionadas seis áreas de estudo (Figuras 02 e 03) e, a partir daí, obtidos os valores de umidade no talude de cada área em quatro pontos: baixada úmida, terço inferior, médio e superior.

Nesse sentido, após obtidos os valores de umidade dos taludes das áreas, foram definidos os três gradientes de estudo, para cada área, em função da umidade, seguindo:

- gradiente inferior = $(\text{umidade da baixada úmida} + \text{umidade do terço inferior})/2$;
- gradiente médio = umidade do terço médio;
- gradiente superior = umidade do terço superior.

3.3 Preparo do solo e plantio das espécies avaliadas

O plantio das mudas foi efetuado em 2002, manualmente, utilizando covas de 0,30 x 0,30 x 0,30m, sem uma padronização exata de espaçamento, devido às características desuniformes da área.

Efetuuou-se adubação de plantio, aplicando-se 20 litros de composto orgânico por cova e 150g de fertilizante NPK 4-14-8, além da adubação de cobertura, na qual utilizaram-se 10 litros de esterco bovino por cova.

Nos locais desnudos, o coveamento foi realizado diretamente, sem tratamento de limpeza do terreno e, nos locais com vegetação, foram realizadas roçadas manuais com foices, seguidas de capinas e coveamento.

3.4 Monitoramento do crescimento das espécies

O acompanhamento do desenvolvimento das espécies foi executado por meio das medidas de altura total das plantas, circunferência do caule à altura do solo e área da copa.

Os instrumentos utilizados para a medição foram:

- vara telescópica para a obtenção da altura e área da copa, realizando nesta duas medidas ortogonais, sendo uma no maior diâmetro da copa (a) e a outra perpendicular a esta (b), sendo posteriormente convertida por meio da fórmula da elipse ($AC = a \times b \times \pi / 4$) para área da copa;
- fita métrica para medição da circunferência do caule à altura do solo.

Foram realizadas quatro medições: aos 20, 25, 28 e 31 meses de idade, respectivamente nos meses de novembro de 2003, abril, julho e outubro de 2004, totalizando doze meses de monitoramento.

3.5 Análise das características do solo

3.5.1 Umidade e temperatura do solo

Para determinação da umidade, foram alocados transectos (Figuras 02 e 03) nos taludes das seis áreas selecionadas para o estudo. Para cada área, foram coletadas quatro amostras de solo em recipientes de alumínio, localizadas na baixada úmida, terço inferior, médio e superior, a cerca de 20cm de profundidade, com auxílio do trado holandês. Após a coleta, as amostras foram vedadas com fita crepe.

Utilizou-se o Método Padrão de Estufa (gravimétrico) para determinação da umidade, o qual consiste, basicamente, em retirar a água do solo, colocando-o

em uma estufa a 100-105°C por no mínimo 24 horas, conforme descrito por Gardner (1986). As análises de umidade foram realizadas durante doze meses, a partir de dezembro de 2003, sempre na terceira semana de cada mês e no período da manhã.

Para a obtenção da temperatura do solo (Jackson & Taylor, 1986) utilizou-se o termômetro de solo com bulbo de mercúrio, inserindo o bulbo a cerca de 5cm de profundidade, próximo aos locais onde foram extraídas as amostras de umidade, no mesmo período, obtendo-se três temperaturas por área (gradiente inferior, médio e superior), mensalmente. As temperaturas foram obtidas de maio até novembro de 2004, totalizando sete repetições.

3.5.2 Análise físico-química do solo

Visando realizar a análise físico-química, as seis áreas estudadas no interior da voçoroca foram estratificadas da seguinte forma: gradiente inferior, médio, superior e, ainda, área de contribuição.

Nesse sentido, a textura, as propriedades químicas e os teores de matéria orgânica dos solos foram obtidos em cada uma das áreas de estudo de quatro amostras (gradiente inferior, médio, superior e área de contribuição), sendo cada amostra composta por seis repetições. O solo para análise foi retirado a cerca de 20cm de profundidade, com auxílio de trado holandês.

As análises físico-químicas foram efetuadas de acordo com procedimentos recomendados pela Embrapa (1979).

3.5.2.1 Resistência do solo à penetração

A resistência mecânica do solo à penetração foi determinada em setembro de 2004, utilizando-se o penetrômetro de impacto modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF, segundo metodologia preconizada por Stolf et al. (1983).

Em cada área de estudo, foi avaliada a resistência em dezesseis pontos amostrais, sendo quatro no gradiente inferior, quatro no médio e quatro no superior, equidistantes, de acordo com o tamanho de cada uma das áreas, totalizando 74 pontos amostrados no interior da voçoroca, em profundidades que variaram de 0 a 60cm.

Com a finalidade de obter a tendência de umidade na profundidade de utilização do penetrômetro, realizou-se a caracterização da mesma, concomitantemente à aplicação do penetrômetro nos solos, retirando-se uma amostra em cada gradiente (inferior, médio e superior), para cada uma das áreas de estudo, acompanhando os transectos alocados, nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60cm.

Os cálculos foram realizados com o apoio do programa computacional “PENETRON” (Stolf, 1991), tendo os valores obtidos em kgf cm^{-2} sido multiplicados pela constante 0,098 para transformação em unidades MPa.

3.6 Análise estatística dos dados

As inter-relações entre as áreas estudadas e os seus respectivos parâmetros ambientais foram avaliadas pela Análise de Componentes Principais (PCA). Esta análise multivariada é destinada principalmente para ordenar variáveis ambientais. Para isso, utilizou-se o programa Pc-Ord for Windows versão 4.0 (McCune & Mefford, 1999).

Para o ajuste dos modelos de regressão, confecção dos gráficos com respectivos crescimentos em cada gradiente e realização das análises do “teste de t” para o crescimento da circunferência do caule à altura do solo no período, utilizou-se o software estatístico “R”, sendo este uma versão semelhante e gratuita (www.r-project.org) do S-Plus.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das variáveis ambientais

4.1.1 Características químicas e matéria orgânica

Na Tabela 1 encontram-se os valores de pH em água, matéria orgânica e componentes do complexo sortivo, correspondentes a cada gradiente, nas seis áreas em estudo.

TABELA 1 Análises químicas e matéria orgânica para as amostras de solos correspondentes aos gradientes das áreas em estudo.

Áreas	Gradientes	pH	MO	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	H+Al	Al ³⁺	S	T	V	m
			g kg ⁻¹	mg dm ⁻³	cmol _c dm ⁻³						%		
I	GI	5,7	3	0,9	14	0,8	0,2	1,5	0,4	1,0	2,5	40,9	28
	GM	5,9	2	0,6	08	0,6	0,2	1,9	0,7	0,8	2,7	30,1	46
	GS	6,0	5	0,6	06	0,7	0,2	1,5	0,5	0,9	2,4	38,0	35
	AC	5,3	16	0,4	19	0,8	0,2	5,0	0,5	1,1	6,1	17,4	32
II	GI	6,0	9	0,4	13	0,8	0,2	1,9	0,3	1,0	2,9	35,2	23
	GM	5,3	10	0,6	16	0,8	0,2	2,3	0,0	1,0	3,3	31,1	00
	GS	5,8	6	0,4	13	0,6	0,2	2,6	0,2	0,8	3,4	24,2	19
	AC	5,2	15	0,4	36	0,6	0,2	5,0	0,5	1,0	6,0	16,2	34
III	GI	6,0	10	1,7	20	0,6	0,2	1,7	0,3	0,9	2,5	33,3	26
	GM	5,9	10	0,6	19	0,7	0,2	3,2	1,1	1,0	4,2	22,9	54
	GS	5,6	10	6,2	13	0,8	0,2	2,3	0,4	1,0	3,3	30,9	28
	AC	5,4	13	0,4	17	0,7	0,2	3,6	0,2	0,9	4,5	20,7	18
IV	GI	5,4	10	0,9	30	0,8	0,2	2,6	0,7	1,1	3,7	29,3	39
	GM	5,3	14	0,6	31	0,8	0,2	4,5	0,7	1,1	5,6	19,4	39
	GS	5,3	10	11,5	25	0,8	0,2	2,9	0,4	1,1	4,0	26,8	27
	AC	5,3	14	0,4	19	0,8	0,2	3,6	0,3	1,1	4,7	22,6	22
V	GI	5,9	6	0,9	23	0,7	0,2	1,7	0,4	1,0	2,7	36,1	29
	GM	4,9	8	1,7	19	0,7	0,2	2,3	1,1	1,0	3,3	29,2	54
	GS	5,1	8	2,3	17	0,7	0,2	2,1	0,8	0,9	3,0	30,9	46
	AC	5,1	13	0,6	20	0,7	0,2	5,0	0,6	1,0	6,0	16,0	39
VI	GI	5,7	6	0,4	14	0,5	0,2	1,5	0,5	0,7	2,2	33,0	40
	GM	5,7	6	1,4	19	1,1	0,5	1,7	0,3	1,7	3,4	49,3	15
	GS	5,5	4	0,1	14	0,8	0,2	2,1	0,9	1,0	3,1	33,1	46
	AC	5,1	11	0,4	20	0,7	0,2	4,5	0,9	1,0	5,5	17,4	49

MO: matéria orgânica; H+Al: acidez trocável; S: soma de bases trocáveis; T: capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V: saturação por bases; m: saturação por Al³⁺; GI: gradiente inferior; GM: gradiente médio; GS: gradiente superior; AC: área de contribuição.

As características químicas (Tabela 1) indicaram acidez média (CFSEMG, 1989), acompanhando os padrões dos solos do cerrado brasileiro que apresentam pH variando entre 4,0 e 7,5 (Lopes et al., 1991). A toxidez por Al^{3+} , no geral, apresentou-se média, porém, com alterações em alguns gradientes. Os níveis de P, K, Ca e Mg foram considerados baixos, apresentando como resultado uma soma de bases (S) baixa (CFSEMG, 1989). Estes resultados são semelhantes aos encontrados por Farias (1992), quando analisou três voçorocas no distrito de Cachoeira do Campo, MG.

De modo geral, as áreas de estudos apresentaram baixos teores de matéria orgânica (CFSEMG, 1989), havendo tendência de aumento na área de contribuição dos seis locais analisados na voçoroca. Os baixos teores encontrados nos gradientes inferiores da voçoroca, em média $7g\ kg^{-1}$, são indícios de que o processo de arraste de material está bastante ativo.

O déficit hídrico e a deficiência de nutrientes limitam o desenvolvimento de microrganismos decompositores da matéria orgânica (Curi & Santana, 1988) e, de acordo com Farias (1992), da vegetação de porte arbustivo e arbóreo, reduzindo o aporte de matéria orgânica, o que pode explicar os baixos valores encontrados no gradiente médio e superior.

Apesar das características químicas variarem de uma área para outra e dentro da mesma área, o gradiente inferior, médio e superior apresentaram solos de baixa fertilidade, não havendo diferenças significativas entre os mesmos e para as distintas áreas estudadas no interior da voçoroca.

4.1.2 Características físicas

4.1.2.1 Textura do solo

De acordo com as análises granulométricas do solo (Tabela 2), os gradientes inferior, médio e superior foram classificados como arenosos, com exceção da área dois, que apresentou solo argiloso. A análise da área de

contribuição indicou solos argilosos para todas as áreas analisadas (Medina, 1975).

A classificação argilosa dos gradientes da área dois está relacionada à ocorrência de um deslizamento de solo proveniente da área de contribuição. Portanto, devido à deposição deste material e sendo a textura uma das características físicas mais estáveis dos solos (Ferreira & Dias Júnior, 1997), o mesmo ainda preserva classificação textural da área de contribuição, diferenciando-o das demais áreas no interior da voçoroca.

Na Figura 4, que apresenta a média textural da voçoroca em estudo, pode ser observado que quanto mais próximo do gradiente inferior, menor a quantidade de argila no solo, ocorrendo o inverso para a areia, refletindo em aumento da granulometria do solo, demonstrando que as partículas mais finas são retiradas do sistema à medida que o processo de voçorocamento intensifica-se. O silte apresentou-se em menor quantidade na área de contribuição, havendo um aumento de teor no gradiente superior. A partir deste local, ocorre um decréscimo no sentido do gradiente inferior.

TABELA 2 Análise granulométrica para as amostras de solo correspondentes a cada gradiente das áreas em estudo.

Áreas	Gradientes	Areia	Silte	Argila
		-----g kg ⁻¹ -----		
I	GI	560	320	120
	GM	340	540	120
	GS	330	560	110
	AC	270	160	570
II	GI	480	280	240
	GM	280	180	540
	GS	280	150	570
	AC	230	130	640
III	GI	590	280	130
	GM	400	440	160
	GS	400	340	260
	AC	300	150	550

Continua...

TABELA 2 Continuação.

Áreas	Gradientes	Areia	Silte	Argila
		-----g kg ⁻¹ -----		
IV	GI	520	270	210
	GM	340	280	380
	GS	290	370	340
	AC	300	160	540
V	GI	440	440	120
	GM	470	410	120
	GS	510	380	110
	AC	300	150	550
VI	GI	730	180	90
	GM	500	370	130
	GS	420	470	110
	AC	440	110	450

GI: gradiente inferior; GM: gradiente médio; GS: gradiente superior; AC área de contribuição.

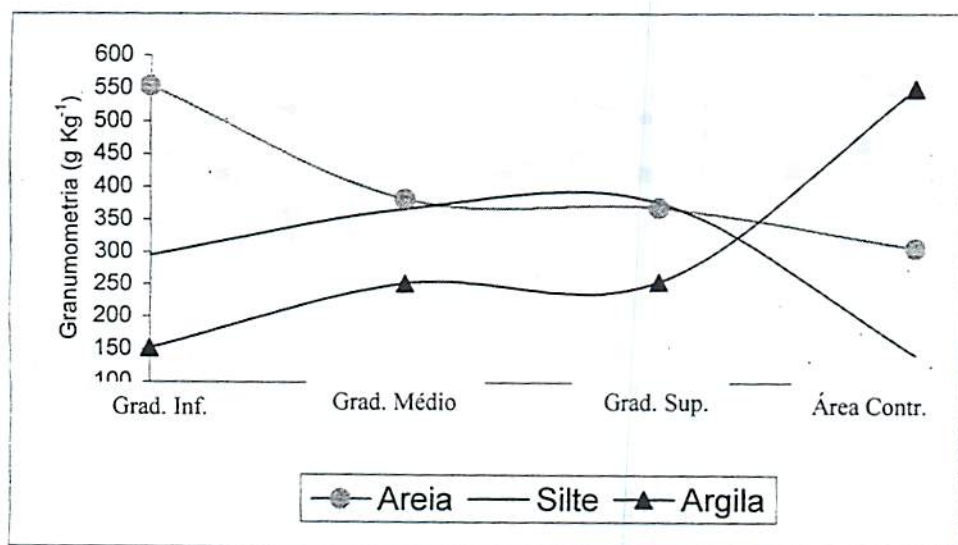


FIGURA 4 Teores médios de areia, silte e argila nos diferentes gradientes do talude da voçoroca em estudo.

Considerando que a parte mais ativa do solo e de maior importância é a integrada pelas menores partículas e que minerais argilosos e compostos orgânicos, em virtude dos seus tamanhos, áreas específicas e propriedades de superfície, atuam como agentes cimentantes entre partículas grosseiras, como

silte e areia (Guérif, 1988; Vieira et al., 1996; Bahia & Ribeiro, 1998), pode-se julgar os efeitos deste evento sobre a erodibilidade e fertilidade do solo.

4.1.2.2 Umidade e temperatura do solo

As variações médias mensais da umidade do solo nos taludes (Figura 5) mostram que o gradiente inferior apresentou maior umidade do solo (38 - 47%) no decorrer do ano, seguido dos gradientes médio (28% - 38%) e superior (17% - 36%). De acordo com Reichardt (1987), como a drenagem do solo se dá de cima para baixo (água gravitacional), espera-se que a distribuição de umidade no perfil aumente em profundidade.

