

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE AGRONOMIA  
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA  
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM CIÊNCIA DO SOLO

TÉCNICAS DE PLANTIO PARA PROTEÇÃO E  
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

CELSO JUNIUS FERREIRA SANTOS

SOB A ORIENTAÇÃO DO PROFESSOR

AVÍLIO ANTONIO FRANCO

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em  
Agronomia - Área de concentração em Ciência do Solo

JULHO DE 1998

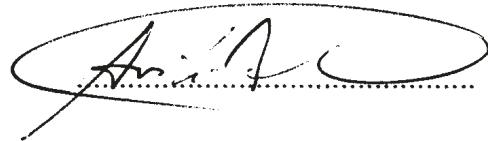
TÍTULO DA TESE

TÉCNICAS DE PLANTIO PARA PROTEÇÃO E  
ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

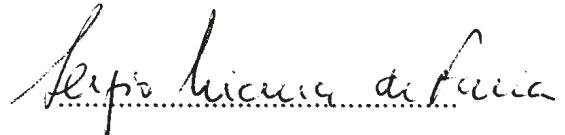
AUTOR

Engº Florestal CELSO JUNIUS FERREIRA SANTOS

Dr. AVÍLIO ANTONIO FRANCO  
(EMBRAPA - Agrobiologia)



Dr. SERGIO MIANA DE FARIA  
(EMBRAPA - Agrobiologia)



Dr. ALUÍSIO GRANATO DE ANDRADE  
(EMBRAPA - Solos)



## AGRADECIMENTOS

Um trabalho dessa natureza é construído com a participação de muitas pessoas. É resultado de um esforço coletivo. Recebi inúmeras contribuições através de incentivo, apoio, financiamento, sugestões, informações, orientações e trabalho direto. No entanto, nada foi mais importante do que o carinho e a solidariedade que recebi, vindos desde os mais humildes até os mais ilustres.

Por isso, nesse momento, gostaria de agradecer essa generosidade, que não se mede, não tem preço, mas que é a alma desse trabalho. Como forma de retribuí-los, ainda que de maneira simbólica, fiz uma tentativa de deixar registrado nesta tese o nome de todos os que me presentearam com aquela força a mais. Tomei a liberdade de citar-lhes apenas o primeiro nome, pois é dessa forma que os amigos são tratados. A Alexandre, Aluísio, Antônio Carlos, Arimatéia, Avílio, Carlos, Cláudio, Cristiane, Elias, Elizabeth, Fahd, Fernando, Lúcia, Marcelo, Márcia, Marcos, Nei, Otávio, Paulo, Ricardo, Rodolfo, Rojane, Romualdo, Sérgio e Verônica, muito obrigado.

Gostaria ainda de agradecer à Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, a Embrapa Agrobiologia, à Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, à Prefeitura Municipal de Niterói e à CAPES.

*A Marília (mãe) dedico este trabalho. Odir (pai), Benedito (avô), vocês estão comigo mais uma vez, agora!*

## SUMÁRIO

<b>RESUMO GERAL</b>	xiii
<b>GENERAL ABSTRACT</b>	xiv
<b>1 - INTRODUÇÃO GERAL</b>	1
<b>2 - REVISÃO DE LITERATURA</b>	5
2.1 - Influência da cobertura vegetal sobre a proteção e a estabilidade de taludes	5
2.1.1 - Efeito da vegetação sobre a erosão do solo	5
2.1.2 - Efeito da vegetação sobre a estabilidade de taludes	8
2.1.2.1 - Conceitos básicos em estabilidade	8
2.1.2.2 - O reforço mecânico das raízes	9
2.1.2.3 - O efeito dos troncos	12
2.1.2.4 - O efeito da vegetação sobre o regime hidrológico do solo	12
2.1.2.5 - Os efeitos do desmatamento	13
2.2 - Recuperação de áreas degradadas	14
2.2.1 - Definições	14
2.2.2 - A importância da simbiose entre microrganismos e plantas	15
2.2.3 - Revegetação de taludes	18
2.2.3.1 - Hidrossemeadura	21
2.2.3.2 - Plantio em placas ou leivas	23
2.2.3.3 - Plantio em almofadas	24
2.2.3.4 - Plantio de arbustivas e arbóreas através de mudas	26
2.2.3.5 - Outras técnicas de revegetação	35
<b>3 - CAPÍTULO I: TÉCNICAS DE REVEGETAÇÃO DE TALUDES</b>	36
<b>3.1- INTRODUÇÃO</b>	36
<b>3.2 -EXPERIMENTO 1 :</b>	
<b>REVEGETAÇÃO DE TALUDE DE CORTE COM ESPÉCIES HERBÁCEAS ATRAVÉS DO PLANTIO EM ALMOFADAS</b>	40

3.2.1 - MATERIAL E MÉTODOS	40
3.2.1.1 - Caracterização geral da área experimental	40
3.2.1.2 - Talude de corte	41
3.2.1.3 - Espécies utilizadas	43
3.2.1.4 - Confecção das almofadas e produção das mudas	44
3.2.1.5 - Plantio	46
3.2.1.6 - Delineamento experimental	47
3.2.1.7 - Parâmetros de avaliação	47
3.2.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
3.2.3. CONCLUSÕES	55
 3.3 - EXPERIMENTO 2 :	
AVALIAÇÃO DE MÉTODOS PRODUÇÃO DE MUDAS E PLANTIO SOBRE O ESTABELECIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE <i>Mimosa caesalpiniifolia</i> (SABIÁ) e <i>Machaerium hirtum</i> (BORRACHUDO) EM TALUDES DE CORTE	56
 3.3.1 - MATERIAL E MÉTODOS	56
3.3.1.1 - Caracterização da área experimental	56
3.3.1.2 - Espécies utilizadas	56
3.3.1.3 - Produção de mudas	57
3.3.1.4 - Substrato e recipientes utilizados	58
3.3.1.5 - Preparo do terreno e plantio	59
3.3.1.6 - Delineamento experimental	61
3.3.1.7 - Parâmetros de avaliação	62
 3.3.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
3.3.2.1 - Comportamento das espécies na fase de viveiro	64
3.3.2.2 - Efeito dos recipientes sobre os parâmetros morfológicos das mudas	64
3.3.2.3 - Comportamento das espécies no campo	69
3.3.2.4 - Avaliação dos métodos de plantio no campo	71
3.3.2.5 - Interação entre espécies e métodos de plantio	75
 3.3.3 - CONCLUSÕES	77
 4.1- INTRODUÇÃO	78

## 4.2 - EXPERIMENTO I:

RELAÇÃO RAIZ/PARTE AÉREA E ARQUITETURA RADICULAR DE <i>Albizia lebbeck, Acacia angustissima e Trema micrantha</i> EM TALUDE DE ATERRO	82
---	----

4.2.1 - MATERIAL E MÉTODOS	82
4.2.1.1 - Caracterização geral da área experimental	82
4.2.1.2 - Talude de aterro	82
4.2.1.3 - Espécies utilizadas	85
4.2.1.4 - Produção de mudas	86
4.2.1.5 - Plantio e adubação	86
4.2.1.6 - Delineamento experimental e parâmetros de avaliação	89
4.2.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	93
4.2.2.1 - Comprimento, biomassa e relação raiz/parte aérea	93
4.2.2.2 - Arquitetura radicular	95
4.2.3 - CONCLUSÕES	99

## 4.3 - EXPERIMENTO 2 :

RELAÇÃO RAIZ/PARTE AÉREA E ARQUITETURA RADICULAR DE <i>M. caesalpiniifolia</i> (SABIÁ) e <i>M. hirtum</i> (BORRACHUDO) SOB DIVERSOS MÉTODOS DE PLANTIO EM TALUDE DE CORTE	100
---	-----

4.3.1- MATERIAL E MÉTODOS	100
4.3.1.1 - Caracterização da área experimental	100
4.3.1.2 - Espécies utilizadas e métodos de plantio	100
4.3.1.3 - Delineamento experimental e parâmetros de avaliação	100
4.3.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	101
4.3.2.1 - Comprimento, biomassa e relação raiz/parte aérea	101
4.3.2.2 - Arquitetura radicular	102
4.3.3 - CONCLUSÕES	107
5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	108

## LISTA DE FIGURAS

## REVISÃO DE LITERATURA

Figura 1 - Talude de corte de estrada exibindo o sistema radicular de uma espécie arbórea, penetrando no horizonte C. Serra do Cantagalo, município do Rio de Janeiro, em junho de 1996.	11
Figura 2 - Medidas físicas de estabilização e preparo de talude rodoviário para revegetação onde foram utilizadas barreiras em madeira e bambu, além de sacos de areia. Rodovia Presidente Dutra - Serra das Araras, em novembro de 1997.	20
Figura 3 - Talude rodoviário preparado para a revegetação. Detalhe das obras de retaludamento, contenção e drenagem. Rodovia Presidente Dutra - Serra das Araras, em novembro de 1997.	20
Figura 4 - Uso combinado de medida física (muro de pneus) e medida biológica (plantio de <i>Mimosa pelita</i> ) para proteção e estabilização de talude. Saibreira da EFUMC, bairro de Jacarepaguá, município do Rio de Janeiro, em novembro de 1997.	21
Figura 5 - Talude rodoviário hidrossemeado, exibindo intenso processo erosivo e sinais de instabilidade. Rodovia BR-101, município de Itaboraí - RJ, em junho de 1996.	22
Figura 6 - Revegetação de talude através do plantio de grama em placas. Rodovia Presidente Dutra, no município de Nova Iguaçu - RJ	24
Figura 7 - Aspecto de taludes rodoviário após 04 anos de plantio, onde foram utilizadas leguminosas arbóreas inoculadas com rizóbio e micorrizadas, adubadas com 3 litros de composto de lixo urbano + 100 g de fosfato de rocha + 10 g de micronutrientes (FTE) por cova (Convênio Prefeitura de Niterói - EMBRAPA Agrobiologia). Município de Niterói - RJ, em novembro de 1997.	27
Figura 8 - Movimento de massa em talude rodoviário revegetado por espécies herbáceas de enraizamento superficial. Município de Águas de Lindóia - SP, 1996.	27
Figura 9 - Elevada deposição de serapilheira por leguminosas arbóreas plantadas em talude rodoviário. Município de Niterói - RJ, em novembro de 1997.	29
Figura 10 - <i>Machaerium hirtum</i> rebrotando a partir de fragmento de raiz encravado numa fratura da rocha	30

Figura 11 - Tombamento de *Acacia mangium* em talude rodoviário, 4 anos após o plantio no campo. Município de Niterói - RJ, em janeiro de 1998.

33

## CAPÍTULO I - TÉCNICAS DE REVEGETAÇÃO DE TALUDES

Figura 12 - Uso combinado de leguminosa arbórea de enraizamento profundo (*Machaerium hirtum*) e leguminosa rasteira (*Arachis pintoi*). Morro Dois Irmãos município do Rio de Janeiro, em agosto de 1995.