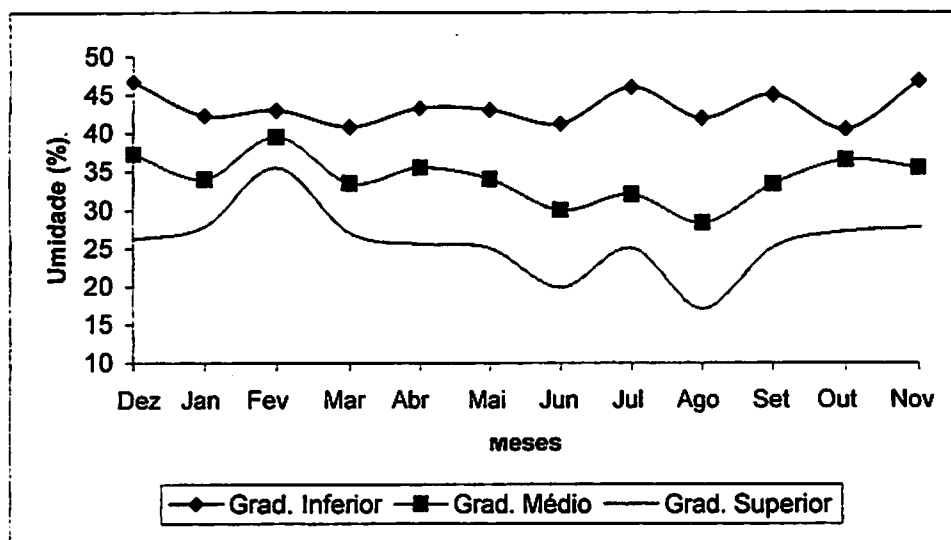


FIGURA 5 Variação média mensal da umidade do solo nos taludes dos gradientes inferior, médio e superior, durante o período do estudo na profundidade de 0-20cm.

Percebe-se também, na Figura 5, que a amplitude de variação da umidade permaneceu menor no gradiente inferior e médio, variando aproximadamente 10% durante o ano. Este fato não ocorreu no gradiente

superior, em que houve uma amplitude próxima de 20%, com reflexo maior para o desenvolvimento de plantas neste ambiente por ocasião do período seco (Figura 6), ocorrido de abril a setembro, dificultando ainda mais a revegetação neste local.

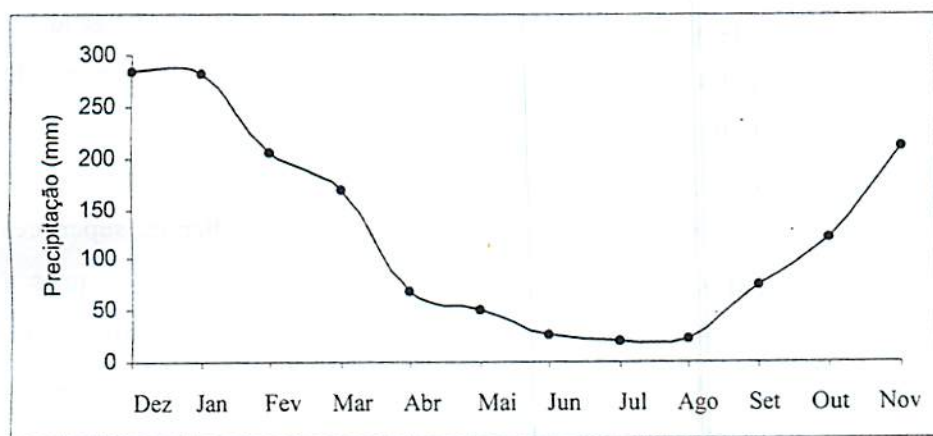


FIGURA 6 Série histórica mensal dos últimos dez anos da precipitação na região da área de estudo. FONTE: INPE (2005).

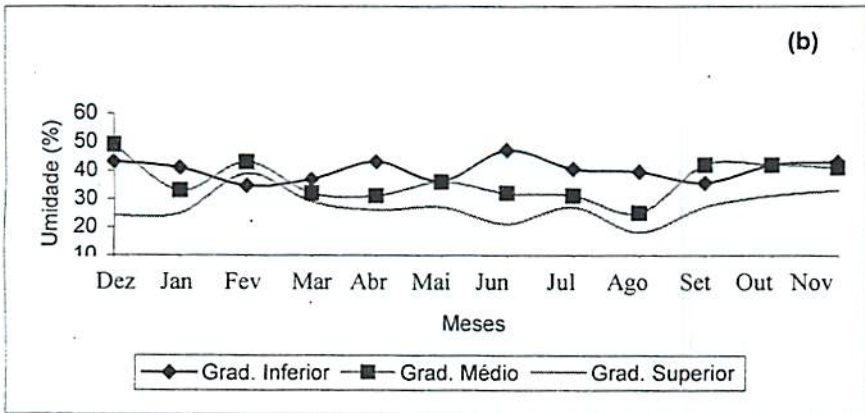
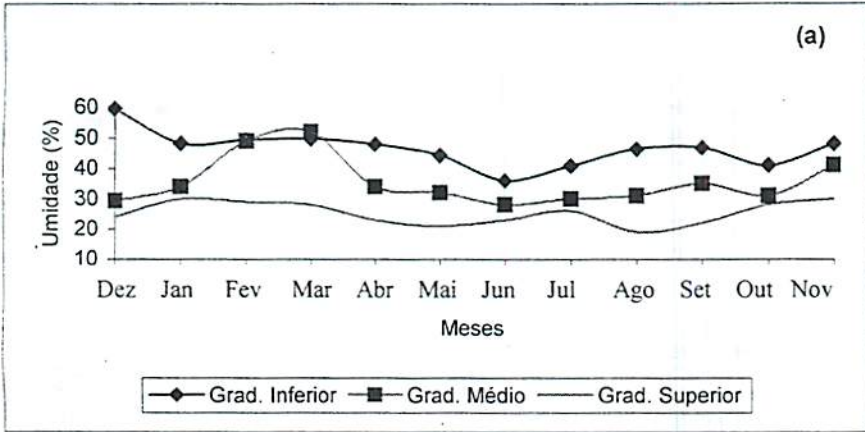
Quando compara-se a umidade do solo nas áreas separadamente (Figuras 7 e 8), percebe-se que em alguns meses houve inversão de umidade entre os gradientes, ou seja, gradientes médios apresentaram umidades maiores que os inferiores. Este fato pode estar relacionado à surgência de água na parede dos taludes, devido a chuvas que antecederam a época da coleta das amostras de umidade.

A água retida pelo solo depende, principalmente, da quantidade e natureza da fração argila e do teor de matéria orgânica (Ranzani, 1971). Reichardt (1987) ressalta, ainda, que a velocidade de drenagem depende da condutividade hidráulica do solo que, em geral, é rápida para solos arenosos e lenta para solos argilosos. Portanto, observando-se a constituição granulométrica (Tabela 2) dos taludes, percebe-se o aumento no teor de argila no sentido

gradiente inferior até o superior, o que contribui para a dificuldade de drenagem dos gradientes mais argilosos em relação aos menos argilosos, permanecendo estes úmidos por maior período após a ocorrência de chuvas.

Outro fato relevante é a amplitude da umidade constatada nos taludes quando observados separadamente, como pode ser exemplificado pela área três (Figura 7c), na qual a umidade variou entre 12% e 60%, enfatizando a necessidade criteriosa da seleção de espécies por ocasião do planejamento de plantio para áreas de voçorocas. A seleção de espécies adequadas para cada local, conforme as exigências, reduzirá a mortalidade das plantas.

As menores umidades foram constatadas nos gradientes superiores (Figura 5) e na área de estudo seis (11% - 38%) (Figura 8c), nos quais a vegetação encontra-se em menor quantidade dentre as localidades analisadas no interior da voçoroca. Estes resultados concordam com os estudos desenvolvidos por Bragagnolo & Mielniczuk (1990) que, trabalhando com culturas agrícolas, encontraram, na região da Depressão Central do Rio Grande do Sul, valores na evaporação da água do solo de $2,64 \text{ mm dia}^{-1}$ em solo descoberto, e de $1,22 \text{ mm dia}^{-1}$ em solo coberto. Como consequência da menor evaporação, os autores verificaram que o solo coberto apresentou sempre maior umidade volumétrica do que o solo descoberto.



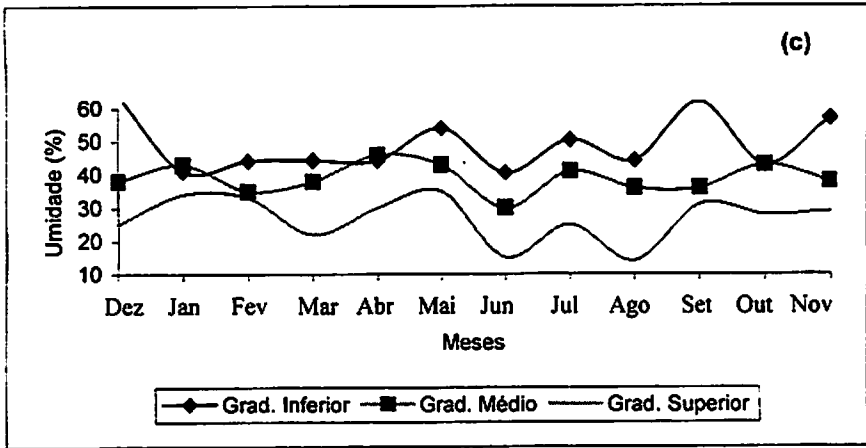
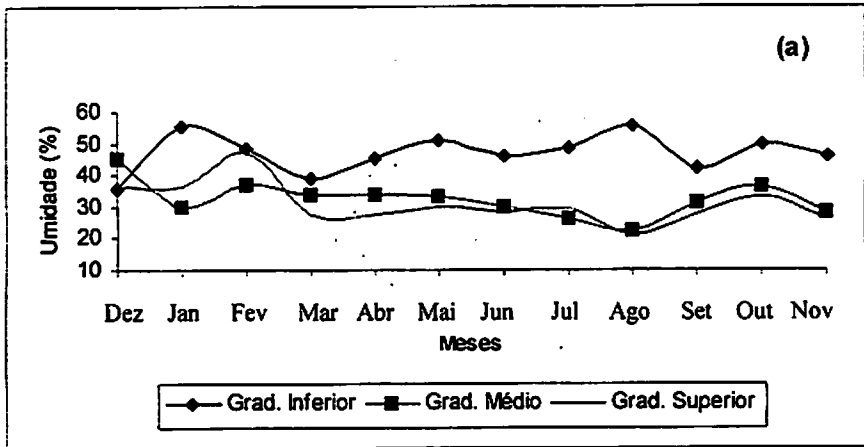


FIGURA 7 Variação mensal da umidade do solo nos taludes dos gradientes inferior, médio e superior da área um (a); dois (b) e três (c).



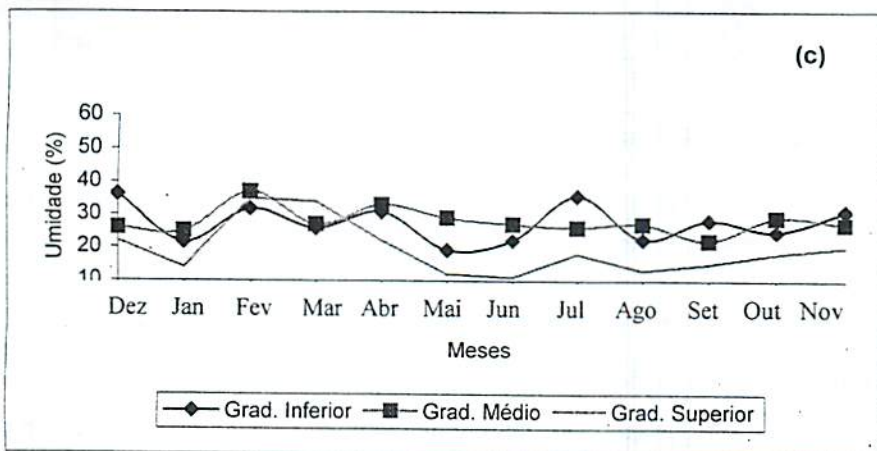
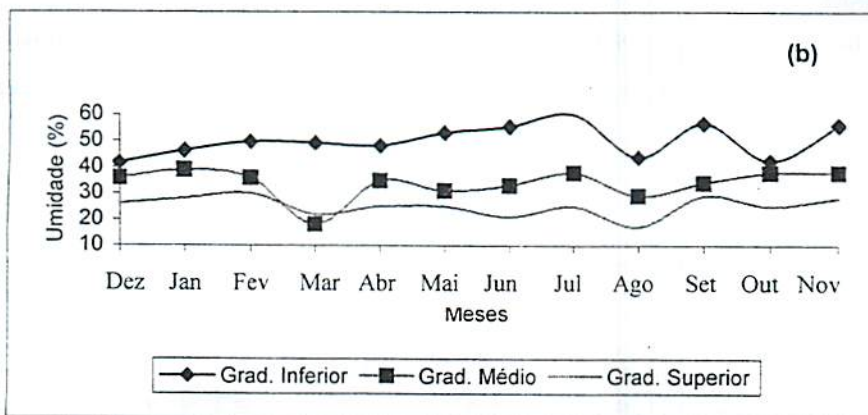


FIGURA 8 Variação mensal da umidade do solo nos taludes do gradiente inferior, médio e superior da área quatro (a); cinco (b) e seis (c).

A temperatura do solo no interior da voçoroca (Figura 9) apresentou relação inversa à umidade do solo. Os maiores valores de temperatura do solo foram encontrados para os gradientes superiores, chegando a 26°C, os quais são menos úmidos e desnudos, seguidos dos gradientes médios e inferiores. Estes resultados concordam com Reichardt (1987), que justifica que a água tem um calor específico cerca de cinco vezes maior do que o solo. Portanto, quanto maior a quantidade de água em um solo, menor será o aumento da temperatura

para uma dada quantidade de radiação latente. Daí dizer-se que a drenagem influi na temperatura do solo e, como toda atividade biológica é diretamente proporcional à temperatura, influi também no crescimento vegetal e na atividade microbiana.

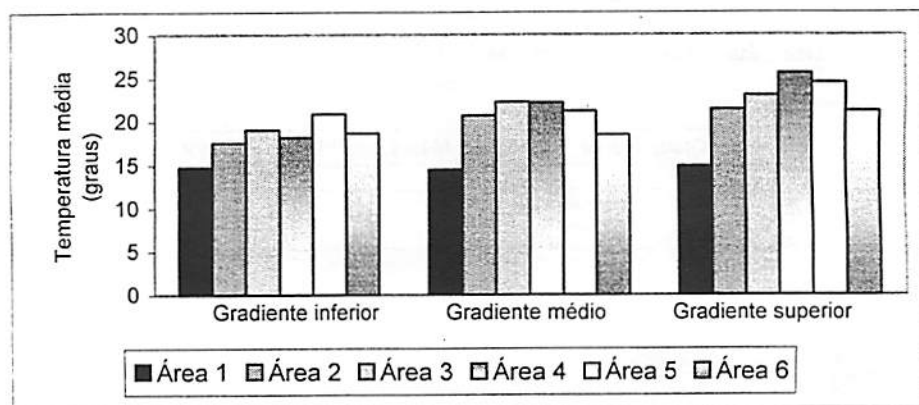


FIGURA 9 Temperatura média do solo dos gradientes inferior, médio e superior, nas seis áreas de estudo.

Meguro (1994) ressalta, ainda, que a cobertura vegetal reduz sensivelmente as flutuações da temperatura nas camadas superficiais do solo, transformando a energia em calor latente de evaporação, evitando o processo de aquecimento rápido ou perda de calor, o que pode afetar a germinação de sementes e ou o adensamento da superfície do solo.

4.1.2.3 Resistência do solo à penetração

Relacionando resistência do solo à penetração, pode-se observar que, na média (Figura 10a), os solos do gradiente superior apresentaram maior adensamento (1,15 a 1,77MPa), seguidos pelos do gradiente médio (0,87 a 1,28MPa) e inferior (0,64 a 1,08MPa), ocorrendo relação inversa com umidade do solo (Figura 10b). Estes resultados concordam com os estudos desenvolvidos por Raney & Edminster (1961) citados por Silva Júnior (2001), nos quais

concluiu-se que, em qualquer densidade do solo, a resistência mecânica à penetração está inversamente relacionada ao teor de água. Klein et al. (1998) ressaltam, ainda, que pequenas alterações na condição de umidade do solo proporcionam variações acentuadas na resistência do solo à penetração.

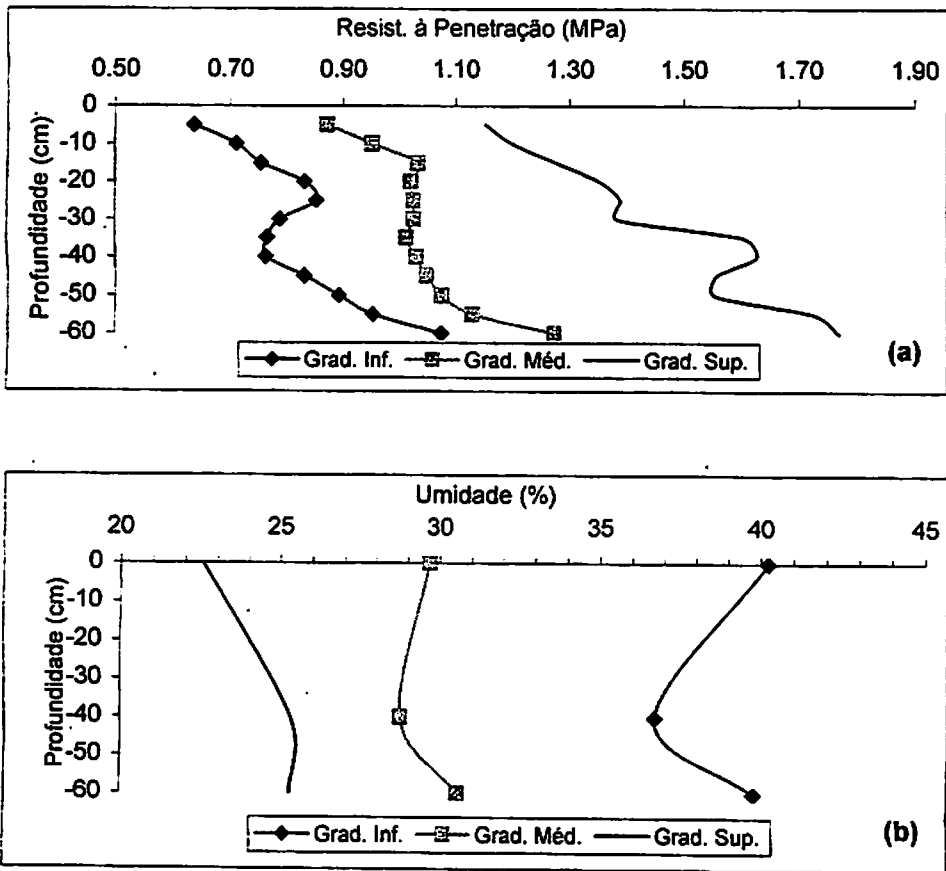


FIGURA 10 Representação das relações entre (a) profundidade do solo e as médias de resistência do solo à penetração e (b) profundidade do solo e média de umidade nos três gradientes das áreas em estudo.

A maior resistência do solo à penetração pelo gradiente superior pode também estar relacionada a dois outros fatores: maior teor de silte encontrado para este local (Figura 4), que proporciona ao solo a pior estrutura, sendo

adensado mais facilmente (Lopes, 1989) e maior amplitude (20%) dos valores de umidade do solo deste gradiente quando relacionado aos demais (Figura 5). Este fator influencia os ciclos de umedecimento e secagem, e, ainda, devido à falta de vegetação, ocasiona o impacto direto das gotas de chuva sobre o solo, o que, de acordo com Oliveira et al. (1996), proporciona o maior adensamento do mesmo. Diversos trabalhos comprovam também que o encrostramento superficial diminui a taxa de infiltração de água e, conseqüentemente, influencia o teor de umidade (Moore & Larson, 1980).

Quando as áreas estudadas são analisadas individualmente (Figuras 11 e 12), podem-se observar alterações na resistência à penetração e umidade do solo em algumas profundidades, ocorrendo inversão de valores entre os gradientes. Este fato pode estar relacionado à deposição de sedimentos ocorrido no local no decorrer do processo de voçorocamento, formando camadas distintas nas diferentes profundidades e refletindo nas características do solo, tais como granulometria e quantidade de matéria orgânica, as quais, por sua vez, determinam distintas capacidades de retenção de água e resistências do solo à penetração.

As áreas de estudo um e três (Figura 11) apresentaram distinção da resistência do solo à penetração entre os gradientes e entre as diferentes profundidades. A área dois também apresentou diferença entre os gradientes, porém, há pouca diferença quanto à resistência do solo à penetração de acordo com a profundidade. Já as áreas quatro, cinco e seis (Figura 12) apresentaram resultados diferenciados da média, não seguindo a tendência esperada nos gradientes e nas profundidades analisadas, o que também pode ser conseqüência do processo de deposição de diferentes camadas de sedimentos ocasionadas pelo processo de voçorocamento.

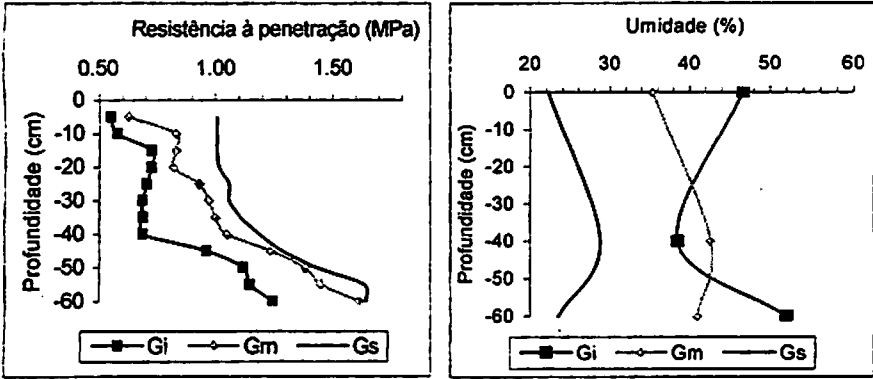
A resistência do solo à penetração nos taludes das áreas de um a cinco apresentou valores a partir de 0,5MPa, não ultrapassando 2,0MPa (Figura 11 e

12). A área de estudo seis (Figura 12), por ser o local mais afastado da surgência de água (Figura 3) na voçoroca e, por consequência, menos úmida, apresentou os maiores valores de resistência à penetração, variando entre 1,0 e 2,6MPa. Este resultado pode também ter sido influenciado pela pouca vegetação da área em questão, quando comparada às demais, o que aumenta a flutuação da temperatura do solo e o impacto direto das gotas de chuva, proporcionando um maior adensamento do solo.

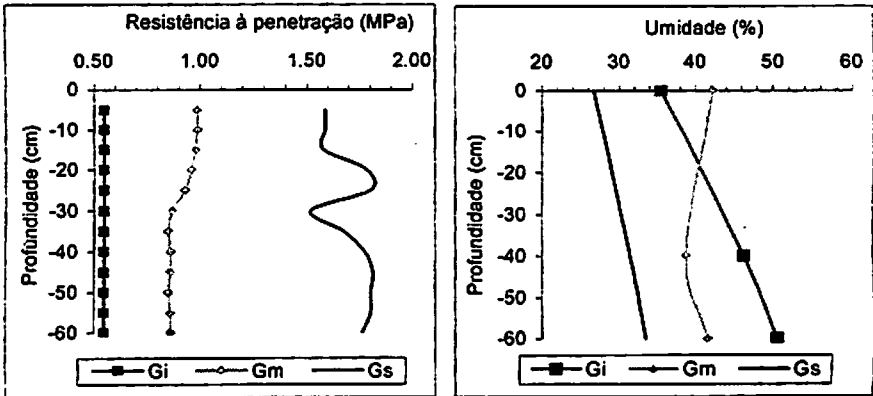
Segundo Nesmith (1987), Topp et al. (1994), Tormena et al. (1998) e Imhoff et al. (2000), a resistência do solo à penetração aumenta com o adensamento do mesmo, sendo restritiva ao crescimento radicular acima de valores que variam de 1,5 a 4,0MPa.

Para Miller (1987), a penetração das raízes pode ser reduzida se a resistência do solo atingir valores da ordem de 3,0MPa, fato não ocorrido no presente estudo, que apresentou valores inferiores a 2,6MPa (Figuras 11 e 12). No entanto, Mielniczuk et al. (1985) ressaltam que as plantas apresentam diferentes respostas à resistência do solo à penetração, variando entre culturas e cultivares.

Área 01



Área 02



Área 03

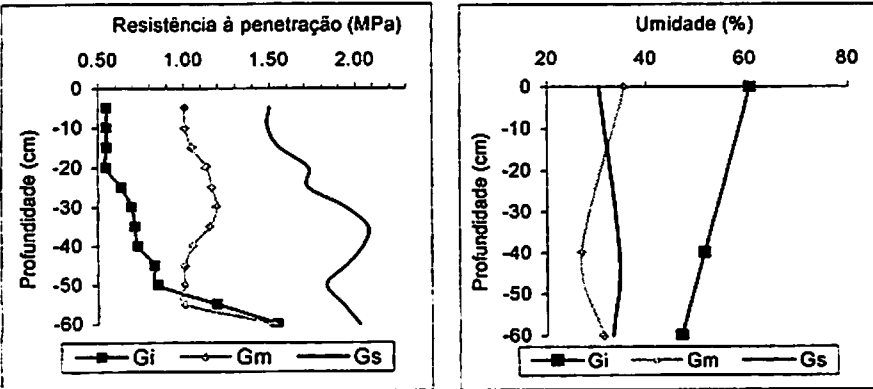
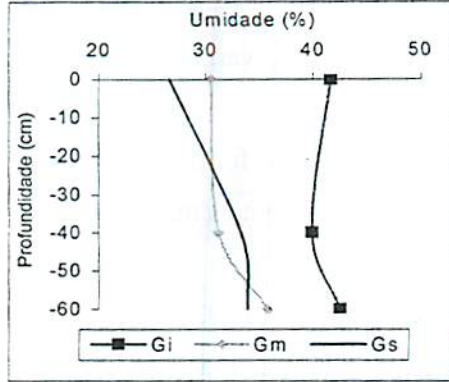
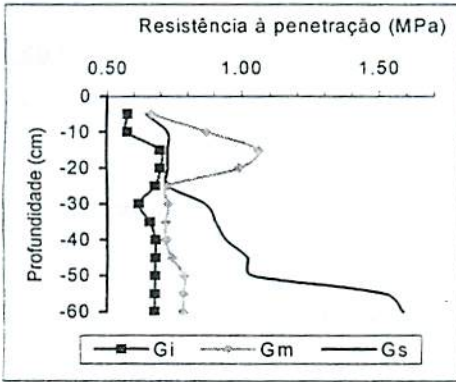
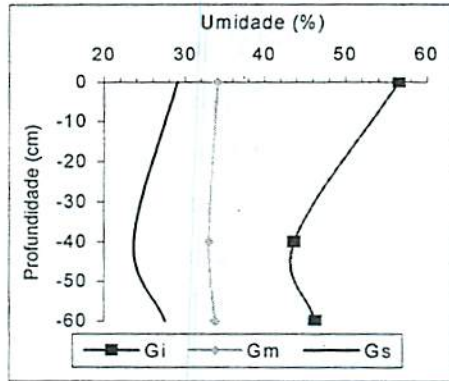
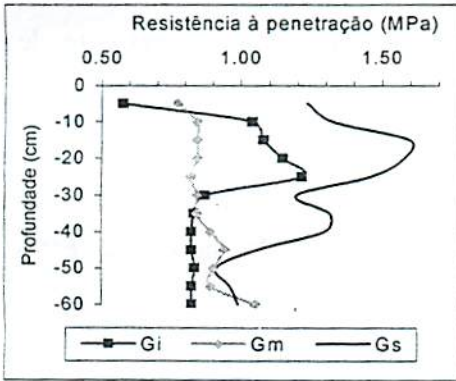


FIGURA 11 Representação gráfica das relações entre a resistência do solo à penetração versus profundidade e caracterização da umidade versus profundidade do solo, das áreas um, dois e três na voçoroca em estudo, (GI: gradiente inferior; GM: gradiente médio; GS: gradiente superior).

Área 04



Área 05



Área 06

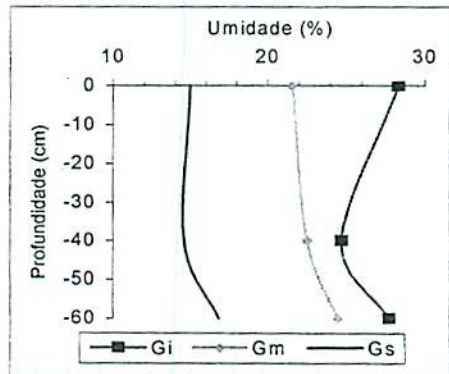
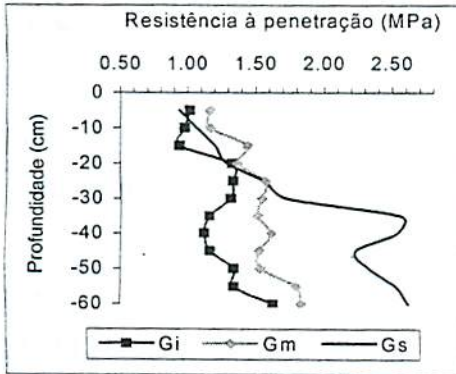


FIGURA 12 Representação gráfica das relações entre a resistência do solo à penetração versus profundidade e caracterização da umidade versus profundidade do solo, das áreas quatro, cinco e seis na voçoroca em estudo, (GI: gradiente inferior; GM: gradiente médio; GS: gradiente superior).

4.1.3 Análise de componentes principais

Na Figura 13 estão representadas as correlações entre os gradientes das áreas estudadas e as variáveis ambientais mais importantes, obtidas por meio da aplicação da Análise de Componentes Principais (PCA). Esta análise apresenta as correlações na forma de vetores, os quais representam o peso dos componentes ambientais mais fortemente correlacionadas com os gradientes das áreas estudadas que, por sua vez, refletem a variância relativa deste componente sobre a variância total. Os valores, quando alocados no gráfico, representam a pontuação ou o peso dos componentes para explicar a variância total. Na formação dos eixos gráficos, onde as variáveis ambientais são alocadas, é propriedade da PCA que eles sejam extraídos em ordem decrescente de importância. As variáveis que têm altas pontuações no eixo 1 tendem a tê-las baixas no eixo 2 (Kent & Coker, 1992).

As variáveis ambientais utilizadas na PCA explicaram 56,2% da variância total, com variância de 34,9% no eixo 1 e 21,3% no eixo 2. Estes valores encontrados podem ser explicados devido à alta complexidade do ambiente. Em estudo no entorno dos reservatórios de Camargos/Itutinga, MG, utilizando-se deste mesmo tipo de análise e, basicamente, mesmas variáveis ambientais, Pereira (1996) obteve que as variáveis testadas explicaram 100% da variância total em somente dois eixos de ordenação.

Como pode ser observado no eixo de ordenadas apresentado, há uma distinção entre os três gradientes selecionados para o estudo. O gradiente inferior mostrou-se mais homogêneo, considerando o agrupamento das áreas, indicando como fator ambiental mais determinante a umidade do solo. Todas as áreas deste gradiente possuem correlação com umidade do solo, teor de areia, pH e saturação por bases. A área quatro possui também correlação com matéria orgânica, acidez e teor de argila.