38

Figura 13 - Vista geral da área experimental

41

Figura 14 - Vista geral do talude de corte

43

Figura 15 - Almofada de *C. brasiliensis* aos 5 meses de idade, pronta para o plantio, exibindo raízes atravessando o tecido.

45

Figura 16 - Instalação das almofadas em talude de corte.

46

Figura 17 - Representação da abrangência horizontal das almofadas

47

Figura 18 - Almofada de *C. brasiliensis* 14 meses após o plantio definitivo

52

Figura 19 - Plantas de *C. brasiliensis* nascidas espontaneamente a partir de sementes originárias da área experimental

52

Figura 20 - Almofada de *W. paludosa* 14 meses após o plantio definitivo

53

Figura 21 - Almofada de *A. pintoi* 14 meses após o plantio definitivo

54

Figura 22 - Abertura do furo para o plantio com o uso do trado de rosca

60

Figura 23 - Remoção do tubo para o plantio de sabiá no furo

60

Figura 24 - Muda de sabiá produzida em tubo e plantada em furo

61

Figura 25 -Muda de sabiá produzida em saco plástico com torrão (a esquerda) e com raízes expostas, aos 4 meses de idade

66

Figura 26 - Muda de sabiá produzida em tubo de 40 cm de comprimento com torrão (a esquerda) e com raízes expostas, aos 4 meses de idade

66

Figura 27 - Aspecto típico de borrachudo plantado em talude de corte

70

Figura 28 - Aspecto típico de sabiá plantado em talude de corte

71

## CAPÍTULO II - COMPORTAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM TALUDES ARTIFICIAIS

Figura 29 - Vista geral do talude de aterro	83
Figura 30 - Plantio em talude de aterro	87
Figura 31 - <i>A. lebbeck</i> (a esquerda) e <i>A. angustissima</i> plantadas em talude de aterro com o auxílio de fixador de bambu	88
Figura 32 - Representação esquemática dos hábitos radiculares (PRITCHETT, 1979)	90
Figura 33 - Classes de orientação do crescimento das raízes pivotantes. Adaptado de CARNEIRO (1995)	91
Figura 34 - Classificação de MENZIE das deformações da raízes pivotantes. Adaptado de CARNEIRO (1995)	91
Figura 35 - Classificação de MENZIE das deformações da raízes laterais. Adaptado de CARNEIRO (1995)	92
Figura 36 - Classificação de MASON das deformações da raízes laterais. Adaptado de CARNEIRO (1995)	92
Figura 37 - Escavação para estudo do sistema radicular em taludes	94
Figura 38 - <i>A. lebbeck</i> (árvore 1 e árvore 2) em talude de aterro aos 31 meses	95
Figura 39 - <i>A. angustissima</i> (árvore 1 e árvore 2) em talude de aterro aos 31 meses	96
Figura 40 - <i>T. micrantha</i> (árvore 1 e árvore 2) em talude de aterro aos 31 meses	97
Figura 41 - Regeneração natural e o plantio em talude de aterro	99
Figura 42 - Sabiá saco/cova	103
Figura 43 - Sabiá tubete/cova	103
Figura 44 - Sabiá tubo/furo	103
Figura 45 - Sabiá tubete/furo	103

Figura 46 - Sistema radicular de sabiá aos 21 meses, produzida em tubo e plantada em furo em talude de corte, com torrão (esquerda) e destorradado	104
Figura 47 - Borrachudo saco/cova	106
Figura 48 - Borrachudo tubete/cova	106
Figura 49 - Borrachudo tubo/furo	106
Figura 50 - Borrachudo tubete/furo	106

## LISTA DE TABELAS

pág.

## REVISÃO DE LITERATURA

Tabela 1 - Valores do fator C da Equação Universal das Perdas de Solo	7
---	---

**CAPÍTULO I - TÉCNICAS DE REVEGETAÇÃO DE TALUDES**

Tabela 2 - Análise granulométrica do substrato do talude de corte. Média de 3 amostras	42
Tabela 3 - Análise química para fins de fertilidade do substrato do talude de corte. Média de 3 amostras	42
Tabela 4 - Abrangência horizontal (cm) de <i>C. brasiliensis</i> , <i>A. pintoi</i> e <i>W. paludosa</i> aos 5 meses e aos 14 meses de plantio no talude, e taxa de crescimento relativo entre as medições	49
Tabela 5 - Comprimento máximo (cm) dos ramos de <i>C. brasiliensis</i> , <i>A. pintoi</i> e <i>W. paludosa</i> aos 5 meses e aos 14 meses de plantio no talude, e taxa de crescimento relativo entre as medições	50
Tabela 6 - Índice de ocupação do terreno de <i>C. brasiliensis</i> , <i>A. pintoi</i> e <i>W. paludosa</i> aos 5 meses e aos 14 meses de plantio no talude, e taxa de crescimento relativo entre as medições	50
Tabela 7 - Cobertura do solo ( $\text{cm}^2$ ) de almofadas de <i>C. brasiliensis</i> , <i>A. pintoi</i> e <i>W. paludosa</i> aos 5 meses e aos 14 meses de plantio no talude, e taxa de crescimento relativo entre as medições	51
Tabela 8 - Médias por espécie do comprimento (cm), biomassa (g) e relação raiz/parte aérea e diâmetro de colo (mm) de mudas de sabiá e borrachudo, produzidas em sacos plásticos, tubetes e tubos aos 4 meses de idade	64
Tabela 9 - Médias por recipiente do comprimento (cm), biomassa (g) e relação raiz/parte aérea e diâmetro de colo (mm) de mudas de sabiá e borrachudo, produzidas em sacos plásticos, tubetes e tubos aos 4 meses de idade	65
Tabela 10 - Comprimento (cm), biomassa (g), relação raiz/parte aérea e diâmetro de colo (mm) de mudas de sabiá e borrachudo, produzidas em tubete, aos 4 meses de idade	67
Tabela 11 - Relação raiz/parte aérea em biomassa seca recomendada por diversos autores	67

Tabela 12 - Altura média (cm) de sabia em diversas idades e em diferentes substratos	69
Tabela 13 - Altura média (cm) de sabiá e borrachudo aos 5 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte	72
Tabela 14 - Altura média (cm) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte	72
Tabela 15 - Área de copa ( $\text{cm}^2$ ) de sabiá e borrachudo aos 5 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte	72
Tabela 16 - Área de copa ( $\text{cm}^2$ ) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte	73
Tabela 17 - Diâmetro de colo (cm) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte	73
Tabela 18 - Sobrevida (%) de sabiá e borrachudo aos 5 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte	73
Tabela 19 - Sobrevida (%) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte	74
Tabela 20 - Altura média (cm) de sabiá e borrachudo aos 05 meses sob diversos métodos de plantio em talude de corte. Análise em separado e conjunta	75
Tabela 21- Área de copa média ( $\text{cm}^2$ ) de sabiá e borrachudo aos 16 meses sob diversos métodos de plantio em talude de corte. Análise em separado e conjunta	76
<b>CAPÍTULO II - COMPORTAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM TALUDES ARTIFICIAIS</b>	
Tabela 22- Biomassa seca de raízes de diversas espécies arbóreas - (Extraído de Andrade & Faria, 1997)	80
Tabela 23 - Biomassa seca de raízes e relação raiz/parte aérea de diversas espécies arbóreas na Índia - Extraído de Andrade (1997)	80
Tabela 24 - Análise granulométrica do substrato do talude de aterro. Média de 03 amostras	84
Tabela 25 - Análise química do substrato do talude para fins de fertilidade. <b>Média de 03 amostras</b>	84

Tabela 26 - Comprimento máximo, biomassa seca da parte aérea (p.a) e das raízes (r), e relação raiz/parte aérea (rel. r/p.a) de <i>A. lebbeck</i> , <i>A. angustissima</i> e <i>T. micrantha</i> aos 31 meses de idade, em talude de aterro	92
Tabela 27 - Comprimento máximo, biomassa seca da parte aérea (p.a) e das raízes (r), e relação raiz/parte aérea (rel. r/p.a) de sabiá e borraчhudo aos 21 meses de idade, sob diversos métodos de plantio em talude de corte	101
Tabela 28 - Descrição do sistema radicular de sabiá aos 21 meses de idade sob diversos métodos de plantio	102
Tabela 29 - Descrição do sistema radicular de borraчhudo aos 21 meses de idade sob diversos métodos de plantio	105

## RESUMO GERAL

A remoção dos horizontes superficiais, aliada à forte declividade, reduz a disponibilidade de água e nutrientes, tornando difícil o estabelecimento da vegetação em taludes. Neste trabalho testaram-se espécies vegetais herbáceas e arbóreas, sob diferentes métodos de plantio. No primeiro experimento, testaram-se as espécies herbáceas *Canavalia brasiliensis*, *Arachis pintoi* e *Wedelia paludosa*, através do plantio em almofadas sobre talude de corte em saibreira. *A. pintoi* apresentou maior taxa de crescimento e boa cobertura do substrato. Apesar do desenvolvimento inicial satisfatório, *W. paludosa* declinou com o esgotamento da matéria orgânica. *C. brasiliensis* apresentou ramos de grande comprimento, não oferecendo, no entanto, adequada cobertura. No segundo experimento, testaram-se as espécies arbóreas *Mimosa caesalpiniifolia* (sabiá) e *Machaerium hirtum* (borrachudo) a partir de mudas produzidas em sacos plásticos (18,0 x 6,4 cm), tubetes (12,5 x 3,0 cm) ou tubos (40 x 2,5 cm), e plantadas em covas ou furos em talude de corte. Sabiá apresentou crescimento superior, porém borrachudo alcançou maior relação raiz/parte aérea. Mudas produzidas em tubos tiveram crescimento equivalente às produzidas em sacos, porém obtiveram maior relação raiz/parte aérea. Mudas produzidas em sacos e plantadas em covas apresentaram maior desenvolvimento. No terceiro experimento, estudou-se a arquitetura radicular de *Albizia lebbeck*, *Acacia angustissima* e *Trema micrantha* crescendo em talude de aterro, e *M. caesalpiniifolia* e *M. hirtum* em talude de corte. *A. lebbeck* e *M. hirtum* apresentaram características morfológicas mais favoráveis à estabilização de taludes. O plantio em furos induziu as plantas à formação de raízes pivotantes.