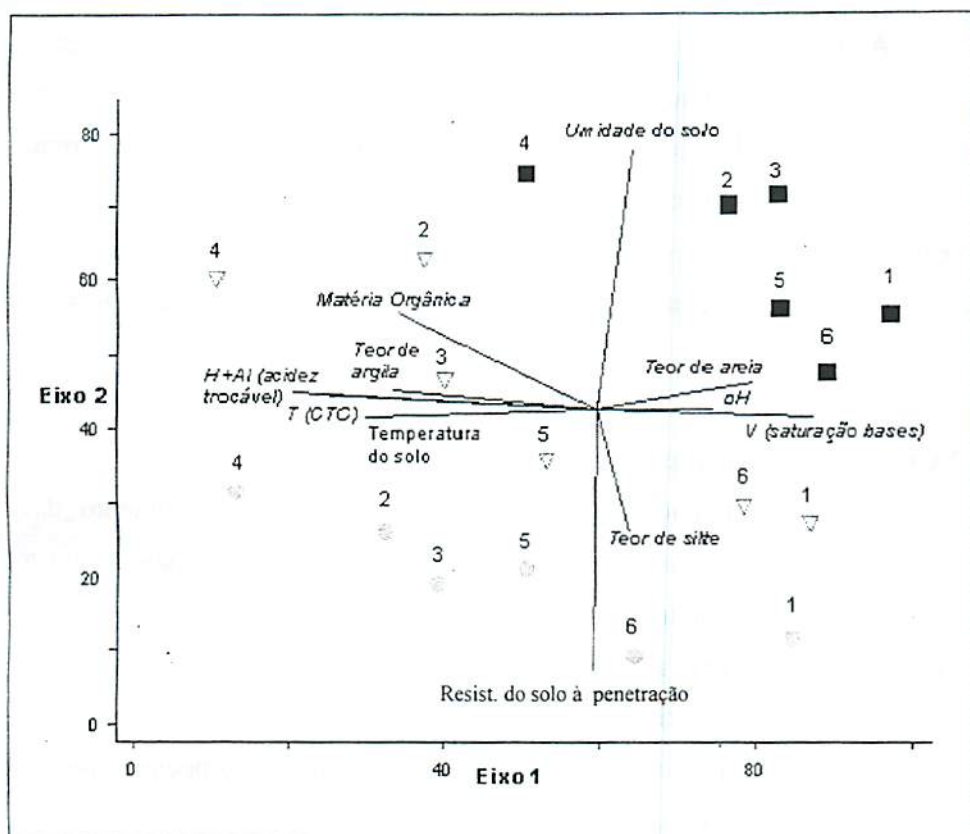


FIGURA 13 Análise de componentes principais (PCA): diagrama de ordenação das áreas de estudo um, dois, três, quatro, cinco e seis e das variáveis ambientais. Gradientes: inferior (■), médio (▽) e superior (⊙).

O gradiente superior também se apresentou homogêneo, demonstrando maior correlação com resistência do solo à penetração. Todas as áreas possuem correlação com resistência do solo à penetração e silte e com temperatura, acidez, teor de argila e matéria orgânica para as áreas dois a cinco.

O gradiente médio apresentou maior diferenciação entre as áreas estudadas. As áreas dois a cinco apresentaram correlação com matéria orgânica, teor de argila, acidez e temperatura. As áreas um e seis deste gradiente apresentaram correlação com silte e resistência do solo à penetração.

As variáveis ambientais cujos vetores se opõem, mostram inter-relação negativa. Pode-se observar que o vetor de umidade está em posição oposta ao de resistência do solo à penetração. Isto pode ser interpretado da seguinte forma: quanto maior a umidade do solo, menor será a resistência do solo à penetração. Verifica-se também inter-relação negativa entre: acidez, capacidade de troca catiônica, temperatura e matéria orgânica com saturação por bases, teor de areia e pH.

4.2 Crescimento das espécies

Dentre os parâmetros selecionados para avaliar o crescimento das espécies, somente a circunferência à altura do solo pôde ser utilizada para a análise estatística dos dados, pois os dados relacionados à altura total e área da copa foram afetados pelo ataque de formigas cortadeiras. Este fato ocasionou a desfolha de algumas espécies durante a condução do experimento, mascarando o crescimento real no intervalo de tempo do estudo, considerado pequeno para a recuperação dos indivíduos.

Ao buscar referências bibliográficas sobre as respostas das espécies arbóreas à desfolha e às alterações microclimáticas em geral, verificou-se uma escassez muito grande de informações bibliográficas, o que gerou dificuldades para avaliar o desempenho e as potencialidades destas espécies florestais, diante de eventos como os citados neste trabalho.

Portanto, ainda que esperados, porém não disponíveis na literatura, neste trabalho são apresentados resultados que demonstram que as espécies arbóreas estudadas comportam-se diferenciadamente em relação a possíveis variáveis encontradas no interior das voçorocas.

Para analisar o desenvolvimento das espécies estudadas, utilizou-se o modelo de regressão linear: $CAS = \beta_0 + \beta \times I$, em que CAS: circunferência à altura do solo, I: idade. Vale ressaltar que o modelo utilizado possui limitações,

pois o período de condução do estudo foi curto. Ainda assim, considera-se que o mesmo cumpre os objetivos de explicação, apresentando um modelo matemático de crescimento para cada espécie analisada.

Os valores médios de crescimento das espécies para circunferência à altura do solo, altura total e área de copa estão apresentados nos Anexos 1 a 3.

4.2.1 *Acacia mangium* Willd.

De acordo com as análises realizadas para *Acacia mangium*, obteve-se o modelo matemático $CAS = 4,0816 + 0,889 \times I$, por meio do qual, pelo “teste de t” (Tabela 3), constatou-se um crescimento significativo de 8,8 milímetros ao mês na circunferência à altura do solo no período do estudo. Este incremento foi o melhor entre as espécies estudadas, concordando com Turnbull (1984), que refere-se à acácia como sendo de rápido crescimento.

TABELA 3 Análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo da acácia, em função do tempo, pelo “teste de t” a 5%.

	Valor	Erro padrão	Valor de t	Pr ($> t $)
Intercepto	4,0816	6,6363	0,6150	0,5396
Idade	0,889	0,2522	3,5247	0,0006

De acordo com a Figura 14, observa-se que o maior crescimento dos indivíduos desta espécie foi obtido para o gradiente médio, seguido do superior e, em último lugar, aparece o inferior. O pior desempenho de crescimento, no período do estudo, foi obtido para o gradiente inferior, concordando com Embrapa (2004), segundo a qual esta espécie não tolera solos mal drenados, hidromórficos ou muito úmidos. Já o desenvolvimento reduzido no gradiente superior, em relação ao médio, pode estar relacionado com a descontinuidade no crescimento desta espécie quando submetida a ambientes de umidade reduzida (NRC, 1983).

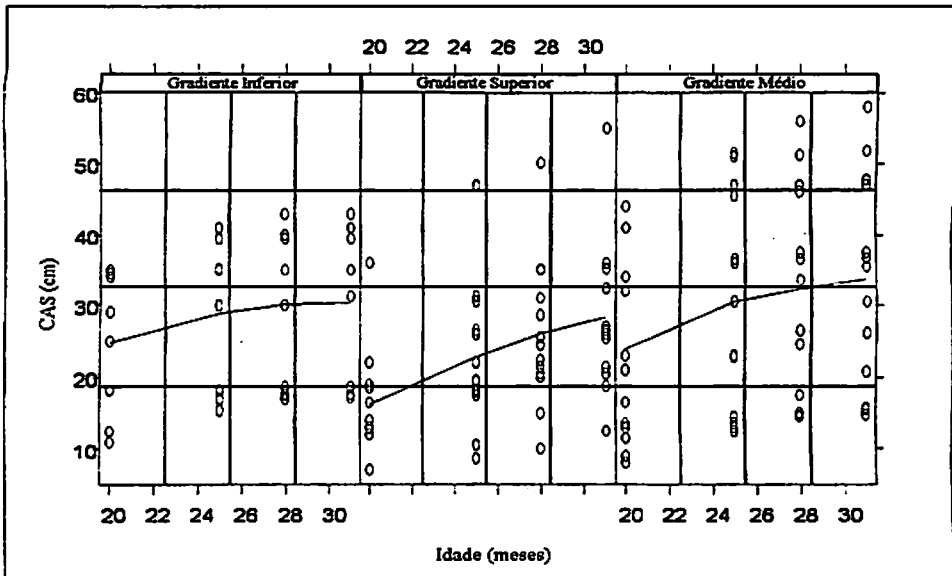


FIGURA 14 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo da acácia, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 4,0816 + 0,889 \times I$ (crescimento no período: grad. médio > grad. superior > grad. inferior).

O crescimento no gradiente inferior (Figura 15), aos 20 meses, foi de 24,90cm de circunferência à altura do solo, 4,70 m de altura total e 3,60 m² de área de copa. Davide (1994) apresentou resultados parciais aos 18 meses para estudos conduzidos em Latossolos no entorno do reservatório de Camargos/Itutinga, MG, de 24,1cm de circunferência à altura do solo, 4,29m de altura e 7,68 m² de área de copa. Observa-se que houve semelhança dos dados em circunferência à altura do solo e altura total, havendo diferença para o valor da área de copa, sendo esta referente a possíveis desfolhas que antecederam este estudo.

Resultados semelhantes foram observados comparando-se com os dados de Pereira (1996), que apresentou, aos 28 meses no sítio 1 de seu estudo, em Latossolo nas proximidades do reservatório de Camargos/Itutinga, MG, valores de circunferência à altura do solo próximos de 35cm, sendo estes semelhantes

aos resultados obtidos (32,30cm) no gradiente médio deste estudo (Figura 15) para a mesma idade. No entanto, altura (6,5m) e área de copa (11m^2) diferentes do presente estudo, respectivamente de 5,20m e $7,50\text{m}^2$, indicam alterações nas mesmas, provavelmente ocasionadas pelos desfolhadores.

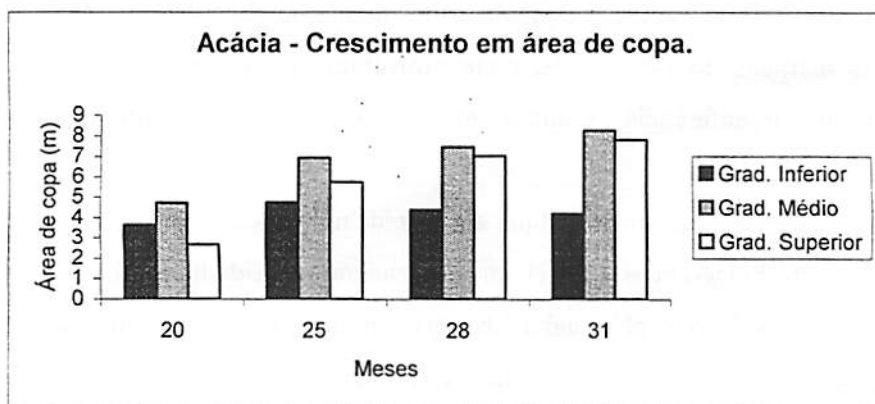
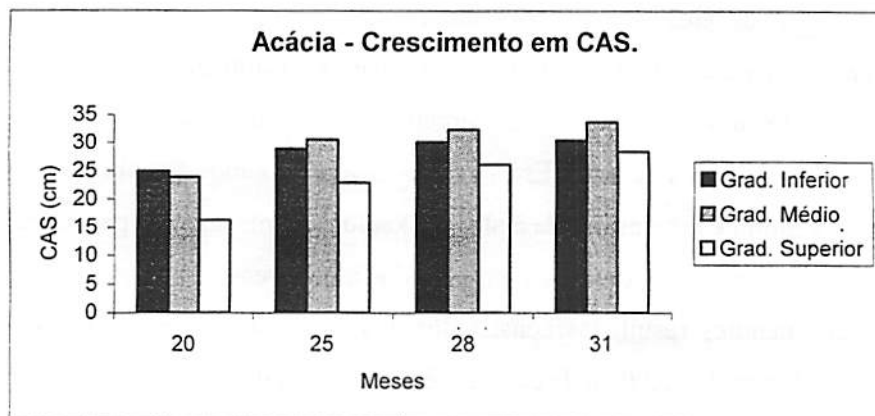
O crescimento no gradiente médio do presente estudo (Figura 15), aos 20 meses, foi de 23,90cm de circunferência à altura do solo, 4,00m de altura total e $4,70\text{m}^2$ de área de copa. Botelho et al. (1995), em plantio de *Acacia mangium* às margens do reservatório de Camargos, Itutinga, MG, obtiveram valores, aos 18 meses, de 24,12cm de circunferência à altura do solo, 4,29m de altura e $6,21\text{m}^2$ de área de copa. Estes valores ficam próximos aos obtidos neste estudo para altura e circunferência à altura do solo, porém, superior para área de copa, refletindo possíveis desfolhas em períodos anteriores.

Os menores resultados constatados aos 25 meses no presente estudo (Figura 15) foram de 22,90cm de circunferência à altura do solo, 4,20m de altura total e $5,70\text{m}^2$ de área de copa. Estes dados são superiores aos encontrados por Souza et al. (2001), em solo Podzólico, no município de Ribeirão Vermelho, MG, às margens do rio Grande, onde obtiveram valores, aos 24 meses, de 15,20cm de circunferência à altura do solo, 2,15m de altura e $2,75\text{m}^2$ de área de copa.

Aos 25 meses, a menor altura encontrada no presente estudo (Figura 15) foi de 4,20m. Franco et al. (1992), em experimento na cidade de Pirai, RJ, em áreas de Latossolo com pH igual a 4,6, verificaram que a *Acacia mangium*, aos 24 meses, atingiu 3m de altura, sendo este inferior ao resultado obtido neste estudo.

A circunferência à altura do solo dos indivíduos de *Acacia mangium* apresentou ritmo de crescimento alterado a partir dos 25 meses nos três gradientes (Figura 14), quando se observa uma inflexão na curva de crescimento. Este fato pode estar relacionado ao decréscimo no crescimento da

área de copa ocorrido no mesmo período (Figura 15), que pode estar relacionado à desfolha constatada e melhor visualizada por meio deste parâmetro. Outro possível fator relacionado para a alteração do crescimento é o decréscimo de pluviosidade durante os meses de abril a setembro (Figura 6), que afetou a disponibilidade de água para as plantas nos sítios em estudo.



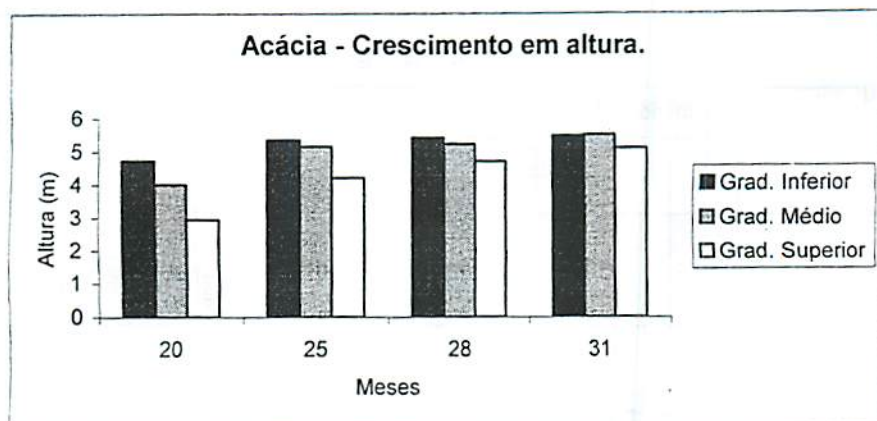


FIGURA 15 Crescimento da espécie *Acacia mangium* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses.

4.2.2 *Inga uruguensis* Hook. & Arn.