## GENERAL ABSTRACT

Steep slope and absence of surface horizons together make difficult the vegetation establishment on cut and fill slopes. In this work, the effect of herbaceous and tree species under different planting system on revegetation of slopes were studied. In the first experiment, the herbaceous species *Canavalia brasiliensis*, *Arachis pintoi* and *Wedelia paludosa* were grown in bags filled with a compost mixture and fixed on the slope. *A. pintoi* showed higher growth rates than both and a good ground cover. In the second experiment, the tree species *Mimosa caesalpiniifolia* and *Machaerium hirtum* were tested. Plants were grown in plastic bags (18,0 x 6,4 cm), short (12,5 x 3,0 cm) or long (40,0 x 2,5 cm) tubes and planted in pits or holes. Although *M. caesalpiniifolia* showed higher growth, *M. hirtum* had higher root/shoot ratio. Seedlings growing in long tubes and plastic bags showed the same growth, but the former had higher root/shoot ratio. In the field, an increase in the plant development was observed when plants were produced in plastic bags and planted in pits. In the third experiment, the root architecture of *Albizia lebbeck*, *Acacia angustissima* and *Trema micrantha* growing on fill slope, and the root architecture of *M. caesalpiniifolia* and *M. hirtum* growing on cut slope were studied. *A. lebbeck* and *M. hirtum* showed the best characteristics to stabilize slopes. Planting in holes induced tap root systems.

# TÉCNICAS DE PLANTIO PARA PROTEÇÃO E ESTABILIZAÇÃO DE TALUDES

## 1 - INTRODUÇÃO GERAL

A mineração, a construção de rodovias, ferrovias e edificações em encostas, demandam a realização de escavações, cortes e aterros no terreno. Em consequência dessas operações, formam-se taludes artificiais. Devido à elevada declividade e a exposição dos horizontes subsuperficiais do solo, os taludes formados são altamente susceptíveis à erosão, escorregamentos, queda de barreiras e de blocos rochosos, ocasionando ainda impactos altamente negativos sobre a paisagem.

A reabilitação de taludes em áreas mineradas e taludes rodoviários exige, com frequência, obras de terraplanagem, terraceamento, drenagem, construção de estruturas de contenção e revegetação (COPPIN & BRADSHAW, 1982; LAW, 1984; WILLIAMS et al., 1990; DARMER, 1992). Dentro desse conjunto de intervenções, a revegetação tem sido empregada apenas com objetivos estéticos e de proteção do talude contra a erosão superficial. No entanto, o papel da vegetação na estabilização de taludes tem sido pouco explorado em virtude da falta de conhecimentos sobre o assunto. Esse fato tem resultado no uso indiscriminado das chamadas medidas físicas em detrimento das medidas biológicas de estabilização de taludes, com desvantagens sob o aspecto econômico, paisagístico e ambiental (GRAY & LEISER, 1982; SCHIECHTL, 1986).

A remoção da camada superficial do solo, associada à elevada declividade, reduzem a disponibilidade de nutrientes e umidade para as plantas, tornando difícil o seu estabelecimento.

BARTH (1989) realizou a avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil, tendo detectado, no que diz respeito à revegetação, os seguintes problemas:

- em função da falta de critérios na aplicação de adubos químicos na fase de preparo do terreno, 75% das áreas plantadas mostraram deficiência em macronutrientes, especialmente nitrogênio;
- aproximadamente 40% das áreas mineradas em recuperação eram dominadas por uma única espécie de gramínea introduzida (capim-gordura), altamente inflamável no período seco;
- em todos os viveiros pesquisados, eram aplicados nitrogênio, fósforo e potássio na mistura do substrato. A inoculação com rizóbio e micorrizas, no entanto, não era frequente;
- nas áreas onde eram feitos plantios exclusivo de espécies arbóreas, sem consorciamento com gramíneas, observou-se erosão acelerada;
- 62% das áreas pesquisadas necessitavam de adubação de cobertura e 50% necessitavam de controle de erosão.

Baseado nestas observações, o autor recomenda a criação de linhas de pesquisa visando a adequação de espécies, controle da erosão, uso de microrganismos e o emprego de espécies arbóreas nativas.

Apesar dessas recomendações, os métodos de revegetação ainda hoje mais utilizados são a hidrossemeadura com o uso de espécies herbáceas e o plantio de grama em placas. Essas técnicas apresentam limitações, tais como:

- são inadequadas às áreas de difícil acesso e com superfícies irregulares, demandando retaludamentos e implantação de sistemas de drenagem superficial (USDA, 1984), o que encarece sua aplicação em grandes áreas mineradas e em voçorocas;
- requerem o uso de equipamentos pesados, ocasionando a compactação do terreno;
- necessitam de pesadas aplicações de matéria orgânica e fertilizantes;
- privilegiam o uso de espécies herbáceas, especialmente gramíneas, cujas raízes normalmente atingem uma profundidade reduzida e possuem baixa resistência à tração, não sendo adequadas, portanto, nos casos onde se faz necessário o ancoramento do solo pelas raízes;
- dão ênfase à função estética, buscando principalmente a mitigação dos impactos sobre a paisagem.

Desse modo, conclui-se que é necessário o desenvolvimento de novas técnicas de revegetação de taludes, baseadas nos seguintes preceitos:

- uso de técnicas intensivas em mão-de-obra, privilegiando o uso de insumos locais de baixo custo, procurando superar as limitações impostas pelas condições de campo com custo mínimo de implantação;
- associação entre plantas e microrganismos através da produção de mudas micorrizadas e, no caso de leguminosas que nodulam, inoculadas com estirpes eficientes de rizóbio, reduzindo-se ao mínimo a aplicação de fertilizantes e matéria orgânica, buscando dessa forma a sustentabilidade do sistema;
- seleção de espécies tolerantes ao estresse hídrico, à elevada acidez e à baixa disponibilidade de nutrientes;
- utilização de uma combinação equilibrada de espécies herbáceas, arbustivas e arbóreas, sempre que possível;
- exploração de todas as funções que a vegetação pode exercer, inclusive na estabilização de taludes, utilizando espécies com sistema radicular capaz de penetrar em camadas coesas de subsolo, ancorando camadas sobrejacentes menos consolidadas;
- utilização de espécies vegetais rasteiras com a capacidade de alastramento sobre a superfície, reduzindo-se assim o nº de propágulos ou mudas plantadas por unidade de área.

Na seleção de espécies para este fim, as leguminosas merecem destaque. Leguminosas associadas a bactérias diazotróficas e fungos micorrízicos proporcionam o rápido recobrimento do terreno, incorporação de N ao sistema e mobilização de nutrientes das camadas mais profundas do solo, mesmos nas mais adversas condições.

A grande maioria das leguminosas arbóreas associam-se a bactérias diazotróficas, o que lhes oferece a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (FARIA, 1994). O plantio de mudas inoculadas com rizóbio tem sido há muito recomendada, apresentando efeito positivo sobre o seu desempenho no campo (DÖBEREINER, 1967). Além disso, a inoculação com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares (MVA) tem possibilitado melhorar o aproveitamento dos nutrientes do solo, especialmente o fósforo (SIQUEIRA & FRANCO, 1988; MONTEIRO, 1990; SOUZA & SILVA, 1996). Isso faz com que algumas espécies apresentem alto índice de sobrevivência e rápido crescimento, mesmo em solos ácidos e pouco férteis, dispensando a adubação nitrogenada e com aplicação de quantidades mínimas dos demais nutrientes (FRANCO et al., 1991; 1992).

Baseado nesses princípios, o presente trabalho visa desenvolver técnicas simplificadas e de baixo custo para a revegetação de taludes, testando diferentes espécies, técnicas de produção de mudas e métodos de plantio, buscando ainda avaliar parâmetros associados a sua eficiência na estabilização do terreno.

## 2 - REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1- Influência da cobertura vegetal sobre a proteção e a estabilidade de taludes

De uma maneira geral, a atuação da cobertura vegetal se dá no sentido de reduzir a intensidade dos agentes do clima no maciço natural (PRANDINI et al., 1976), exercendo um importante papel no controle da erosão do solo e dos movimentos de massa (PRANDINI et al., 1976; GRAY & LEISER, 1982; GUIDICINI & NIEBLE, 1983). As técnicas de plantio e seleção de espécies para revegetação de taludes como medida estabilizante devem ser baseadas no conhecimento dos mecanismos que atuam nesse processo. Nesse capítulo serão abordados alguns conceitos básicos em estabilidade de taludes, com a finalidade de facilitar a compreensão do efeito específico de cada componente da vegetação. Foram considerados apenas os aspectos relativos à estabilidade de taludes artificiais (ou de escavação), onde ocorreu a remoção ou a inversão dos horizontes superficiais do solo. Ênfase será dada à análise de sua influência sobre os movimentos de massa, assunto até o momento pouco explorado, dada a falta de dados experimentais em nossas condições.

#### 2.1.1- Efeito da vegetação sobre a erosão do solo

BERTOM & LOMBARDI NETO (1985) descrevem o mecanismo de erosão hídrica da seguinte maneira: ao atingir o terreno, as gotas de chuva desprendem as partículas de solo no local do impacto; transportam por salpicamento as partículas desprendidas; e imprimem energia, em forma de turbulência, à água de superfície. A água que escorre sobre a superfície de um terreno, principalmente nos minutos iniciais, exerce uma função transportadora.

Segundo os autores, a cobertura vegetal é a defesa natural de um terreno contra a erosão. O efeito da vegetação pode assim ser descrito:

- proteção contra o impacto direto das gotas de chuva;
- dispersão da água interceptando e evaporando-a antes que atinja o solo;
- decomposição das raízes que, ao formarem canalículos, aumentam a infiltração da água;
- melhoria da estrutura do solo pela ação da matéria orgânica, que ao formar agregados, aumenta sua capacidade de retenção de água
- diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo aumento do atrito na superfície.

Segundo a Equação Universal de Perdas de Solo, as perdas por erosão são função de diversos fatores, dentre os quais o fator C, que se refere especificamente à proteção proporcionada pela cobertura vegetal do terreno.

A vegetação influi sobre a erosão em 3 diferentes níveis correlacionados entre si. São eles: o dossel superior, a vegetação rasteira e os resíduos orgânicos sobre o terreno. Para um solo descoberto, o valor de C pode ser igual a 1. Para uma cobertura de solo bem desenvolvida, C pode alcançar valores tão baixos quanto 0,003. Isto corresponde a uma redução da erosão de mais de 300 vezes em relação ao solo nu (Tabela 1).

Tabela 1 - Valores de C da Equação Universal das Perdas de Solo - Adaptado de GRAY & LEISER (1982)

Tipo e altura do dossel <sup>1</sup>	Grau de cobertura do dossel (%) <sup>2</sup>	Tipo <sup>3</sup>	cobertura rasteira do solo (%)			
			0	40	80	95-100
Sem dossel, veget.rasteira c/ parte aérea em contato solo	0	A	0,45	0,10	0,013	0,003
		B	0,45	0,15	0,043	0,011
Dossel de herbáceas de maior porte (0,5 m de altura) 1	50	A	10,26	0,07	0,012	0,003
		B	0,26	0,11	0,039	0,011
Idem 1	75	A	0,17	0,06	0,011	0,003
		B	0,17	0,09	0,038	0,011
Arbustes e herbáceas de 1 maior porte (2,0 m de altura) 1	50	A	0,34	0,09	0,012	0,003
		B	0,34	0,13	0,041	0,011
Idem 1	75	A	0,28	0,08	0,012	0,003
		B	0,28	0,12	0,040	0,011
Arvores com un dossel único, 1 sem estrato inferior (4,0 m )1	50	A	0,39	0,09	0,013	0,003
		B	0,39	0,14	0,042	0,011
Idem 1	75	A	0,36	0,09	0,012	0,003
		B	0,36	0,13	0,041	0,011

1 Altura média da queda das gotas de chuva até a superfície do terreno;

2 Projeção das áreas de copa sobre o terreno;

3 A: cobertura com grama ou outra herbácea rasteira Semelhante, com camada orgânica ou liteira com pelo menos 5 cm de profundidade.