Para a espécie *Inga uruguensis*, obteve-se o modelo de crescimento CAS = 7,9729 + 0,2114 x I. Aplicando-se o “teste de t” de significância (Tabela 4), constatou-se um crescimento na circunferência à altura do solo significativo no período estudado, havendo um incremento de aproximadamente 2,1 milímetros ao mês.

TABELA 4 Análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo do ingá em função do tempo, pelo “teste de t” a 5%.

	Valor	Erro padrão	Valor de t	Pr (> t)
Intercepto	7,9729	1,7619	4,5251	0,0000
Idade	0,2114	0,0670	3,1573	0,0017

De acordo com o gráfico da regressão (Figura 16), observa-se maior crescimento dos indivíduos no gradiente inferior, seguido do gradiente médio e o menor crescimento no gradiente superior, apresentando uma relação positiva entre umidade do solo (Figura 5) e crescimento.

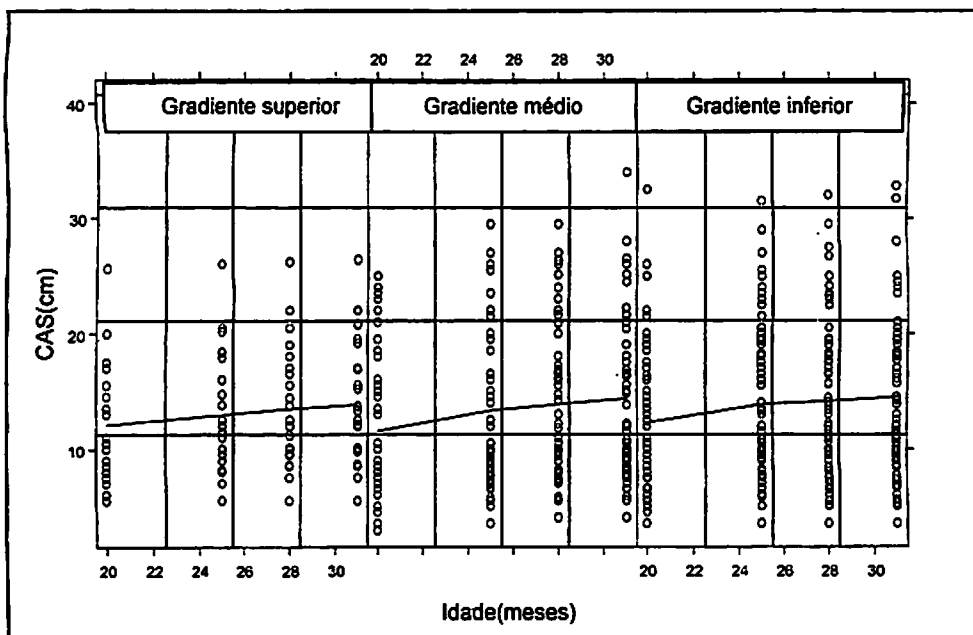


FIGURA 16 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo do ingá, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 7,9729 + 0,2114 \times I$ (crescimento no período: grad. inferior > grad. médio > grad. superior).

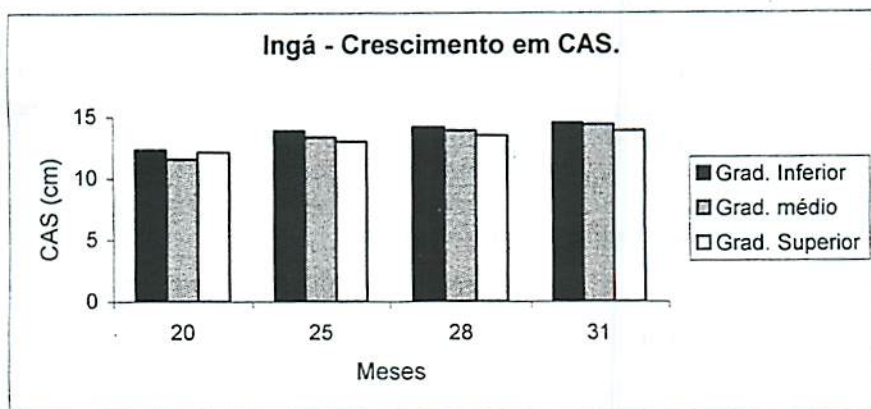
O melhor desempenho para *Inga uruguensis* constatado na área mais úmida concorda com Lorenzi (2000), que cita esta espécie como sendo uma pioneira adaptada a solos úmidos, com nítida preferência por solos bastante úmidos.

Davide et al. (1996), visando pesquisar o comportamento de *Inga affinis* em área de depleção do reservatório da usina hidrelétrica de Camargos, em Itutinga, MG, concluíram que esta espécie demonstra ser adaptada às condições de encharcamento e inundação do solo, apresentando valores, aos 39 meses, de 2,69m de altura, 16,60cm de circunferência à altura do solo e 9,75m² de área de copa para a cota mais próxima do nível mínimo da represa. Porém, no mesmo estudo, os autores concluíram que a *Inga cylindrica* não se mostrou adaptada quando plantada em cotas sujeitas ao encharcamento.

Vieira et al. (2003) constataram, em seus estudos sobre a resistência de *Inga uruguensis* a geadas, que esta espécie apresenta alta capacidade de rebrota e expressivo incremento no número de folhas, retomando o crescimento em menor período após algum estresse.

O crescimento da circunferência à altura do solo dos indivíduos no gradiente superior (Figura 16) foi contínuo para as sucessivas medições. Nos gradientes médio e inferior, houve um decréscimo em crescimento a partir dos 25 meses, que pode estar relacionado à desfolha ocorrida no período e melhor visualizada pelo parâmetro de alteração do crescimento da área de copa (Figura 17). Outro possível fator relacionado para a alteração de crescimento é o decréscimo de pluviosidade durante os meses de abril a setembro (Figura 6), que afetou a disponibilidade de água para as plantas nos sítios em estudo.

Um fato relevante foi o crescimento contínuo (Figura 16) no gradiente superior, mesmo no período de estiagem, podendo dar respaldo à não influência de tal evento ao crescimento vegetal no ambiente estudado.



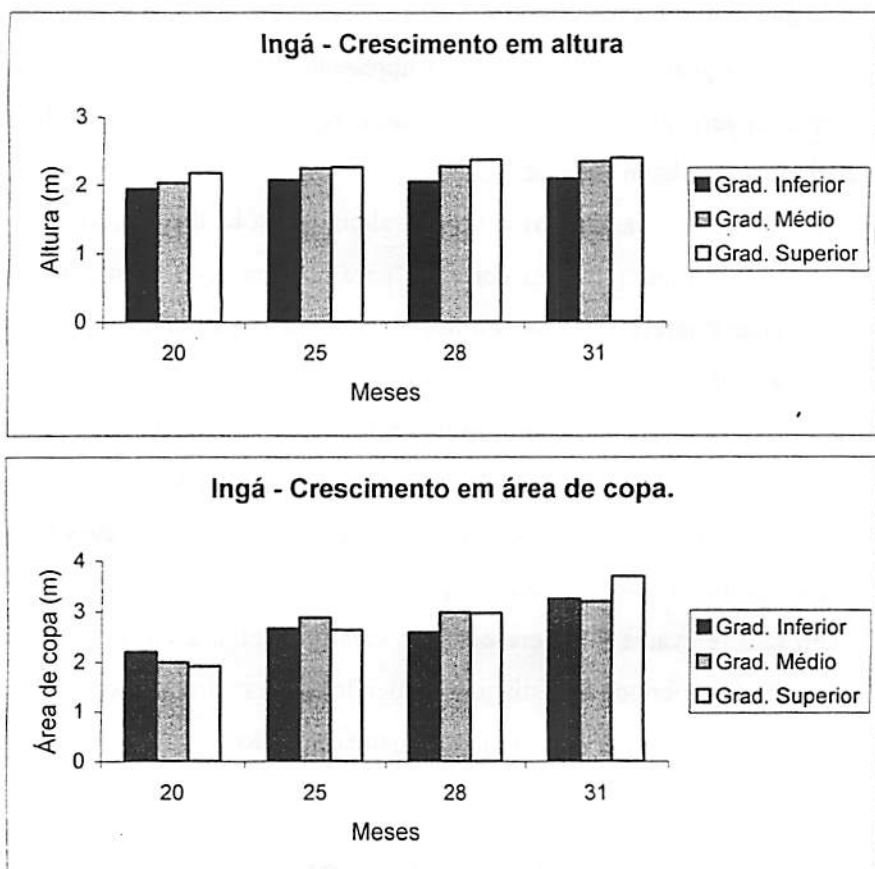


FIGURA 17 Crescimento da espécie *Inga uruguensis* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses.

4.2.3 *Syagrus romanzoffiana* (Cham.) Glassm.

As análises do desenvolvimento da espécie *Syagrus romanzoffiana* apresentaram problemas. Inicialmente, os indivíduos que estavam sendo acompanhados no gradiente inferior foram soterrados em decorrência do desbarrancamento de encostas próximas aos locais onde os mesmos se encontravam, restando para análise apenas aqueles presentes nos gradientes médio e superior.

Quanto aos dados coletados dos indivíduos restantes, devido ao pequeno porte destes, os parâmetros utilizados, altura total, área da copa e circunferência ao nível do solo, tornaram-se não representativos do desenvolvimento real durante o período do estudo. Relacionando altura total e área de copa, o problema não se referiu à desfolha, pois esta espécie não sofreu ataque de formigas cortadeiras. A dificuldade foi acompanhar o crescimento tendo como parâmetros tais medidas.

O porte reduzido dos indivíduos proporcionou tomar como base apenas medidas da folhagem (Figura 18), o que trouxe problemas relacionados à falta de metodologia nas sucessivas medições, já que a morte de uma folha ou um simples vento mudava a arquitetura dos indivíduos.

O comportamento diferenciado na circunferência à altura do solo do estipe do jerivá, no período avaliado neste estudo, justifica-se pelo tipo de desenvolvimento desta Palmácea, em que a inserção foliar está nas proximidades do local onde foram realizadas as medições (Figura 18), ou seja, no solo. No caso de ocorrência da mortalidade da folhagem, a circunferência do estipe era diretamente afetada, devido ao ressecamento ou queda do pecíolo, havendo uma redução na medida da circunferência à altura do solo.

Devido aos problemas metodológicos ocorridos para esta espécie, não foi possível analisar estatisticamente o crescimento em circunferência à altura do solo no decorrer do período. No entanto, foram ajustados o modelo e a curva de crescimento, visando obter o comportamento desta espécie nos gradientes estudados.

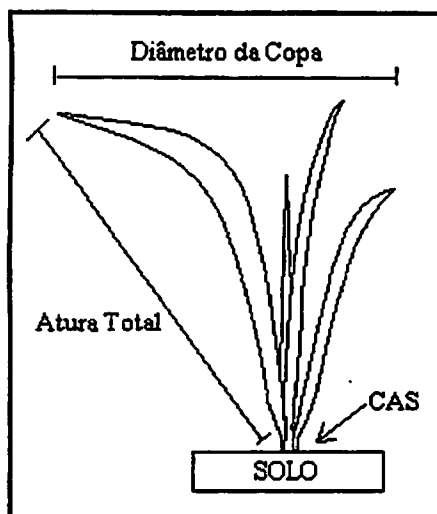


FIGURA 18 Croqui da arquitetura dos jerivás presentes na área de estudo.

Nesse sentido, obteve-se o modelo matemático de crescimento $CAS = 4,1487 + 0,0489 \times I$, constatando um incremento de 0,48mm ao mês. A curva do ajuste de crescimento em circunferência à altura do solo (Figura 19) demonstra que houve um maior crescimento no gradiente superior, quando relacionado ao médio.

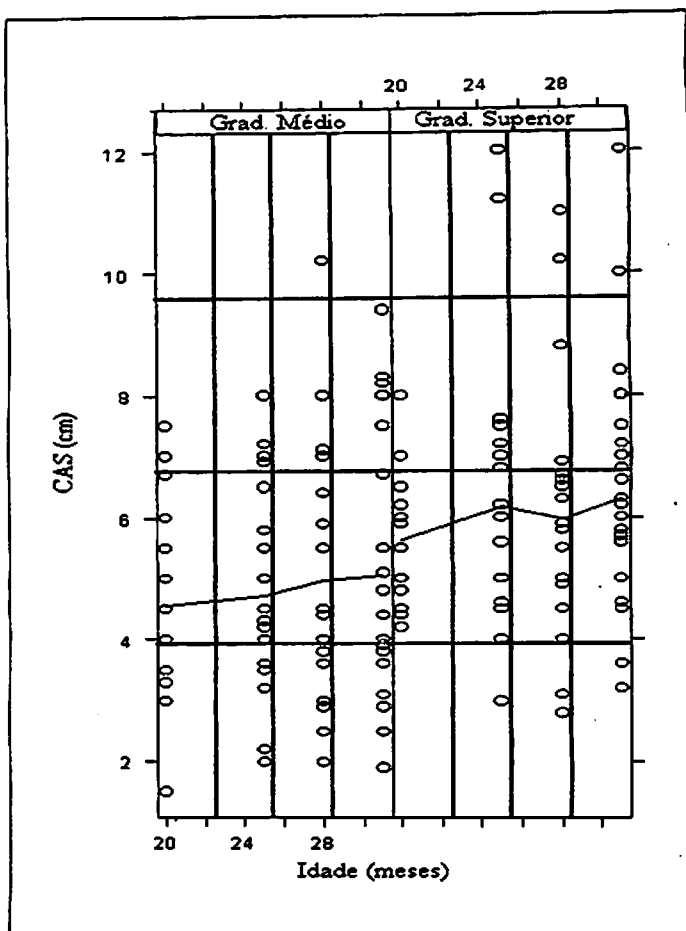
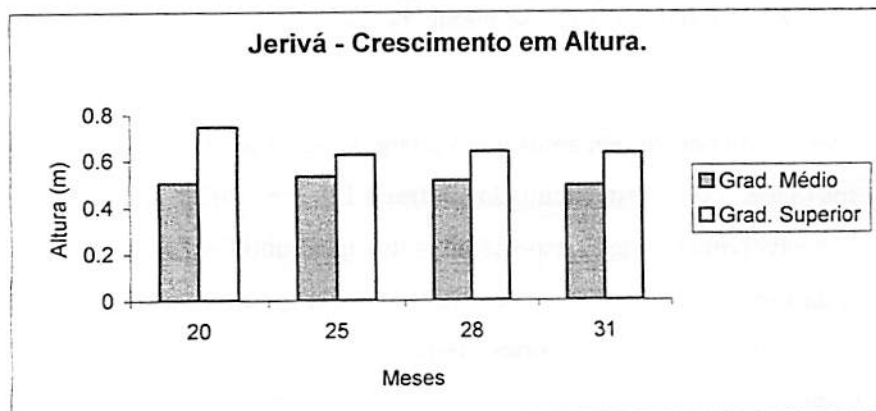
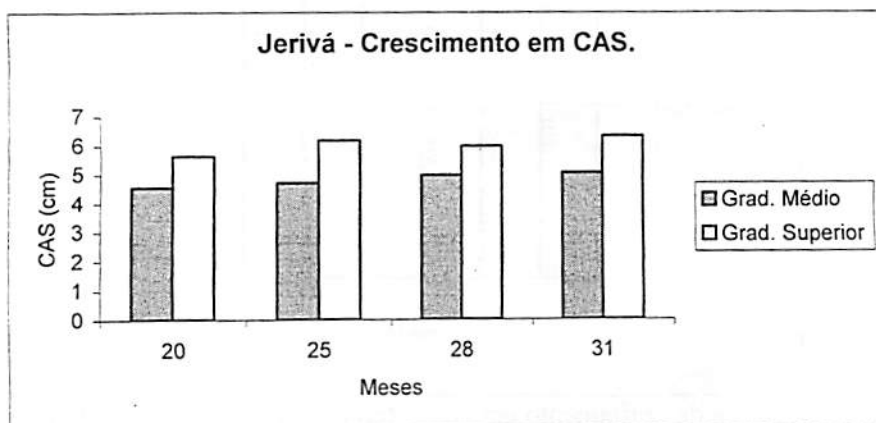


FIGURA 19 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo do jerivá, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 4,1487 + 0,0489 \times I$ (crescimento no período: grad. superior > grad. médio).

Apesar de ocorrer em solos que variam de secos até úmidos, inundáveis e brejosos (Tiete, 2004), este resultado contraria Lorenzi (2000), que descreve o melhor desenvolvimento desta espécie em solos mais úmidos. De acordo com a ecologia da espécie, uma possível variável ambiental pode ter influenciado nos dados: a luminosidade. Os portes reduzidos em que os indivíduos se encontravam ocasionaram o sombreamento destes no gradiente médio por outras

espécies, o que não ocorreu no gradiente superior, o qual é menos revegetado, tornando o fator luminosidade mais limitante que a umidade do solo.

A espécie *Syagrus romanzoffiana* apresentou valores reduzidos no crescimento (Figura 20), mesmo sendo considerada uma pioneira (Lorenzi, 1992). Com os dados encontrados no presente estudo concordam Pozzobon et al. (2002), que a consideraram uma espécie de crescimento lento e descontínuo quando a utilizaram em recuperação de áreas mineradas em Blumenau, SC. Aos 11 meses, a média da circunferência à altura do solo encontrada alcançava apenas 0,78cm.



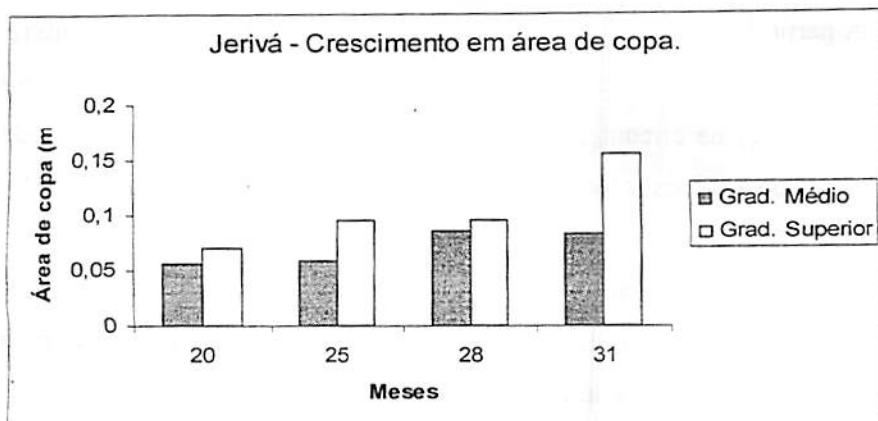


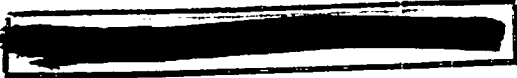
FIGURA 20 Crescimento da espécie *Syagrus romanzoffiana* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses.

4.2.4 *Syzygium jambolanum* (Lam.) DC.

Por meio da análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo, pode-se observar que esta espécie não apresentou crescimento significativo no período do estudo (Tabela 5).

TABELA 05 Análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo do jambolão, em função do tempo, pelo "teste de t" a 5%.

	Valor	Erro padrão	Valor de t	Pr (> t)
Intercepto	5,7710	1,1537	5,0023	0,0000
Idade	0,0693	0,0438	1,5799	0,1159



A partir do modelo ajustado: $CAS = 5,7710 + 0,0693 \times I$, pode-se inferir que esta espécie apresentou um incremento de aproximadamente 0,69 milímetros ao mês na circunferência. O pouco crescimento desta espécie pode estar relacionado aos baixos teores nutricionais encontrados nas áreas em estudo. Com este resultado concordam Fernandes-et al. (2000), avaliando o crescimento de *Syzygium jambolanum* em diferentes níveis de fósforo, concluindo que esta espécie é indicada para solos com maior disponibilidade deste nutriente. Franco (1984) e Clarkson (1985) ressaltam ainda que este é um dos nutrientes que mais afetam o crescimento das raízes, limitando o desenvolvimento do vegetal.

Analisando o crescimento da circunferência à altura do solo no período do estudo para esta espécie (Figura 21), observa-se que houve maior crescimento no gradiente médio, seguido pelo inferior e que o menor crescimento foi apresentado no gradiente superior. Percebe-se, entretanto (Figura 22), que o crescimento em circunferência à altura do solo nos gradientes inferior e médio ficou próximo um do outro, havendo uma diferença mínima entre os mesmos.

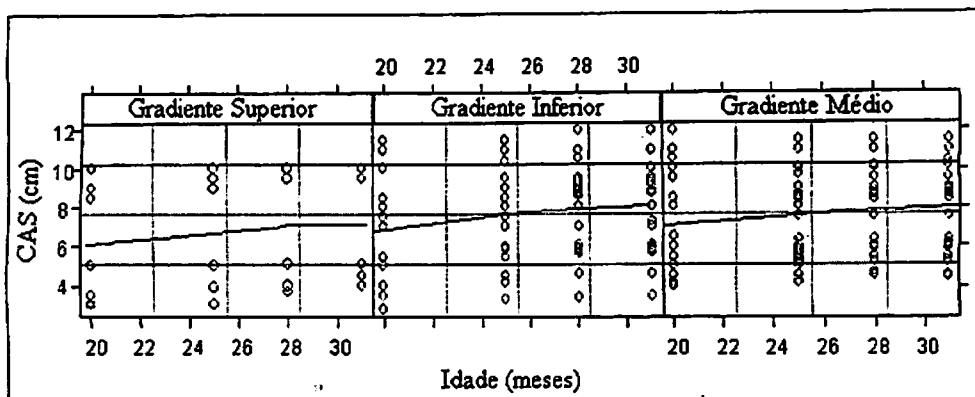


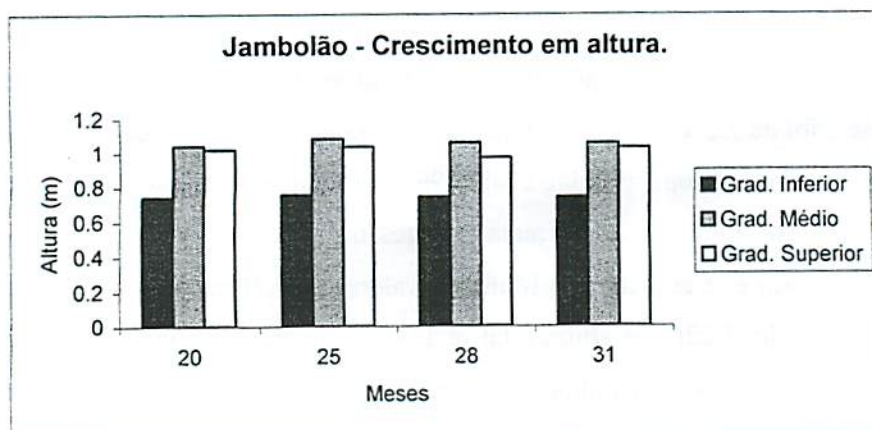
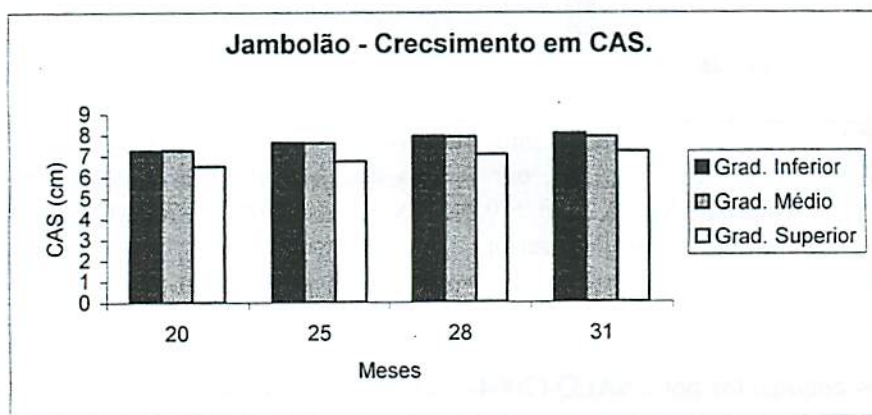
FIGURA 21 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo do jambolão, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 5,7710 + 0,0693 \times I$ (crescimento no período: grad. médio > grad. inferior > grad. superior).

Os resultados encontrados neste estudo estão com coerência com os estudos conduzidos por ESALQ (2004), nos quais relacionam esta espécie com ambientes úmidos, como margens de cursos d'água, onde ela obteria, portanto, melhor desenvolvimento.

O crescimento no gradiente médio do presente estudo (Figura 22), aos 20 meses, foi de 7,24cm de circunferência à altura do solo, 1,04m de altura total e 0,23m² de área de copa. Botelho et al. (1995), visando a utilização de *Syzygium jambolanum* na implantação de matas ciliares no município de Itutinga, MG, obtiveram, para esta espécie, aos 18 meses, valores de 9,20cm de circunferência à altura do solo, 1,22m de altura total e 1,04 m² de área de copa, sendo estes valores superiores aos encontrados no presente estudo. A área de copa foi o valor de maior contraste, podendo ser o reflexo de desfolhas sofridas pela espécie anteriormente a este estudo.

Em outra pesquisa na região de dominância de Latossolo no reservatório de Camargos, município de Itutinga, MG, Botelho et al. (1995) obtiveram valores de 1,22m de altura, 7,94cm de circunferência à altura do solo e 0,82m² de área de copa, aos 18 meses. Estes resultados ficam próximos aos obtidos no

presente estudo (Figura 22) no gradiente médio, aos 20 meses, para altura (1,04m) e circunferência à altura do solo (7,24cm). No entanto, são bem superiores para o parâmetro área de copa (0,23m²), refletindo possíveis desfolhas em períodos anteriores a este estudo.



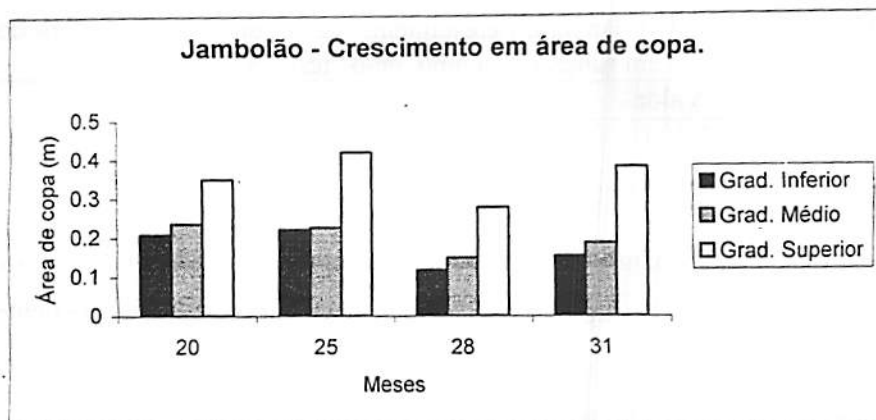


FIGURA 22 Crescimento da espécie *Syzygium jambolanum* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses.

A circunferência à altura do solo apresentou alteração no ritmo de crescimento (Figura 21) a partir dos 25 meses no gradiente inferior e médio e, no gradiente superior, a partir dos 28 meses. Este fato pode estar relacionado à desfolha decorrente do ataque de formigas nos períodos em questão e que podem ser melhor visualizados a partir das alterações de crescimento da área de copa (Figura 22) dos indivíduos destes locais. Somando-se a esta desfolha, outro possível fator pode ser relacionado, o decréscimo de pluviosidade (Figura 6), que afetou a disponibilidade de água para as plantas nos sítios em estudo.

4.2.5 *Tapirira guianensis* Aubl.

Pode-se observar (Tabela 6) que a espécie *Tapirira guianensis* apresentou crescimento significativo no período do estudo, havendo um incremento de aproximadamente 0,52 milímetros ao mês na circunferência à altura do solo. A equação do modelo de crescimento ajustada foi $CAS = 3,1201 + 0,0525 \times I$.

TABELA 6 Análise de variância do crescimento da circunferência à altura do solo do peito de pombo, em função do tempo, pelo “teste de t” a 5%.

	Valor	Erro padrão	Valor de t	Pr (> t)
Intercepto	3,1201	0,6845	4,5584	0,0000
Idade	0,0525	0,0260	2,0165	0,0457

O maior crescimento (Figura 23) em circunferência foi constatado no gradiente superior, seguido do médio e o menor crescimento foi no gradiente inferior. Juntamente com *Syagrus romanzoffiana*, a *Tapirira guianensis* apresentou a relação de crescimento sempre positiva entre a circunferência à altura do solo, altura total e área de copa (Figura 24), isto é, os indivíduos mais altos apresentaram maior área de copa e circunferência.

Corrêa (1984) e Lorenzi (2000) ressaltam que esta espécie tolera ambientes secos de encostas, porém, é na várzea úmida que ela apresenta seu maior desenvolvimento. Os resultados encontrados neste estudo não respaldam esta afirmativa.

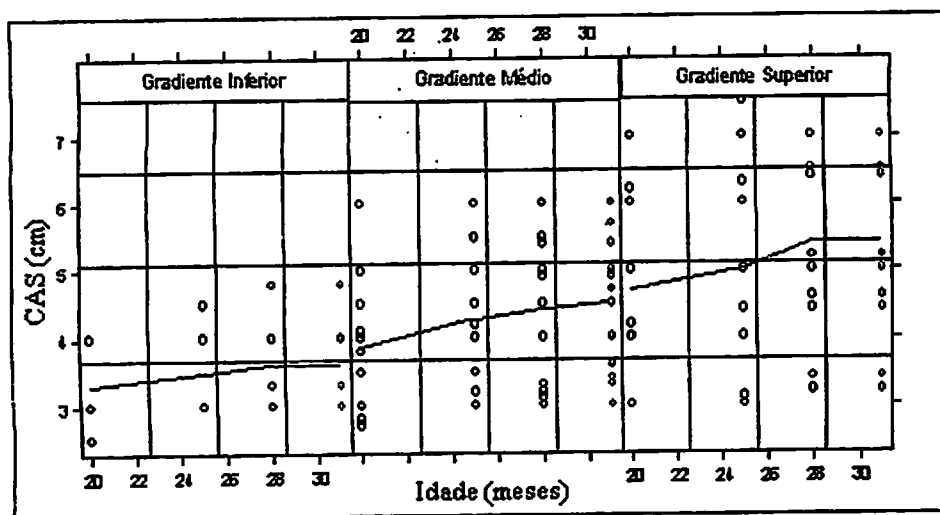
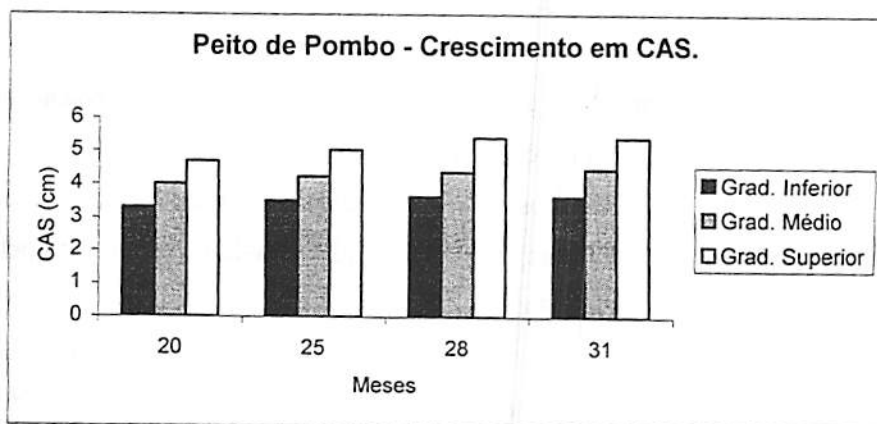


FIGURA 23 Curva de crescimento em circunferência à altura do solo do peito de pombo, no período estudado, em função do gradiente, de acordo com a equação ajustada: $CAS = 3,1201 + 0,0525 \times I$ (crescimento no período: grad. superior > grad. médio > grad. inferior).