B: cobertura com herbáceas de folha larga, com enraizamento lateral esparsos próximo à superfície do terreno e/ou resíduos orgânicos não decompostos.

De acordo com a tabela acima, a porcentagem de cobertura rasteira exerce maior influência sobre as perdas de solo do que a cobertura proporcionada pelo dossel de arbustivas e arbóreas.

Ainda assim, avaliando o efeito de atividades agrícolas em áreas tipicamente florestais das Filipinas, ONODERA (1992) quantificou os sedimentos produzidos por uma chuva de 170 mm sobre encostas com diferentes coberturas vegetais, obtendo os seguintes resultados: solo nu, cerca de 2,8 t/ha; cultura agrícola (gengibre), 2,0 t/ha; reflorestamento aos 03 anos de idade ou pastagem, de 0,3 a 0,8 t/ha.

## 2.1.2 - Efeito da vegetação sobre a estabilidade de taludes

### 2.1.2.1 - Conceitos básicos em estabilidade

Segundo GUIDICINI & NIEBLE (1983), as propriedades mais significativas dos materiais no estudo da estabilidade, são o ângulo de atrito interno e a coesão.

Os efeitos da vegetação sobre a estabilidade de taludes são, em sua maioria, no sentido de proporcionar uma coesão aparente ao substrato (GUIDICINI & NIEBLE, 1983; PRANDINI et al., 1976).

Dentre os diversos tipos de movimento de massa, escorregamentos são aqueles que mais interessam no caso em estudo. Escorregamentos ou deslizamentos são definidos como movimentos rápidos, de curta duração, de massas de terreno bem definidas quanto ao seu volume, cujo centro de gravidade se desloca para baixo e para fora do talude. Rupturas ao longo de uma superfície de escorregamento estão associadas a uma diminuição da resistência ao cisalhamento (GUIDICINI & NIEBLE, 1983).

A vegetação, especialmente a arbórea, auxilia na prevenção de movimentos de massa, especialmente em escorregamentos de pouca profundidade (GRAY & LEISER, 1982; ABE & ZIEMER, 1991). As formas possíveis da atuação da vegetação arbórea sobre o balanço de forças na encosta incluem: o reforço mecânico das raízes, o efeito dos troncos e o efeito da vegetação sobre o regime hidrológico do solo.

### 2.1.2.2 - O reforço mecânico das raízes

As raízes reforçam mecanicamente o solo (PRANDINI, 1976; GRAY & LEISER, 1982; ABE & ZIEMER, 1991).

PRANDINI et al. (1976) em trabalho de revisão sobre o assunto, cita experimento onde determinou-se o efeito do reforço do sistema de raízes sobre a resistência ao cisalhamento de solos através de ensaios “*in situ*”, em blocos moldados contendo raízes vivas. Os resultados mostraram um incremento de resistência diretamente proporcional ao aumento da densidade de raízes.

O aumento de resistência é atribuído a um acréscimo na coesão aparente do solo. Em condições de solo saturado, a estabilidade do solo é muito sensível a coesão. Como a coesão natural do solo é reduzida, o reforço das raízes proporciona uma “coesão aparente”, que se constitui no fator de maior peso na estabilidade da encosta (GRAY & LEISER, 1982).

Ainda em PRANDINI et al. (1976), investigou-se o efeito das raízes na resistência do solo, através de ensaios de cisalhamento em laboratório, em amostras também portadoras de raízes vivas. Seus resultados mostram que as resistências de pico e residual foram, em geral, aumentadas de duas a quatro vezes, respectivamente, pela presença de raízes. A partir desses resultados, conclui que a contribuição das raízes no aumento da resistência ao cisalhamento é função dos efeitos combinados de densidade de raízes, sua forma, tamanho, distribuição e resistência à tração.

Através de testes com amostras de solo contendo raízes, TERWILLIGER & WALDRON (1990), ABE & ZIEMER (1991) desenvolveram modelos matemáticos que quantificam a contribuição das raízes sobre a resistência do solo ao cisalhamento.

Citando WALDRON (1977) e WU (1976) ABE & ZIEMER (1991a,b) apresentaram as seguintes equações:

$$RC = c + \sigma \tan\phi + \Delta S \quad (1)$$

onde

$RC$  = resistência ao cisalhamento de um solo com raízes;  $c$  = coesão do solo;  $\sigma$  = tensão normal;  $\phi$  = ângulo de atrito interno do solo;  $\Delta S$  = contribuição das raízes à resistência ao cisalhamento do solo

$$\Delta S = 1,15 \text{ TR(AR/A)} \quad (2)$$

$TR$  = resistência máxima à tração da raiz;  $AR/A$  = relação entre a área seccional da raiz e a superfície da zona de cisalhamento

Na equação (1), observa-se que  $\Delta S$  representa a contribuição das raízes à resistência ao cisalhamento do solo. Na equação (2), vemos que  $\Delta S$  é proporcional à área seccional das raízes e à sua resistência à tração.

ABE & ZIEMER (1991) demonstraram que o reforço das raízes é importante onde as mesmas podem crescer entre fraturas da rocha matriz ou penetrar em camadas de rochas semi-decompostas (horizonte C). Essa situação é bastante frequente em taludes onde uma camada de solo relativamente rasa, de baixa coesão natural, encontra-se sobre a rocha matriz granítica. Nessas condições, a superfície de escorregamento normalmente ocorre no contato entre elas, especialmente quando há uma elevação temporária do lençol freático durante fortes chuvas.

Em trabalho correlacionando a frequência da ocorrência de cicatrizes de escorregamento e a distância entre estas e as árvores, HAWLEY & DYMOND (1988) provaram ser possível desenvolver modelos que permitam comprovar o efeito estabilizador e calcular o espaçamento ideal de plantio visando prevenir a ocorrência de deslizamentos.

WU & SIDLE (1995) apresentam modelo de distribuição da estabilidade de encostas em bacias florestais com alta declividade levando em conta o manejo da cobertura florestal. De uma maneira sintética, GRAY & LEISER (1982) resumiram o efeito das raízes da seguinte maneira: as raízes laterais mantêm o solo umido, numa massa monolítica; enquanto isso, o conjunto de raízes verticais (raiz principal pivotante e raízes secundárias verticais) pode penetrar no perfil do solo até camadas mais consolidadas (Horizonte C ou rocha fraturada) ancorando os horizontes superficiais, aumentando consequentemente sua resistência ao deslizamento (Figura 1).

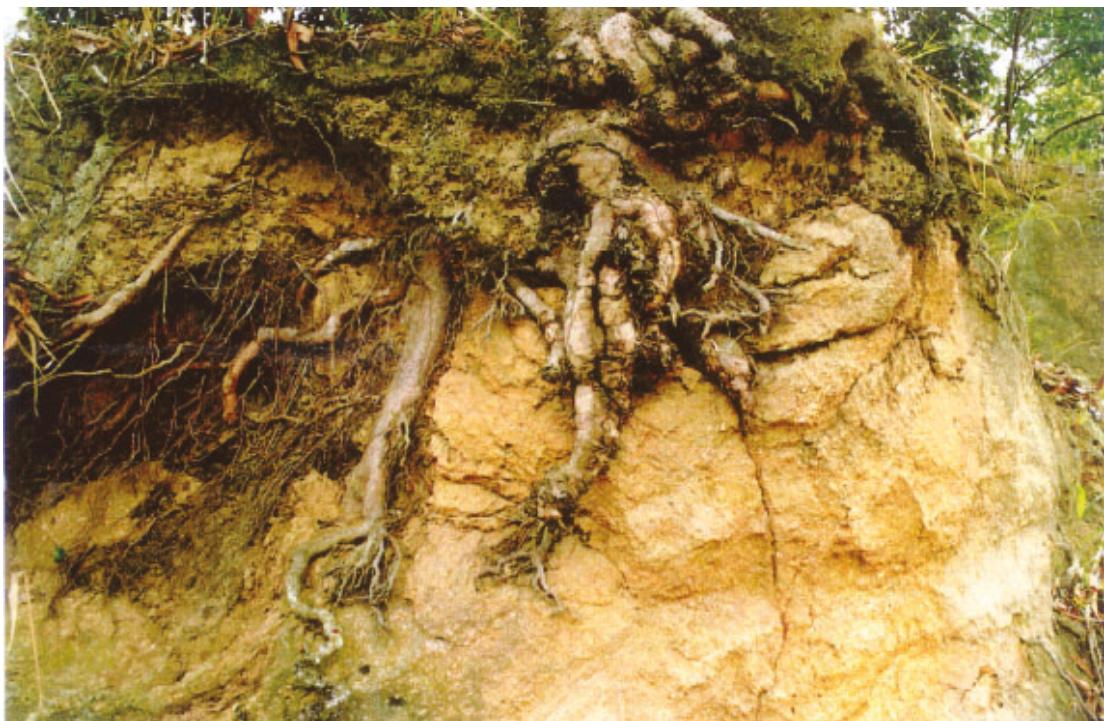


Figura 1 - Talude de corte de estrada exibindo o sistema radicular de uma espécie arbórea, penetrando no horizonte C. Serra do Cantagalo, município do Rio de Janeiro, em junho de 1996.

### 2.1.2.3 - O efeito dos troncos

Segundo GRAY & LEISER (1982), o efeito escora e o efeito arco promovidos pelos troncos das árvores desempenham um importante papel na estabilidade das encostas.

O efeito escora se manifesta principalmente em escorregamentos rasos, retendo o volume de terra imediatamente a montante do tronco.

O efeito arco se manifesta quando um volume de solo tende a se movimentar entre uma linha de troncos firmemente ancorados em uma camada inferior consolidada. A ação dos troncos das árvores pode ser comparada como escoras para 'arcos de solo' formados nas áreas imediatamente a montante. Estes efeitos se manifestam principalmente nas seguintes condições - solos rasos sobre uma rocha matriz inclinada ou em solos arenosos onde a base do tronco foi profundamente aterrada por sedimentos de montante. Portanto, é provável a ocorrência dessas situações em taludes de aterro, onde o solo apresenta uma coesão muito reduzida.

### 2.1.2.4 - O efeito da vegetação sobre o regime hidrológico do solo

Além do reforço mecânico das raízes e do escoramento dos troncos, a vegetação atua sobre a estabilidade dos taludes através da modificação do regime hidrológico do solo. A retirada de água do subsolo pelas raízes acarreta o desenvolvimento de pressões neutras negativas (sucção), favorecendo à estabilidade do talude. Este efeito deverá ser tanto mais eficaz, quanto mais profundo ou denso for o sistema radicular das plantas (PRANDINI et al., 1976).

GUIDICINI & NIEBLE (1983), consideram que a resistência ao cisalhamento é afetada pelo nível da superfície piezométrica. Assim, quando o nível do lençol freático é rebaixado pelo efeito da evapotranspiração, a resistência ao cisalhamento do solo aumenta.

Os autores destacam ainda que a vegetação atua desviando parte da água que se infiltraria profundamente no maciço, para o escoamento subsuperficial, evitando o desenvolvimento de poropressões positivas, responsáveis pela ocorrência de escorregamentos.

#### 2.1.2.5 - Os efeitos do desmatamento

A influência benéfica da vegetação sobre a estabilidade dos taludes pode ser comprovada ainda pelos efeitos deletérios do desmatamento. Baseado em uma série de resultados experimentais, diversos autores concluíram haver uma relação de causa e efeito entre a remoção da cobertura vegetal e a ocorrência de movimentos de massa (SWANSTON, 1975; GRAY & LEISER, 1982).

PRANDINI et al. (1976) descreveram uma série de fatores que tendem a reduzir o coeficiente de segurança de uma encosta desmatada. São eles:

- a cessação imediata do efeito estabilizador da floresta como um todo sobre as variações térmicas e climáticas, com evidentes reflexos negativos do solo frente as novas taxas de trabalho;
- a cessação imediata de todos os efeitos da parte aérea como a interceptação, a retenção e a evapotranspiração, com evidentes acréscimos no volume de água que atinge o terreno e que infiltra profundamente no maciço;
- a perda da manta orgânica, favorecendo o escoamento superficial e consequentemente a erosão, em detrimento do escoamento hipodérmico ou subsuperficial;
- a elevação do lençol freático, como conseqüência da eliminação da evapotranspiração, com reflexos no grau de saturação do solo superficial e aumento do peso;
- a perda a médio prazo dos efeitos mecânicos do sistema radicular por deterioração dos tecidos vegetais, reduzindo a coesão aparente induzida e consequentemente a própria resistência ao cisalhamento do maciço em questão.

## 2.2 - Recuperação de áreas demadadas

### 2.2.1 - Definições

Segundo CARPANEZZI et al. (1990), ecossistema degradado é considerado aquele que, após distúrbio, teve eliminados os seus meios de regeneração natural, apresentando baixa resiliência. Baseado nessa definição, podemos classificar taludes artificiais como ambientes degradados. Nesses casos, o autor considera a ação antrópica necessária à sua recuperação.

Por outro lado, WILLIAMS et al. (1990) consideram que recuperação significa o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização previamente estabelecida. Implica que uma condição estável será obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. Desse modo, o sítio degradado deverá ter condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem.

Segundo DARMER (1992), no que concerne às áreas mineradas, onde podemos incluir qualquer área que sofreu a remoção de material terroso com a formação de taludes artificiais, “recuperação” combina todas as medidas necessárias para torná-las produtivas e visualmente atraentes novamente. O autor considera que recuperação inclui todo processo que promove a conservação do solo e o uso produtivo da terra de modo a conduzir uma área degradada de volta ao fluxo normal de transformação da paisagem.

GRIFFITH et al. (1994) consideram que a recuperação de áreas mineradas enfrenta como principal problema o restabelecimento de uma relação positiva entre a vegetação implantada e os substratos dos taludes. Isto ocorre tanto nas cavas a céu aberto, como nos depósitos de estérreis, devido, principalmente, à ausência do horizonte A. Segundo esses autores, as técnicas de revegetação devem evoluir no sentido da sinergia ecológica, explorando melhor os mecanismos de sucessão vegetal, em detrimento das chamadas “técnicas do tapete verde”.

## 2.2.2 - A importância da simbiose entre microrganismos e plantas

Na revegetação de áreas degradadas, o custo do transporte pode representar até 3 vezes o custo do plantio, inviabilizando a adição de compostos orgânicos ou a transferência de terra fértil de outras áreas (FRANCO, 1995). Portanto, é necessário o desenvolvimento de técnicas que possibilitem o estabelecimento da vegetação diretamente sobre o substrato ou que minimizem a aplicação desses insumos.

Na seleção de espécies com essa finalidade, as leguminosas assumem papel de destaque. A maioria das leguminosas, além de possuírem a capacidade de formar micorrizas, associam-se a bactérias fixadoras de nitrogênio atmosférico, podendo assim, formar uma simbiose tripartite leguminosa-fungo micorrízico-rizóbio (FRANCO et al., 1996).

O efeito das micorrizas pode ser sumariamente descrito como um mecanismo que permite a maximização da superfície de absorção da raiz e extensão do sistema radicular para novos volumes da solução do solo onde os nutrientes não tenham sido esgotados. O papel dos fungos micorrízicos consiste em estabelecer uma ligação entre as raízes da planta hospedeira com o solo e sua biota através da micorrizosfera, resultando, em geral, em um aumento da capacidade de estabelecimento, desenvolvimento e reprodução das plantas (SOUZA & SILVA, 1996).

Enquanto o fosfato exerce um papel central na associação e na regulação da infecção, micorrizas têm demonstrado aumentar a absorção de outros elementos, principalmente dos pouco móveis no solo (S, Ca, Zn, Mo, Co, Cu). Alguns destes elementos atuam na nodulação e na fixação biológica de N (HASELWANDTER & BOWEN, 1996).

Citando diversos autores, HASELWANDTER & BOWEN (1996) concluíram que a remoção da vegetação, a perda da camada superior e a desestruturação do solo por processos erosivos ou ações mecânicas, como raspagem e revolvimento dos horizontes superficiais, promovem a eliminação parcial ou total dos propágulos dos fungos micorrízicos, o que em geral provoca uma redução drástica na capacidade infectiva e colonização radicular. Isto pode afetar a sucessão de plantas, limitando o número de espécies vegetais capazes de crescer nessas condições. Em relevo de encosta, observou-se que a colonização de raízes e o número de propágulos foram

menores nas posições mais erodidas, indicando que a densidade da população de fungos MA pode ser reduzida pela erosão do solo. Isso comprova a necessidade da inoculação das mudas utilizadas na revegetação de áreas degradadas.

Em experimento realizado no município de Piraí - RJ, onde foi testado o plantio de leguminosas arbóreas em talude de subsolo exposto, observou-se resposta à inoculação com FMVA (FRANCO & FARIA, 1997).

Vários fatores prejudicam o desenvolvimento das raízes, por exemplo, a acidez e a compactação do solo. Os fungos micorrízicos são menos susceptíveis aos fatores de estresse, como a acidez e a seca, do que as raízes. As hifas exercem um importante papel na captação da água para a planta, especialmente quando esta tem menor mobilidade e está confinada aos poros menores.

HASELWANDTER & BOWEN (1996) realizaram uma extensa revisão sobre a importância da inoculação micorrízica sobre o desempenho de leguminosas arbóreas utilizadas na revegetação de áreas degradadas, destacando os seguintes resultados:

- Numa pastagem degradada demonstrou-se que a inoculação de 3 espécies de *Acacia* apenas com rizóbio teve pouco efeito no N total e P da planta. Porém, a inoculação com fungos MA aumentou em mais de 48 vezes o conteúdo de P e em 30 vezes o conteúdo de N acumulados na planta. É provável que isto se deva ao aumento na absorção de P e consequentemente esse fato tenha elevado a fixação de N pelas estirpes nativas do solo com capacidade de nodular. Nesse experimento houve um crescimento de 2,5 a 7 vezes maior em resposta à inoculação com fungos MA, dependendo da espécie de *Acacia*; numa série de estudos em revegetação de rejeitos da mineração de ferro testando a aplicação de “topsoil” e o plantio direto, obteve-se respostas à inoculação micorrízica da ordem de 70 a 400% nas espécies de *Acacia* estudadas; a resposta de *Leucaena leucocephala* à micorrização é pequena quando em altos níveis de fosfato, mas é grande para baixos e médios teores de fosfato no solo. Esta espécie se mostrou altamente dependente das micorrizas, pois a concentração de P necessária à produção máxima em plantas não micorrizadas foi 27 a 38 vezes maior do que para plantas micorrizadas; comparou-se o crescimento de plantas micorrizadas e não micorrizadas com adubação mineral. As espécies consideradas altamente dependentes da miconiza, ou seja, com pelo menos 40% de aumento no crescimento em função da inoculação, incluíram *A. mangium*, *A. auriculiformis*, *Albizia falcataria* e *Albizia lebbeck*.

Da mesma forma, a simbiose com rizóbio é de grande importância para a sustentabilidade de comunidades de plantas e para o processo de sucessão vegetal. A fixação biológica é a principal fonte de N em ecossistemas vegetais terrestres e oferece grandes oportunidades para exploração destas plantas na recuperação de áreas degradadas nos trópicos, onde N é geralmente extremamente limitante.

Baseado nestes princípios, FRANCO et al. (1992) propuseram um modelo de revegetação que consiste no plantio adensado de leguminosas arbóreas de rápido crescimento, inoculadas com rizóbio específico e fungos micorrízicos. Em função da sua capacidade de estabelecimento e desenvolvimento em terrenos ácidos, pobres ou mesmo desprovidos de matéria orgânica, este modelo tem sido aplicado com sucesso em áreas de empréstimo, encostas, taludes rodoviários e áreas mineradas (FRANCO et al., 1992; SANTOS et al., 1994; FRANCO et al., 1996).

Em áreas de mineração de bauxita, por exemplo, FRANCO et al. (1996) implantaram uma série de experimentos testando este modelo de revegetação, cujo objetivo foi reduzir ou eliminar o retorno do horizonte superficial, diminuindo o custo de implantação. Tanto em relação à revegetação do estéril (mistura dos horizontes B e C utilizada para preenchimento das cavas) quanto ao rejeito (resultante da lavagem da bauxita), concluiu-se que o uso leguminosas arbóreas fixadoras de N, uma vez inoculadas e micorrizadas, com aplicação de adubos fosfatados, potássicos e micronutrientes, alcançou os resultados esperados.

Segundo estes autores, a revegetação possibilitou inclusive o estabelecimento das espécies nativas por regeneração natural. Em todos os ensaios, destacou-se a *Acacia mangium*. As espécies que não nodulam pararam de crescer com o esgotamento do N proveniente da matéria orgânica contida no substrato usado na produção das mudas.

### 2.2.3 - Revegetação de taludes

Segundo SCHIECHTL (1986) as medidas de estabilização e recobrimento de taludes com vegetação são convenientes quando :

- existe abundância de material vegetativo;
- as espécies selecionadas se propagam e se estabelecem facilmente;
- devido ao caráter preventivo da intervenção, é possível a substituição ou a associação com obras civis de engenharia;
- é importante o valor estético.