As desfolhas interferem nas taxas e balanços dos processos fisiológicos internos, especialmente nutrição, hormônios e relações hídricas, afetando o desenvolvimento do vegetal. A possibilidade de uma árvore se recuperar após um desfolhamento parcial ou total depende do nível e da persistência da desfolha, do vigor da árvore anteriormente às injúrias, da espécie florestal, do sítio, entre outros (Koslowsky, 1969 citado por Silva, 1998).

Nesse sentido, o maior desenvolvimento constatado no gradiente superior (Figura 23) pode estar relacionado à desfolha intensa ocorrida nos gradientes inferiores e médios, representada pela diminuição do crescimento da área de copa destes gradientes no período do estudo (Figura 24).

O crescimento médio dos indivíduos, aos 20 meses, no gradiente de melhor resultado no período do estudo (Figura 24), foi de 4,68cm de circunferência à altura do solo, 0,70m de altura total e 0,07m² de área de copa. Botelho et al. (1995), em plantio de *Tapirira guianensis* às margens do reservatório de Camargos, Itutinga, MG, visando a utilização desta espécie na implantação de matas ciliares, obtiveram, aos 18 meses, valores de 7,47cm de circunferência à altura do solo, 1,58m de altura e 0,48m² de área de copa, sendo estes valores superiores a todos os encontrados no presente estudo.



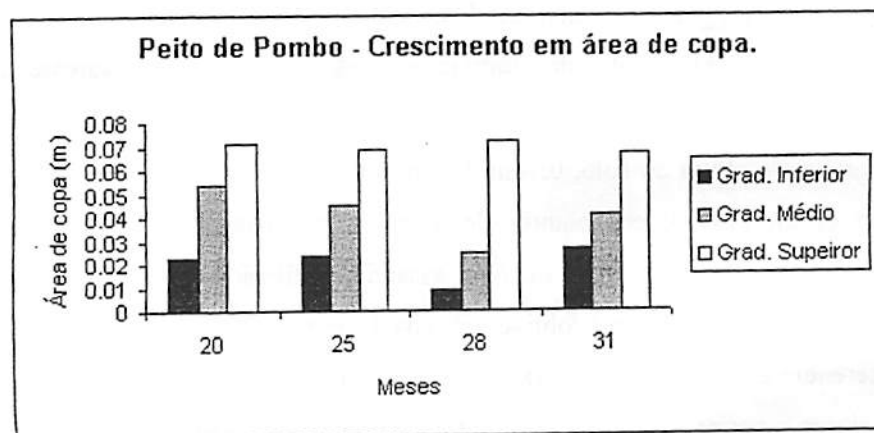
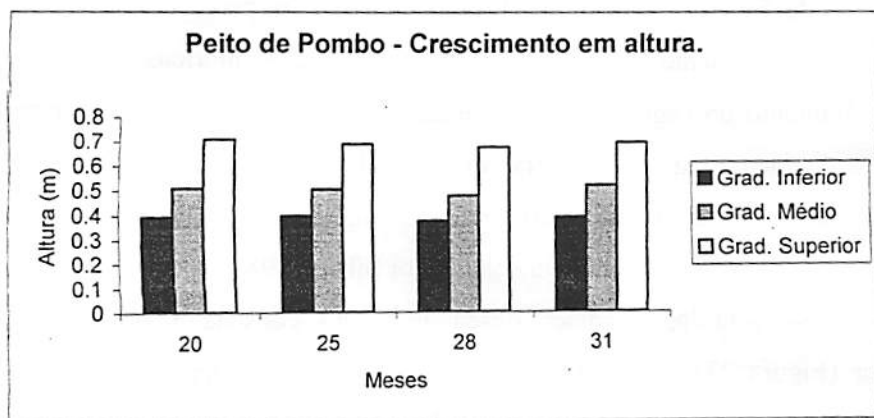


FIGURA 24 Crescimento da espécie *Tapirira guianensis* em circunferência à altura do solo, altura total e área de copa no gradiente inferior, médio e superior, para as idades de 20, 25, 28 e 31 meses.

Observa-se (Figura 23) que, no gradiente inferior, houve alteração no ritmo de crescimento da circunferência à altura do solo a partir dos 28 meses e, no gradiente médio, a partir dos 25 meses. Estes resultados podem estar relacionados a desfolhas ocorridas durante o estudo e melhor visualizadas pelo parâmetro área de copa (Figura 24).

No gradiente superior, houve aumento de crescimento em circunferência a partir dos 25 meses e decréscimo após os 28 meses. Os dados encontrados podem ter sido influenciados por desfolhas anteriores ao período do estudo e

durante as medições, sendo este demonstrado na redução da área de copa (Figura 24). O decréscimo da pluviosidade no período (Figura 6) também pode ser citado como um possível fator da alteração do crescimento, por afetar a disponibilidade de água para as plantas nos gradientes em estudo.

As espécies selecionadas para este estudo sofreram distúrbios durante a condução dos trabalhos, seja por sombreamento ocasionado pela competição com outros vegetais (*Syagrus romanzoffiana*) ou, no caso das demais espécies, desfolhamentos por formigas cortadeiras. Nesse sentido, Ferri (1979) argumenta que estes eventuais distúrbios e a própria fisiologia vegetal (fatores extrínsecos e intrínsecos, respectivamente) influenciam no ritmo de crescimento em diferentes idades. Os hormônios são os principais fatores intrínsecos que regulam o crescimento e o desenvolvimento das plantas. Os fatores extrínsecos são: água, temperatura, os elementos minerais, entre outros, além de possíveis distúrbios ao vegetal, como desfolhamentos, sendo estes determinantes no desenvolvimento vegetal.

5 CONCLUSÕES

Apesar das características químicas e o teor de matéria orgânica variarem de uma área para outra e dentro da mesma área, os gradientes inferior, médio e superior apresentaram solos de baixa fertilidade nas diferentes áreas.

Em média, o gradiente inferior apresentou maior umidade do solo ao longo do período estudado, seguido do gradiente médio e superior. A maior amplitude de variação de umidade foi encontrada no gradiente superior, demonstrando, por meio deste parâmetro, a realidade de campo, ou seja, as piores condições para o estabelecimento da vegetação.

O adensamento do solo não demonstrou ser um parâmetro limitante ao desenvolvimento vegetal no interior da voçoroca, tendo os solos do gradiente superior apresentado maiores adensamentos e temperaturas, seguidos pelos gradientes médio e inferior; e relação inversa destes parâmetros com umidade do solo.

Quanto mais próximo do gradiente inferior, menor a quantidade de argila no solo, ocorrendo o inverso para o teor de areia, demonstrando que as partículas mais finas são retiradas do sistema à medida que o processo de voçorocamento se intensifica.

As variáveis ambientais medidas pela PCA explicaram 56,2% da variância total, indicando a relativa complexidade do ambiente estudado. O gradiente inferior de todas as áreas apresentou maior correlação com umidade do solo, teor de areia e saturação por bases, enquanto os gradientes superiores apresentaram maior correlação com resistência do solo à penetração e silte.

Dentre as espécies analisadas, *Acacia mangium* e *Inga uruguensis* apresentaram maior crescimento no período, enquanto que *Syagrus romanzoffiana*, *Syzygium jambolanum* e *Tapirira guianensis* não se destacaram para os ambientes estudados.

Acacia mangium apresentou melhor crescimento nos sítios mésicos no período do estudo. *Inga uruguensis* destacou-se em crescimento nos sítios úmidos, demonstrando relação positiva entre teor de umidade e crescimento.

6 COMENTÁRIOS FINAIS E SUGESTÕES

As informações obtidas por este trabalho, de certa forma, eram esperadas. Talvez o maior mérito deste estudo seja o de reafirmar conhecimentos difundidos sobre este complexo ambiente denominado voçoroca.

Ao buscar literatura sobre as respostas das espécies arbóreas submetidas à desfolha e as alterações microclimáticas encontradas no ambiente em questão, verificou-se uma escassez muito grande de referências bibliográficas, o que gerou dificuldades para avaliar o desempenho e as potencialidades das espécies florestais utilizadas, diante de eventos como os citados neste trabalho.

Não foi pretensão deste estudo esgotar o assunto. Ampliar e continuar as buscas se faz necessário. Por se tratar de um assunto pouco estudado, de exaustiva coleta de dados e, ainda, devido ao caráter complexo das variáveis ambientais, este trabalho estará sujeito a críticas, que poderão contribuir para o aperfeiçoamento de novas pesquisas sobre o assunto.

Como sugestões para estudos futuros, indicam-se: realizar análise textural nas profundidades de 0-20, 20-40 e 40-60cm, visando explicar variações ocorridas na umidade e adensamento do solo nas diferentes profundidades; realizar estudos de regeneração natural ao longo dos gradientes de voçorocas e relacioná-los com as variáveis ambientais encontradas; estudo da ecologia de formigas cortadeiras nestes ambientes alterados, incluindo os critérios de seleção destes desfolhadores sobre as diferentes espécies e idades e, ainda, os danos ao desenvolvimento dos vegetais por estas desfolhas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAHIA, V.G.; RIBEIRO, A.V.R. **Conservação do solo e preservação ambiental**. Lavras: UFLA, 1998. 104p.
- BAK, P. **How nature works, the science of self-organized criticality**. Oxford: University, 1997. 212p.
- BARBEDO, C.J.; BILIA, D.A.C. Longevidade de sementes de *Inga uruguensis* Hook et Arn. E temperatura para germinação. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE DE BOTÂNICA DE SÃO PAULO, 10., 1994, Santos. **Resumos...** Santos: Sociedade Botânica de São Paulo, 1994. p.93.
- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. São Paulo: Ícone, 1990.
- BOTELHO, S.A. et al. **Implantação de mata ciliar**. Belo Horizonte: CEMIG; Lavras: UFLA, 1995. 28p.
- BRAGAGNOLO, N.; MIELNICZUK, J. Cobertura do solo por palha de trigo e seu relacionamento com a temperatura e umidade do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.369-374, 1990.
- CARVALHO, P.E.R. Comportamento de essências florestais antivas e exóticas em dois locais do estado do paraná. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 4., 1982, Belo Horizonte. **Anais...** São Paulo: SBS, 1982. p.262-266.
- CLARKSON, D.T. Adapta es morfológicas e fisiológicas das plantas a ambientes de baixa fertilidade. In: SIMPÓSIO SOBRE RECICLAGEM DE NUTRIENTES E AGRICULTURA DE BAIXOS INSUMOS NOS TRÓPICOS, 1984, Ilhéus. **Anais...** Ilhéus: CEPLAC/Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1985. p.45-75.
- COMISSAO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomenda es para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. Viçosa: CFSEMG, 1989. 176p.
- CORRÊA, A. **Controle das voçorocas**. 2003. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/search/planets/coluna20/coluna20.html>>. Acesso em: 10 ago. 2003.

CORRÊA, M.P. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional / IBDF, 1984. v.6, 670p.

CURI, N.; SANTANA, D.P. Pedologia e fertilidade do solo: interações e aplicações. Brasília: MEC/ESAL/POTAFOS, 1988. 83p.

DAVIDE, A.C. Seleção de espécies vegetais para recuperação de áreas degradadas. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO E SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1/2., 1994, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: FUPEF, 1994. p.111-122.

DAVIDE, A.C. et al. Comportamento de espécies florestais de mata ciliar em área de depleção do reservatório da Usina Hidrelétrica de Camargos – Itutinga, MG. *Revista CERNE*, Lavras, v.2, n.1, p.20-34, 1996.

DAVIDE A.C.; FARIA, J.M.R. Recomposição de matas ciliares em dois sítios às margens da represa de Camargos – Itutinga, MG. In: FOREST' 94 – SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE ESTUDOS AMBIENTAIS SOBRE ECOSISTEMAS FLORESTAIS, 3., 1994, Porto Alegre. **Resumos...** Porto Alegre, 1994. p.46-47.

DE SOUZA, F.A.; SILVA, E.M.R. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J.O. (Ed.). **Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas.** Lavras: Universidade Federal de Lavras, 1996. p.255-290.

DIAS, L.E.; FRANCO, A.A.; CAMPELO, E.F.C. Dinâmica da matéria orgânica e de nutrientes em solo degradado pela extração de bauxita e cultivado com *Eucalyptus pellita* e *Acacia mangium*. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2., 1994, Curitiba. **Anais...** Curitiba: FUPEF, 1994. p.515-525.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço nacional de conservação de solos: manual e métodos de análise do solo. Rio de Janeiro: EMBRAPA/ SNLCS, 1979.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Serviço nacional de conservação de solos: práticas de conservação de solo. Rio de Janeiro, 1980. 88p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA FLORESTA. **Sistemas de produção**. 2004. Disponível em: <<http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/AcaciaNegra/CultivodaAcaciaNegra/index.htm>>. Acesso em 15 set. 2004.

ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA LUÍS DE QUEIROZ. **Plantas medicinais**. 2004. Disponível em: <<http://www.esalq.usp.br/trilhas/medicina/am01.php>>. Acesso em 15 set. 2004.

FARIAS, C.A. **Dinâmica da revegetação natural de voçorocas na região de Cachoeira do Campo - MG**. 1992. 63p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, MG.

FELIPE, G.M.; POLO, M. Germinação de ervas invasoras: efeito de luz e escarificação. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v.6, p.55-60, 1983.

FERNANDES, L.A.; FURTINI NETO, A.E.; FONSECA, F.C. Crescimento inicial, níveis críticos de fósforo e frações fosfatadas em espécies florestais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, n.6, p.1191-1198, jun. 2000.

FERREIRA, M.C.D. **Compactação do solo por tráfego de máquinas de colheita em um plantio florestal de *Eucalyptus saligna***. 1998. 82p. Tese de Doutorado - Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Piracicaba.

FERREIRA, M.M.; DIAS JÚNIOR, M.S. **Física do solo**. Lavras: UFLA/FAEPE, 1997. 63p.

FERREIRA, S.S.; SILVA, M.L.N. **Estudo de revegetação natural de voçorocas na região de Lavras (MG), Brasil: primeira aproximação**. Lavras: UFLA, 2001.

FERREIRA, V.M.; FERREIRA, R.R.M.; SILVA, M.L.N. Avaliação da estabilização de uma voçoroca por práticas vegetativas no município de Nazareno (MG). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29., 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: SBCS, 2003. CD ROM.

FERRI, M.G. **Fisiologia vegetal**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 1979.

FIGLIOLIA, M.B. Maturação de sementes de *Inga uruguensis* Hook. Et Arn. associada à fenologia reprodutiva e à disposição de sementes em floresta ripária do rio Moji-Guaçu, município de Moji-Guaçu. 1993. 150p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba.

FRANCO, A.A. Fixação de nitrogênio em árvores e fertilidade do solo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.19, p.253-261, 1984.

FRANCO, A.A. et al. Revegetação de solos degradados. Rio de Janeiro: EMBRAPA/ CNPDS, 1992. 9p. (Comunicado Técnico, 9).

FREIRE, O. Apontamentos de edafologia. Piracicaba: Serviços Gráficos Degaspari, 1984. 317p.

GALETI, P.A. Conservação do solo: reflorestamento, clima. 2.ed. Campinas: Instituto Campineiro de Ensino Agrícola, 1989. 286p.

GARDNER, W. H. Water content. In: KLUTE, A. (Ed.). *Methods of soil analysis*. Part I., Madison, Winconsin: 1986. Cap.21, p.493-544. (Agronomy Monograph, 9).

GIAROLA, N.F.B. Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de Itutinga/ Camargos (MG). 1994. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras.

GONÇALVES, J.L. de M. Propriedades físico-químicas dos solos vs exigências nutricionais de espécies florestais de rápido crescimento. Piracicaba: IPEF, 1988. 12p. (Circular Técnica, 154).