O autor classificou as medidas físico-biológicas para tratamento de taludes em 04 grupos:

- 1) Medidas para proteção da superfície com materiais vivos
- 2) Métodos de estabilização de taludes mediante o emprego de materiais vivos
- 3) Métodos de estabilização de taludes mediante o emprego de materiais vivos e mortos
- 4) Sistemas biotécnicos de drenagem

Segundo DARMER (1992), no que tange às áreas mineradas ou áreas escavadas em geral, as medidas biotecnológicas devem objetivar:

- estabilização das pilhas de rejeitos, taludes de corte e de aterro;
- regularização hidrológica, visando principalmente a redução do escoamento superficial;
- melhoria das condições do sítio;
- estruturação biotecnológica de pontos críticos dos taludes;
- nivelamento das irregularidades do terreno.

No entanto, um pré-requisito para o estabelecimento de uma cobertura vegetal eficiente é o controle da erosão. Nesse aspecto, a revegetação pode ser favorecida pela criação de sítios preparados para a semeadura ou plantio, através da construção de terraços, abertura de sulcos, instalação de barreiras físicas ou barreiras vegetais com espécies de raízes profundas, paralelas às curvas-de-nível (COPPIN & BRADSHAW, 1982; LAW, 1984; SCHECHTL, 1986) (Figuras 2 e 3).

Uma vez adotadas as medidas de controle da erosão, o sucesso da revegetação depende ainda da seleção das espécies e de técnicas de plantio adequadas (Figura 4).

EINLOFT et al. (1997) afirmam que os principais obstáculos à revegetação de taludes são, provavelmente, a falta de solo superficial, a deficiência de nutrientes, a alta declividade e a dificuldade em selecionar espécies para este fim.

Na revegetação de taludes, a aplicação de “topsoil” sem estruturas físicas de retenção pode ser inútil, em virtude do risco de perdas por escorregamento ou erosão superficial. Nessas condições, recomenda-se o plantio direto de espécies pioneiras, a fim de criar uma camada orgânica rica em raízes sobre o substrato. Assim, preconiza-se o uso de espécies herbáceas com raízes finas superficiais plantadas entre faixas de espécies aróreas com raízes profundas (DARMER, 1992).

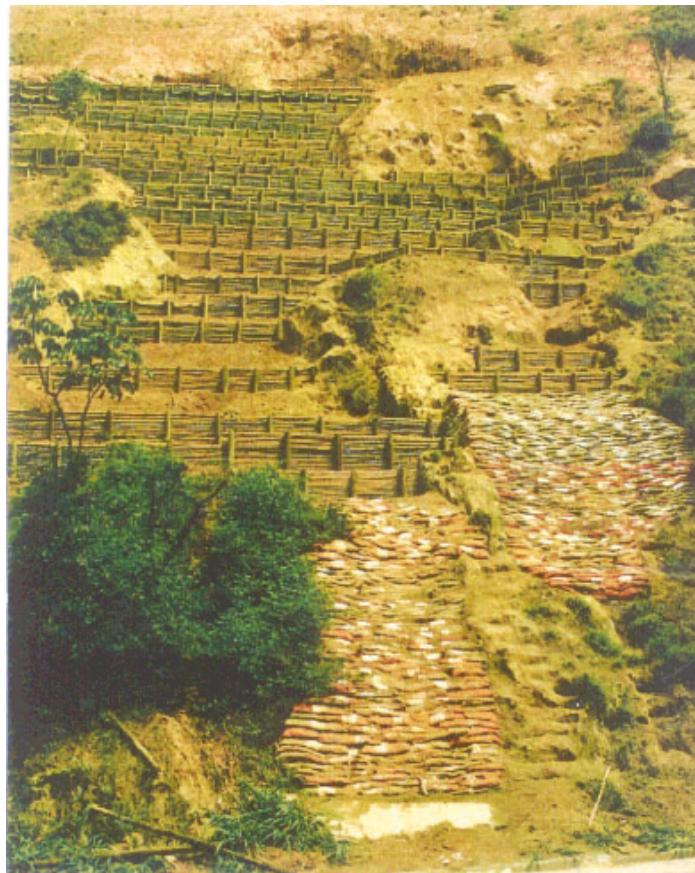


Figura 2 – Medidas físicas de estabilização e preparo de talude rodoviário para revegetação. Foram utilizadas barreiras em madeira e bambu, além de sacos de areia. Rodovia Presidente Dutra - Serra das Araras, em novembro de 1997.



Figura 3 – Talude rodoviário preparado para a revegetação. Detalhe das obras de retaludamento, contenção e drenagem.



Figura 4 – Uso combinado de medida física (muro de pneus) e medida biológica (plantio de *Mimosa pelita*) para proteção e estabilização de talude. Saibreira da EFUMC, bairro de Jacarepaguá, município do Rio de Janeiro, em novembro de 1997.

#### 2.2.3.1 – Hidrossemeadura

Considerado um método rápido e eficiente de revegetação, e indicado para taludes amplos, rochosos ou cascalhentos, providos de acesso para veículos pesados.

Segundo USDA (1984), apresenta, no entanto, algumas desvantagens:

- requer um grande volume de água para aplicação;
- no processo de agitação e bombeamento da mistura, podem haver danos às sementes;
- não é recomendado para solos excessivamente coesos;
- não permite o controle da profundidade da semeadura;
- quando do uso de sementes de leguminosas inoculadas, exige o controle do pH da mistura a fim de evitar a mortalidade das bactérias;
- o tempo de contato entre as sementes e os fertilizantes deve ser reduzido;
- em regiões áridas a umidade da mistura pode induzir a germinação precoce, antes que haja condições climáticas adequadas para o estabelecimento da vegetação.

Embora JESUS (1994) já recomendasse o uso combinado de herbáceas, arbustivas e arbóreas, uma importante limitação da hidrossemeadura é o fato de em geral utilizar apenas espécies herbáceas, que via de regra, apresentam um sistema radicular frágil e pouco profundo. Por isso, apesar de promoverem uma densa cobertura vegetal rasteira, oferecendo boa proteção contra a erosão, não tem efeito contra deslizamentos.

Além disso, é um método que necessita, na maioria dos casos, sistema de drenagem superficial para evitar que o escoamento superficial promova o arraste das sementes e dos fertilizantes (Figura 5 ).

Apesar do alto custo, é um dos métodos de revegetação mais utilizados, especialmente áreas mineradas e em taludes rodoviários (USDA, 1984; COPPIN & BRADSHAW, 1982) em função da facilidade de acesso aos equipamentos e o impacto positivo dos resultados iniciais. Entretanto, necessita de manutenções periódicas que, devido aos custos adicionais que representam, tendem a não serem realizadas, levando ao declínio da vegetação introduzida.



Figura 5 - Talude rodoviário hidrossemeado, exibindo intenso processo erosivo e sinais de instabilidade. Rodovia BR-101, município de Itaboraí - RJ, em junho de 1996.

### 2.2.3.2 - Plantio em placas ou leivas

Utilizado principalmente para o plantio de grama, é indicado para casos onde se deseja o controle da erosão ou resultados estéticos a curto prazo.

Segundo USDA (1984), este método apresenta algumas limitações, tais como:

aplica-se apenas a superfícies regulares e livres de detritos que dificultem o contato das raízes com o substrato;

para melhores resultados, exige escarificação, correção e adubação do substrato, se possível irrigação nos primeiros dias após o plantio;

em taludes com declive superior a 50%, exigem estaqueamento ou aplicação de tela estaqueada para fixação ao terreno (SCHIECHTL, 1986).

as placas são geralmente extraídas de áreas de pastagens, representando a perda da camada superficial do solo no local da extração.

Pelo uso exclusivo de espécies herbáceas nesse sistema de plantio, apresenta a mesma limitação da hidrossemeadura no que diz respeito à estabilização do talude. Outra desvantagem é o enorme volume das placas ou leivas, acarretando em alto custo de transporte e mão-de-obra, especialmente em áreas grandes e de difícil acesso. Assim como a hidrossemeadura, necessita, na maioria dos casos, sistema de drenagem superficial para evitar o deslocamento das placas, e de investimentos na manutenção do plantio (Figura 6).

Embora com algumas limitações, incluindo o alto custo, é considerada uma técnica viável, que vem sendo largamente utilizada em taludes rodoviários.



Figura 6 - Revegetação de talude através do plantio de grama em placas. Rodovia Presidente Dutra, no município de Nova Iguaçu – RJ.

#### 2.2.3.3 - Plantio em almofadas

A revegetação de áreas degradadas deve buscar técnicas que privilegiem o uso de insumos locais e que sejam de baixo custo e intensivas em mão-de-obra, visando sua ampla aplicação, especialmente a nível de pequenos produtores rurais ou pequenas empresas.

Trabalhando em taludes íngremes de cavas a céu aberto de minas de ferro e após tentativas de revegetação através do uso de grama em placas e hidrossemeadura, SILVA (1983) testou a aplicação de sacos de aniagem contendo uma mistura de capim picado, serragem, terra, adubo químico e sementes de gramíneas e leguminosas. Obteve resultados bastante satisfatórios, com custos inferiores às demais técnicas até então utilizadas.

A partir desses resultados, as técnicas de revegetação utilizando sacos ou geotêxteis, chamadas de almofadas, tiveram grande impulso.

Segundo FRANCÊS & VALCARCEL (1994), a almofada constitui-se numa barreira física temporária associada ao plantio de espécies pioneiras, com o propósito de aumentar a rugosidade dos leitos de drenagem, diminuir a energia hidrodinâmica e aumentar a infiltração e a retenção de umidade, propiciando condições para que as sementes germinem e dando suporte para o desenvolvimento das plantas.

Os sacos de ráfia ou de aniagem, largamente utilizados na embalagem de farinha de trigo e outros produtos, são descartados ou vendidos a baixo custo após o uso. A sua alta permeabilidade e decomposição à médio prazo permitem sua utilização na revegetação, pois possibilita a retenção do substrato sem impedir o desenvolvimento vegetal.

EINLOFT et al. (1997) consideram que na avaliação do método de revegetação com sacos de aniagem devem ser consideradas as seguintes hipóteses:

- proliferação de raízes restrita ao substrato no interior dos sacos, o que pode comprometer a eficiência da técnica;
- as espécies plantadas poderão ter maior crescimento inicial, podendo no entanto também entrar em declínio vegetativo mais cedo, caso o sistema radicular não explore o substrato original do talude.

A despeito disto, os autores concluíram que a técnica de revegetação com sacos de aniagem permite um rápido e abundante recobrimento vegetal do talude. A taxa de cobertura, produção de biomassa e de raízes foram superiores a revegetação em covas.

A revegetação em almofadas cria um ambiente favorável ao desenvolvimento da planta, à colonização por organismos e o estabelecimento de espécies invasoras, sendo extremamente eficaz no combate ao processo erosivo. Porém, devido à dificuldade de acesso e ao peso das embalagens, o recobrimento total da superfície do talude com essa técnica pode ser onerosa, principalmente quando envolve uso de equipamentos pesados, adubações de manutenção e irrigação. SOUZA et al. (1997) testaram tratamentos com 50% e 100% de recobrimento da superfície do talude com os sacos. Embora os tratamentos com 100% de recobrimento tenham sido superiores, consideraram-se satisfatórios os resultados obtidos pelos tratamentos com 50% de cobertura, principalmente levando em conta a redução do custo de implantação. Os resultados mostraram ainda que a produção de matéria seca e o comprimento de

raízes variou conforme a composição da mistura de espécies utilizadas, havendo em todos os casos penetração de raízes no substrato original.

Avaliando modificações edáficas e fitossociológicas em áreas revegetadas, DALTÉRIO & VALCARCEL (1998) concluíram que, transcorridos 3 anos de sua implantação, a técnica de plantio em almofadas aumentou a colonização espontânea e detectaram ainda indícios de melhoria das características físicas e no teor de matéria orgânica do substrato.

COSTA et al. (1997) consideram, no entanto que, apesar de tratar-se de técnica viável, deve-se buscar a redução do custo de implantação e buscar formas de plantio adequadas a realidade de cada local.

Para a revegetação de taludes através do uso de almofadas, pode ser vantajoso o uso de espécies vegetais que, plantadas em um ponto, tenham a capacidade de alastrarem-se sobre o terreno, reduzindo o numero de almofadas a serem aplicadas. Nesse grupo de espécies encontram-se as espécies trepadeiras (ex.: siratro, soja perene, kudzu tropical, feijão bravo do Ceará, etc.) e as espécies estoloníferas escandentes (ex.: *Desmodium ovalifolium*, *Arachis pintoi*, *Wedelia paludosa*, etc.)

#### 2.2.3.4 – Plantio de arbustivas e arbóreas através de mudas

Com a finalidade de estabilização geotécnica de taludes rodoviários (Figura 7), áreas mineradas e áreas edificadas, tem sido proposto o plantio exclusivo de leguminosas arbóreas ou o plantio combinado de arbóreas, arbustivas e rasteiras em taludes (BARROSO et al., 1994 a; BARROSO et al., 1994 b). No entanto, ainda são poucas as experiências nesse sentido. Na revegetação de taludes tem sido utilizadas preferencialmente espécies de porte herbáceo. O sistema radicular dessas espécies é, em geral, pouco profundo, concentrando-se nos primeiros 15 cm, principalmente quando se tratam de substratos compactos (SOUZA et al., 1997). Isto reduz os benefícios das raízes na estabilização de taludes contra o risco de movimentos de massa e da erosão superficial (PRANDINI et al., 1976; GRAY & LEISER, 1982; ABE & ZIEMER, 1991) (Figura 8).



Figura 7 - Aspecto de taludes rodoviário após 04 anos de plantio, onde foram utilizadas leguminosas arbóreas inoculadas com rizóbio e micorrizadas, adubadas com 3 litros de composto de lixo urbano + 100 g de fosfato de rocha + 10 g de micronutrientes (FTE) por cova (Convênio Prefeitura de Niterói EMBRAPA Agrobiologia). Município de Niterói - RJ, em novembro de 1997.



Figura 8 – Movimento de massa em talude rodoviário revegetado por espécies herbáceas de enraizamento superficial. Município de Águas de Lindóia – SP, 1996.

Em condições naturais, sem a intervenção humana, dadas as dificuldades oferecidas pelo substrato, é reduzido o número de espécies que se adaptam a essa situação. Em taludes ou mesmo em áreas planas que sofreram a remoção dos horizontes superficiais, a colonização vegetal é extremamente lenta (CORRÊA & LEITE, 1998).

Os métodos tradicionais de revegetação como a hidiossemeadura e o plantio em leivas não têm sido utilizados para introdução de espécies de maior porte, pois apresentam dificuldade de estabelecimento, sendo o plantio através de mudas o mais indicado.

O plantio de mudas de espécies arbustivas ou arbóreas em taludes ingremes de difícil acesso é extremamente difícil. O sucesso de estabelecimento dependerá da escolha criteriosa das espécies e das técnicas de plantio.

As espécies selecionadas deverão apresentar as seguintes características:

- . Apresentar mecanismos de tolerância ao estresse hídrico, sendo que através da associação com fungos micorrízicos é possível aumentar a resistência das plantas à seca (SOUZA & SILVA, 1996).

Capacidade de estabelecimento e rápido desenvolvimento em solos ácidos e pouco férteis. As leguminosas florestais associadas ao rizório e aos fungos micorrízicos têm se mostrado superiores às demais espécies, dispensando a adubação nitrogenada e com aplicação mínima de matéria orgânica e outros nutrientes (FRANCO et al. 1991; 1992; 1995).

- . Copa densa e com amplo diâmetro, além de elevada deposição de matéria orgânica, reduzindo o impacto direto da chuva sobre o terreno (PRANDINI et al., 1976) (Figura 9).

- . Raízes verticais profundas, com elevada resistência à tração, capazes de explorar substratos extremamente coesos (PRANDINI, 1976; ABE & ZIEMER, 1991).

Alta relação raiz/parte área, em comprimento e em biomassa (ANDRADE, 1998).



Figura 9 - Elevada deposição de serapilheira por leguminosas arbóreas plantadas em talude rodoviário. Município de Niterói - RJ , em novembro de 1997.

É extremamente difícil identificar espécies que reunam todas as características desejáveis. BALISTIERI & AUMOND (1997) relatam que, em taludes declivosos em áreas mineradas, ocorreram casos onde não foram alcançados os resultados esperados em função de erros na seleção de espécies.

A ocorrência natural de uma espécie em áreas degradadas tem sido um critério válido para a seleção (CARPANEZZI et al., 1990; SANTANA FILHO et al., 1995, CORRÊA & CARDOSO 1998). Dentre as espécies que se regeneram naturalmente nessa situação, destaca-se *Machaerium hirtum*, espécie encontrada mesmo em situações extremas, vegetando em horizonte C e mesmo em rocha pouco alterada (LORENZI, 1992). Isto se deve a sua capacidade de rebrota a partir de fragmentos de raízes encravados nas camadas mais profundas do terreno e, através da simbiose com rizóbio, fixação do nitrogênio atmosférico (Figura 10).

De acordo com CORRÊA et al. (1998) em áreas do cerrado escavadas até 2,15 m de profundidade, plantas de diversas espécies originaram-se da rebrota de raízes geminíferas. Por outro lado, há ainda as espécies pioneiras como *Trema micrantha* e *Tibouchina granulosa*, que nascem a partir de sementes oriundas de remanescentes florestais próximos. Algumas pteridófitas costumam ocorrer nesses terrenos, bem como gramíneas como *Panicum maximum* e *Melinis minutiflora*. No caso das não leguminosas, no entanto, na ausência de uma fonte de N, podem apresentar um crescimento limitado.



Figura 10 - *Machaerium hirtum* rebrotando a partir de fragmento de raiz encravado numa fratura da rocha.

Outra dificuldade na seleção de espécies reside no fato de que embora algumas delas ocorram espontaneamente, não apresentam um desenvolvimento satisfatório quando introduzidas artificialmente. Além disso, uma mesma espécie pode apresentar comportamentos diferentes em resposta aos diferentes tipos de talude onde são plantadas. Observou-se que, em áreas contíguas, *Trema micrantha* plantada sobre talude de aterro apresentou desenvolvimento muito superior àquelas plantadas sobre talude de corte, com o dobro do diâmetro de copa, aos 15 meses de idade (DAVIDE, 1994). Isto se deve, provavelmente, a uma maior presença de matéria orgânica associada a uma menor coesão do substrato do talude de aterro.

DIAS (1996), por exemplo, apontou diferenças no comportamento de leguminosas arbóreas introduzidas em resposta à presença de camadas compactadas, à acidez do substrato e à adição de nutrientes.

O método de plantio tem profundas implicações sobre o êxito da revegetação, bem como a sua operacionalização. Plantios realizados em cicatrizes de escorregamento utilizando propágulos vegetativos (estacas de caule, rizomas e ramos), em sulcos em curvas-de-nível apresentaram crescimento lento e foram pouco efetivos no controle da erosão hídrica (SILVA FILHO, 1988).

Sempre que possível, levando-se em conta principalmente as condições de acesso, deve-se optar pelo plantio através de mudas. A produção de mudas em viveiros permite uma inoculação micorrízica mais eficiente, melhor aproveitamento das sementes e de propágulos vegetativos. Permite ainda que as mudas produzidas passem por um período de adaptação às condições de campo, através da sua exposição a períodos crescentes de estresse hídrico. Nessas condições, as plantas adquirem uma maior rigidez, maior relação parte raiz/parte aérea, o que será da maior importância para sua adaptação ao sítio. Esse processo é conhecido como endurecimento ou rustificação da muda e é largamente utilizado em silvicultura (PAIVA & GOMES, 1993; CARNEIRO, 1995).

A qualidade da muda é fundamental para o sucesso no plantio definitivo. Um dos fatores que influencia na qualidade da muda produzida é o tipo de recipiente. Ele afeta o estabelecimento e o desenvolvimento das plantas, tanto na fase de produção de mudas quanto no plantio definitivo no campo (TINUS & OWSTON, 1984; PAIVA & GOMES, 1993; CARNEIRO, 1995).

Atualmente, os recipientes mais utilizados são os sacos plásticos, as bandejas de isopor e os tubetes plásticos. Os sacos plásticos tem como vantagem sua maior disponibilidade no mercado e menor preço. No entanto, além de ocupar grandes áreas em viveiros, apresentam alto custo de produção e de transporte para o campo, além do baixo rendimento na operação de plantio, podem ocasionar deformações no sistema radicular, como dobra da raiz pivotante. O enovelamento pode prejudicar o estabelecimento e o desenvolvimento da planta podendo ainda provocar a curvatura na base dos fustes, inclinação e o tombamento das árvores no campo (TINUS & OWSTON, 1984; CARNEIRO, 1995). Esse efeito tende a se agravar quando o plantio é realizado em taludes com declividade acentuada onde se deseja um maior desenvolvimento de raízes verticais para a estabilização do terreno.

A maioria dos tubetes de plástico rígido disponíveis no mercado apresentam menor diâmetro, menor peso, maior possibilidade de mecanização das operações de produção, redução considerável no custo de transporte e no plantio (PAIVA & GOMES, 1993, CARNEIRO, 1995). Esses recipientes apresentam ainda a vantagem de serem reutilizáveis. Essas mesmas características se aplicam, ainda que de forma reduzida, às bandejas de isopor.

Com relação ao plantio definitivo, uma das maiores dificuldades que se enfrenta é o preparo do terreno.