GONÇALVES, S.A.B.; FELIZOLA, E.R.; MOURA, A L. da S. Mitigação de impactos ambientais em uma propriedade rural no DF decorrentes da ação de processos erosivos. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS: ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p.211-214.

GONZÁLES, J.E.; FISHER, R.F. Growth of native forest species planted on abandoned pasture land in Costa Rica. *Forest Ecology and Management*, v.70, p.159-167, 1994.

GROHMANN, F. Porosidade. In: MONIZ, A.C. (Coord.). **Elementos de pedologia**. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos, 1975. p.77-84.

GUÉRIF, J. Résistance em traction dès agrégats terrux: Influence de la texture, de la matière organique et de la teneur em eau. **Agronomie**, v.8, p.379-386, 1988.

HILLEL, D. **Environmental soil physics**. San Diego: Academic, 1998. p.309-339.

IMHOFF, S.; SILVA, A.P.; TORMENA, C.A. Aplicações da curva de resistência no controle da qualidade física de um solo sob pastagem. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1493-1500, jul. 2000.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESTADUAIS. **Centro de previsão do tempo e estudos climáticos**. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/html>>. Acesso em: 10 jan. 2005.

JACKSON, R.D.; TAYLOR, S.A. Thermal conductivity and diffusivity: laboratory methods. In: KLUTE, A. (Ed.). **Methods of soil analysis: part 1**. 2.ed. Madison: American Society of Agronomy, 1986. p.945-955.

JENNY, H. **Factores of soil formation**. New York. Mc Graw-Hill, 1941. 281p.
KENT, M.; COKER, P. **Vegetation description and analysis: a practical approach**. London: Belhaven, 1992. 363p.

KLEIN, V.A.; LIBARDI, P.L.; SILVA, A.P. Resistência do solo à penetração sob diferentes condições de umidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 1998, Poços de Caldas. **Anais... Poços de Caldas: SBEA**, 1998. v.3, p.61-63.

KOPPEN, W.P. **Climatologia, con un estudio de los climas de la tierra**. Mexico: Fondo de Cultura Económica, 1948. 478p.

LOPES, A.S. **Manual de fertilidade do solo**. São Paulo, ANDA/POTAFOS, 1989. 153p.

LOPES, A.S.; SILVA, M.C.; GUILHERME, L.R.G. **Acidez do solo e calagem**. Sao Paulo: ANDA, 1991. (Boletim Técnico, 1).

LOPES, J.A.U. Estimativa de estabilidade de encostas naturais e procedimentos preventivos/ corretivos da engenharia civil: recuperação de áreas degradadas. Curitiba, 1996. (Curso de Atualização, 3).

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP, 1992.

LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. 3.ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2000. v.1.

McCUNE, B.; MEFFORD, M.J. PC-ORD version 4.0: multivariate analysis of ecological data; users guide. Glaneden Beach: MjM Software Design, 1999. 237p.

MEDINA, H.P. Constituição física. In: MONIS, A.C. (Coord.). **Elementos de pedologia.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos. 1975. p.11-20.

MEGURO, M. Métodos em ecologia vegetal. São Paulo: Universidade Federal de São Paulo/Instituto de Biociências/Departamento de Ecologia Geral, 1994. 118p.

MIELNICZUK, J.; CARPENEDO, V.; PEDO, F. Desenvolvimento de raízes em solos compactados. Porto Alegre Lavoura Arrozeira, 1985. v.38, p.42-43.

MILLER, D.E. Effect of subsoiling and irrigation regime on dry bean production in the Pacific Northwest. *Soil Science Society of América Journal*, v.51, p.784-787, 1987.

MILLET, W.A. Produto do núcleo José Reis de divulgação científica da ECA/USP. São Paulo, v.2, n.13, mar./abr. 2003. Disponível em: <<http://www.eca.usp.br/nucleos/njr/voxscentiae/william13.html>>. Acesso em: 10 ago. 2003.

MOORE, I.D.; LARSON, C.L. Na infiltration-runoff model for cultivated soils. *Transactions of the ASAE*, v.23, p.1460-1467, 1980.

MOTTA, P.E.F. et al. Levantamento pedológico detalhado, erosão dos solos, uso atual e aptidão agrícola das terras de microbacia piloto na região sob influência do reservatório de Itutinga / Camargos- MG. Belo Horizonte: CEMIG, 2001. 51p.

NAPPO, M.E. Inventário florístico e estrutural da regeneração natural no sub-bosque de povoamentos homogêneos de *Mimosa scabrella* Bentham, implantados em áreas mineradas, em Poços de Caldas, Minas Gerais. 1999. 87p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. Mangium and other fast-growing acacias for the humid tropics. Washington: National Academy, 1983. p.1-20.

NESMITH, D.S. Soil compaction in double cropped wheat and soyabean on Ultisol. Soil Science Society of America Journal, Madison, v.51, p.183-186, 1987.

OLIVEIRA, T.S. et al. Efeitos de ciclos de umedecimento e secagem sobre a estabilidade de agregados em água de quatro latossolos brasileiros. Revista Brasileira de Ciência Solo, v.20, p.509-515, 1996.

PEDROTTI, A. et al. Resistência mecânica à penetração de um planossolo submetido a diferentes sistemas de cultivo. Revista Brasileira de Ciência do Solo. Viçosa, v.25, n.3, 2001. p.521-529.

PEREIRA, A.R. Contenção estrutural ecológica de encostas. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS: ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SOBRADE, 2002a. p.532-534.

PEREIRA, A.R. Controle e recuperação de processos erosivos com técnicas de Bioengenharia. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS: ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SOBRADE, 2002b. p.535-536.

PEREIRA, J.A.A. Desenpenho de espécies florestais de rápido crescimento em diferentes condições de sítio visando a recomposição de matas ciliares. 1996. 86p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PINHEIRO, C.A.A.; VALCARCEL, R. Dinamismo dos processos erosivos em áreas de empréstimos sob diferentes estratégias biológicas de reabilitação. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS: ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p.440-442.

PIO CORRÊA, M. Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1984. v.2, 756p.

POORTER, L.C.; BONGERS, F. Ecology of tropical forests. Wageningen: Wageningen Agricultural University, 1993. p.79-145.

POZZOBON, M. et al. Desenvolvimento inicial de mudas de nove espécies arbóreas nativas utilizadas no processo de recuperação de áreas degradadas na pedreira Vale do Selke Ltda., Blumenau, SC. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS: ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p.322-324.

PRITCHETT, W.L.; FISHER, R.F. Properties and management of forest soils. New York: J. Wiley and Sons, 1987. 494p.

RANZANI, G. Solos de cerrado. In: FERRI, M.G. (Ed.). SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 1971, São Paulo. Anais... São Paulo, 1971. p.51-92.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1987. 188p.

REICHARDT, K. A água em sistemas agrícolas. São Paulo: Manole, 1990. 188p.

RESENDE, M. Aplicações de conhecimentos pedológicos à conservação de solos. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.11, n.128, p.27-37, ago. 1985.

RESENDE, M. Pedologia: base para distinção de ambientes. Viçosa, MG: NEPUT, 1995. 304p.

RESENDE, M.; REZENDE, S.B. Levantamentos de solos: uma estratificação de ambientes. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, n.9, n.105, p.3-23, set. 1983.

RESENDE, M.; REZENDE, S.B.; CARMO, D.N. Roteiro pedológico I. Viçosa, MG: UFV, 1985.

RODRIGUES, M.P.; SILVA, R.T. da; VALCARCEL, R. A infiltrabilidade como critério discriminante de eficiência conservacionista em reabilitação de área degradada. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADAS: ÁGUA E BIODIVERSIDADE, 5., 2002, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: SOBRADE, 2002. p.202-204.

RODRIGUES, R.R.; GANDOLFI, S. Recomposição das florestas nativas: princípios gerais e subsídios para uma definição metodológica. *Revista Brasileira de Horticultura Ornamental*, Campinas, v.2 n.1, p.4-15, 1996.

SANDANIELO, A. **Estudo do ciclo diário do regime térmico do solo de Viçosa-MG, sob três condições de cobertura.** 1983. 79p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

SANTOS, C.S.V.dos. **Formação de camadas superficiais adensadas em solo argiloso em resposta a flutuações de umidade.** 2000. 71p. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

SCHROEDER, D. *Soils-facts and concepts.* Otash: Institute, Em/ Swilzerland, 1984. 140p.

SECRETARIA DA AGRICULTURA. **Manual de conservação do solo.** Porto Alegre, 1983. p.15-192.

SEIXAS, F. **Compactação do solo devido à mecanização florestal.** Piracicaba: IPEF, 1988. 10p. (Circular Técnico, 163).

SILVA, A.C. **Relação entre voçorocas e solos na região de Lavras (MG).** 1990. 124p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura de Lavras, Lavras, MG

SILVA, A.T. **Plano de recuperação de área degradada (PRAD) para um trecho de floresta estacional aluvial (Mata Ciliar) situado no Sítio Cervo II, município de Lavras, Minas Gerais.** Lavras, MG, 2001. 35p.

SILVA, M.A. **Simulação do ataque de formigas cortadeiras e seus efeitos no crescimento inicial de *Eucaliptus grandis*.** 1998. 66p. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SILVA, M.L.N. **Conservação e planejamento de uso do solo.** In: MARQUES, J.J. et al. *Solo no contexto ambiental.* Lavras: UFLA/ FAEPE, 2001. p.111-115.

SILVA JÚNIOR, R.L. **Variabilidade espacial do índice de cone correlacionada com mapas de produtividade**. 2001. 132p. Dissertação de Mestrado - Escola Superior de Agricultura Luíz de Queiroz, Piracicaba.

SOFTWARE, A. **Árvores do Brasil**. 2004. Disponível em: < <http://www.alicesoftware.com/webs/portdemo/11.htm>>. Acesso em 15 set. 2004.

SOUZA, P.A. et al. Estabelecimento de espécies arbóreas em recuperação de área degradada pela extração de areia. **Revista CERNE**, Lavras, v.7, n.2, p.43-52, 2001.

STOLF, R. Teoria e tese experimental de fórmulas de transformação dos dados de penetrômetro de impacto em resistência do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.15, n.3, p.229-235, set./dez. 1991.

STOLF, R.; FERNANDES, J.; FURLANI NETO, V.L. **Recomendação para o uso do penetrômetro de impacto: modelo IAA/PLANALSUCAR-STOLF**. 1983. p.1-9. (Série Penetrômetro de Impacto. Boletim Técnico, 1).

TIETE. **Flora Tiete. Biblioteca**. Disponível em: <<http://www.floratiete.com.br/biblioteca.htm#inga>>. Acesso em: 15 set. 2004.

TOPP, G.C.; GALGANOW, Y.T.; WIRES, K.C. **Non limiting water range (NLWR): an approach for assessing soil structure**. Ottawa: Soil Quality Evaluation Program, 1994. 96p. (Technical Report, 2).

TORMENA, C.A.; SILVA, A.P. da; LIBARDI, P.L. Caracterização do intervalo hídrico ótimo de um Latossolo Roxo sob plantio direto. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v.22, p.573-581, 1998.

TURNBULL, J.W. Six phyllodinous acacia species for planting in the humid tropical lowlands. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.19, p.39-73, jun. 1984.

VIEIRA, A.R.R.; FEISTAUER, D.; SILVA, V.P. Adaptação de espécies arbóreas nativas em um sistema agrossilvicultural, submetidas a extremos climáticos de geada na região de Florianópolis. **Revista Árvore**, v.27, n.5, p.627-634, set./out. 2003.

VIEIRA, M. de N.F. et al. **Levantamento e conservação do solo**. Belém: FCAP. Serviço de Documentação e Informação, 1996. 320p.

WISCHMEIER, W.H; MANNERING, J.V. Relation of soil properties to its erodibility. *Soil Science Society of America*, Madison, v.33, n.1, p.131-137. 1969.

ANEXOS

ANEXO 1

Valores médios de circunferência à altura do solo, nos três gradientes, aos 20, 25, 28 e 31 meses de idade para as espécies estudadas.

CIRCUNFERÊNCIA À ALTURA DO SOLO (centímetro)				
Espécie	Meses			
	20	25	28	31
Gradiente inferior				
<i>Acacia mangium</i>	24,90	28,90	30,10	30,40
<i>Inga uruguensis</i>	12,31	13,86	14,14	14,48
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	--	--	--	--
<i>Syzygium jambolanum</i>	7,22	7,62	7,92	8,04
<i>Tapirira guianensis</i>	3,30	3,50	3,62	3,62
Gradiente médio				
<i>Acacia mangium</i>	23,90	30,50	32,30	33,70
<i>Inga uruguensis</i>	11,58	13,32	13,89	14,37
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	4,54	4,70	4,96	5,04
<i>Syzygium jambolanum</i>	7,24	7,58	7,88	7,89
<i>Tapirira guianensis</i>	3,99	4,22	4,35	4,46
Gradiente superior				
<i>Acacia mangium</i>	16,3	22,9	26,1	28,4
<i>Inga uruguensis</i>	12,12	12,96	13,47	13,85
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	5,63	6,17	5,97	6,30
<i>Syzygium jambolanum</i>	6,50	6,73	7,05	7,18
<i>Tapirira guianensis</i>	4,68	5,02	5,41	5,41

ANEXO 2

Valores médios de altura total, nos três gradientes, aos 20, 25, 28 e 31 meses de idade para as espécies estudadas.

ALTURA TOTAL (metro)				
Espécie	Meses			
	20	25	28	31
Gradiente inferior				
<i>Acacia mangium</i>	4,70	5,40	5,40	5,50
<i>Inga uruguensis</i>	1,94	2,08	2,06	2,10
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	--	--	--	--
<i>Syzygium jambolanum</i>	0,73	0,75	0,74	0,73
<i>Tapirira guianensis</i>	0,39	0,39	0,37	0,38
Gradiente médio				
<i>Acacia mangium</i>	4,00	5,20	5,20	5,50
<i>Inga uruguensis</i>	2,03	2,24	2,28	2,35
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	0,50	0,53	0,51	0,49
<i>Syzygium jambolanum</i>	1,04	1,08	1,05	1,05
<i>Tapirira guianensis</i>	0,50	0,50	0,47	0,52
Gradiente superior				
<i>Acacia mangium</i>	3,00	4,20	4,70	5,10
<i>Inga uruguensis</i>	2,17	2,26	2,38	2,40
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	0,74	0,62	0,63	0,63
<i>Syzygium jambolanum</i>	1,01	1,03	0,97	1,02
<i>Tapirira guianensis</i>	0,70	0,68	0,67	0,69

ANEXO 3

Valores médios de área de copa, nos três gradientes, aos 20, 25, 28 e 30 meses de idade para as espécies estudadas.

Espécie	ÁREA DE COPA (metro)			
	Meses			
	20	25	28	31
Gradiente inferior				
<i>Acacia mangium</i>	3,60	4,80	4,40	4,20
<i>Inga uruguensis</i>	2,20	2,66	2,59	3,25
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	--	--	--	--
<i>Syzygium jambolanum</i>	0,20	0,22	0,11	0,15
<i>Tapirira guianensis</i>	0,02	0,02	0,01	0,02
Gradiente médio				
<i>Acacia mangium</i>	4,70	6,90	7,50	8,30
<i>Inga uruguensis</i>	2,00	2,88	2,98	3,20
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	0,05	0,05	0,08	0,08
<i>Syzygium jambolanum</i>	0,23	0,22	0,14	0,18
<i>Tapirira guianensis</i>	0,05	0,04	0,02	0,04
Gradiente superior				
<i>Acacia mangium</i>	2,70	5,70	7,00	7,80
<i>Inga uruguensis</i>	1,92	2,64	2,97	3,70
<i>Syagrus romanzoffiana</i>	0,07	0,09	0,09	0,15
<i>Syzygium jambolanum</i>	0,34	0,41	0,27	0,37
<i>Tapirira guianensis</i>	0,07	0,06	0,07	0,06