Em taludes com declividade acentuada e de difícil acesso, as operações de transporte de ferramentas, mudas e adubos, abertura de covas, distribuição de mudas e adubos, e plantio são realizadas manualmente. Para a abertura de covas, controle da erosão superficial e acúmulo de umidade, necessita-se ainda da construção de banquetas ou terraços individuais (BERTONI & LOMBARDI NETO, 1985). O corte vertical do talude realizado nessa operação pode, no entanto, vir a desestabilizar localmente o terreno, o que poderia causar o soterramento da muda plantada a jusante. Além disso, a concentração de água pela banqueta pode vir a causar a formação de sulcos erosivos em função da baixa permeabilidade do substrato.

Outra dificuldade encontrada é que as covas raramente podem ultrapassar as dimensões de 0,20 x 0,20 x 0,20 m, alcançando um volume de apenas 8 litros. A abertura de covas maiores implicaria na mobilização e desestruturação de um volume maior do substrato, aumentando ainda mais os focos de erosão e de desestabilização

do talude.

A profundidade reduzida da cova pode ainda, em função da elevada coesão do substrato, dificultar o desenvolvimento e especialmente o aprofundamento das raízes verticais, que segundo ANDRADE (1997) tendem a atrofiarem-se onde ocorre impedimento físico.

Esse é um fato grave, pois a má formação ou a atrofia das raízes pode prejudicar o efeito estabilizador da vegetação sobre o talude. Além disso, árvores que apresentam uma copa alta, densa e monopodial tendem a ser susceptíveis à ação dos ventos, podendo vir a tombar e mobilizar parte do substrato juntamente com as raízes (COUTTS, 1983). Essa “alavanca” causada pela força do vento é conhecida como “efeito vela”. O tombamento da árvore possui um aspecto positivo, uma vez que a árvore tombada pode vir a funcionar como uma barreira de retenção de sedimentos, detritos e propágulos vegetais (Figura 11).



Figura 11 - Tombamenro de *Acacia mangium* em talude rodoviário, 4 anos após o plantio no campo. Município de Niterói - RJ, em janeiro de 1998.

Tendo em vista os aspectos acima abordados e buscando maximizar o efeito esperado da revegetação sobre a estabilidade dos taludes, deve-se atuar na seleção das espécies, técnicas de produção da muda e no preparo do terreno para o plantio.

*Mimosa caesalpiniifolia* (sabiá) e *Machaerium hirtum* (borrachudo) são leguminosas florestais que têm demonstrado capacidade de estabelecimento e desenvolvimento em ambientes extremamente degradados (LORENZI, 1992; CARVALHO, 1994). Além disso, apresentam características complementares, principalmente no que diz respeito a arquitetura de copa e raízes. O uso combinado dessas espécies na revegetação pode proporcionar uma melhor proteção e estabilização de taludes e encostas.

Por outro lado, as técnicas de produção de mudas e de plantio devem evoluir baseada em 03 principios básicos:

É reconhecida a influência dos métodos de produção da muda sobre o desempenho final no campo (CARNEIRO, 1995). A muda ideal para a revegetação de taludes deve apresentar, além do vigor e do perfeito estado fitossanitário, um sistema radicular profundo, de preferência com a raiz pivotante bem definida. Há portanto que se produzir mudas sem restrições ao desenvolvimento das raízes verticais, evitando-se com isso seu enovelamento.

A abertura das covas de plantio devem produzir o menor distúrbio possível sobre o substrato, a fim de evitar o aumento dos focos erosivos e a instabilização do terreno. Para isso é desejável o plantio em covas de volume reduzido, porém com profundidade necessária para o desenvolvimento de raízes pivotantes. Algumas espécies têm demonstrado a capacidade de se desenvolverem em plantios em “furos” com volume extremamente reduzido, mesmo em talude coesos. Em testes preliminares, foram plantadas mudas de sabiá e *Arachispintoi* em furos com apenas 3,8 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade, adubadas com 25 g de fosfato de rocha e 25 g de gesso e 5 g de FTE BR-12 (micronutrientes). Apesar da alta mortalidade inicial, as plantas que sobreviveram foram capazes de se desenvolver (SANTOS, C.J.F - resultados não publicados). Isto demonstra a incrível adaptabilidade e rusticidade dessas espécies, além da enorme capacidade das suas raízes em explorar o substrato, mesmo em condições extremamente desfavoráveis.

A abertura de covas em taludes de corte apresenta baixo rendimento em função do seu alto grau de coesão. A mecanização desta operação permitiria um maior rendimento.

### 2.2.3.5 - Outras técnicas de revegetação

Existem ainda uma série de outras técnicas de revegetação de taludes. SCHIECHTL (1986) apresenta uma enorme variedade de métodos combinando medidas físicas e biológicas para sua proteção e estabilização.

Além disso, têm sido construídos implementos como escarificadoras, semeadoras, plantadoras de mudas e transplantadoras, utilizados especialmente em outros países (USDA, 1984). No entanto, pela falta de acesso a estes equipamentos e ao seu alto custo, têm ainda uso bastante restrito.

A fim de melhorar as características físicas e químicas de taludes de corte, SANTANA FILHO et al. (1997) testaram a aplicação de elevadas doses de composto orgânico de lixo contendo sementes de gramíneas e leguminosas herbáceas, na quantidade de 13 kg/m<sup>2</sup>, tendo alcançado o recobrimento total do terreno num prazo de 6 meses.

Foram desenvolvidos ainda redes, telas e mantas confeccionadas em material plástico, fibra de vidro e fibras vegetais com o objetivo de conservar a umidade, fixar sementes e mudas, além de proteger contra a erosão os taludes recém plantados (USDA, 1984).

Ainda assim, é possível alcançar resultados satisfatórios através de técnicas simplificadas de plantio. Nas zonas de deposição de estéril e taludes de corte foram testadas leguminosas herbáceas e arbustivas de rápido crescimento através de semeadura direta, inoculadas com estirpes específicas de rizóbio, obtendo um recobrimento de cerca de 60% da superfície do terreno (VERÍSSIMO & VALCARCEL, 1992).

### 3 – CAPÍTULO I

#### TÉCNICAS DE REVEGETAÇÃO DE TALUDES

##### 3.1- INTRODUÇÃO

Nos taludes de corte, o substrato apresenta características extremamente limitantes para o estabelecimento e desenvolvimento vegetal (SANTANA FILHO et al., 1995). A remoção dos horizontes superficiais expõe o subsolo que, por não dispor de matéria orgânica, apresenta baixa disponibilidade de nutrientes, baixa capacidade de retenção de umidade e características físicas indesejáveis. Na mineração a céu aberto, por exemplo, o reviramento do solo e o intenso tráfego de máquinas aceleram e intensificam estas limitações (DIAS, 1996).

Um dos problemas mais críticos na revegetação de taludes é o elevado grau de coesão do substrato que, associado a forte declividade, torna escassa a infiltração de água no terreno, reduzindo o volume de água disponível às plantas. Essa elevada coesão ocorre em função do substrato (horizontes B e C) apresentar características físicas semelhantes ao material de origem. No que diz respeito às propriedades físicas, como a resistência à penetração, esses substratos assemelham-se a solos compactados. PRIMAVESI (1981) considera que o efeito do adensamento e a compactação do substrato sobre o crescimento vegetal pode ser diretamente associado à redução da água disponível e à deficiência de oxigênio.

CORRÊA & LEITE (1998) compararam a regeneração natural entre uma área minerada, da qual retirou-se material para aterro até 1,5 m de profundidade, e duas áreas desmatadas contíguas onde não houve a remoção dos horizontes superficiais.

Mesmo após 29 anos sem interferência humana e apesar da presença abundante de fontes de propágulos próximas, a área minerada apresentava-se com apenas 3,7% da superfície recoberta pela regeneração natural, enquanto as áreas desmatadas alcançaram 70% e 85 % de cobertura. Isto deve-se principalmente a ausência de matéria orgânica, bem como aos elevados níveis de compactação da área minerada, que mostravam-se duas vezes maiores, e aos teores de umidade cerca de 30% menores do que nas áreas apenas desmatadas.

Segundo DANIELS (1994) em solos minerados com 5 a 20 anos, concluiu-se que a compactação do solo foi, a longo prazo, o principal fator limitante para o sucesso da revegetação. Solos severamente compactados, com menos de 50 cm de profundidade para desenvolvimento radicular, não retêm água suficiente para suprir uma cobertura vegetal saudável durante os períodos secos.

Ao mesmo tempo, a alta declividade favorece o escoamento superficial e consequentemente o arraste de sedimentos, propágulos vegetais e da matéria orgânica depositada sobre o terreno. Além disso, dada a elevada exposição aos agentes climáticos, as variações de temperatura e umidade diárias são extremas, o que resulta em escassa colonização vegetal.

As experiências em revegetação de taludes de corte tem se concentrado no uso de espécies herbáceas, com pesadas aplicações de matéria orgânica ou de solo transferido de outras áreas, alcançando custos elevados (SANTANA FILHO et al., 1997; SOUZA et al., 1997). Além do alto custo, a aplicação superficial desses materiais pode ser inútil, em virtude do risco de perdas por escorregamento ou erosão DARMER, 1992).

Portanto, recomenda-se o plantio direto de espécies pioneiras, a fim de criar uma camada orgânica rica em raízes sobre o substrato. Assim, preconiza-se o uso de espécies herbáceas com raízes finas superficiais plantadas entre faixas de espécies arbóreas com raízes profundas (DARMER, 1992) (Figura 12).



Figura 12 - Uso combinado de leguminosa arbórea de enraizamento profundo (*Machaerium hirtum*) e leguminosa rasteira (*Arachis pintoi*). Morro Dois Irmãos, município do Rio de Janeiro, em agosto de 1995.

A observação de mecanismos de regeneração natural pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias para a revegetação de áreas degradadas (CARPANEZI, et al., 1990). Mesmo em taludes de corte, sob determinadas condições, algumas espécies vegetais, embora em ritmo lento, conseguem se estabelecer (SANTANA FILHO et al., 1995). As estratégias de colonização variam de acordo com a espécie.

Em áreas mineradas de cerrado, foram observadas diversas espécies arbóreas rebrotando a partir de fragmento de raiz profundamente enterrados no substrato (CORRÊA et. al., 1998). O mesmo ocorre com brotações de raízes de *Machaerium hirtum* em taludes de corte no sudeste brasileiro. Por outro lado, as plantas propagadas através de sementes tendem a se estabelecer em pequenos nichos, formados por irregularidades do terreno, onde surgem condições mais favoráveis à germinação, devido ao acúmulo de matéria orgânica proveniente das áreas a montante, e a maior retenção de umidade em pequenas fendas e depressões. Com o passar do tempo, o desenvolvimento das plantas altera as condições do sítio, através do aumento da área sombreada, deposição de tecidos vegetais, retenção de água e sedimentos, permitindo o estabelecimento de plantas mais exigentes. Daí resulta o aparecimento de pequenas ilhas de vegetação contendo uma ou mais espécies. Sem a intervenção humana, no entanto, o processo de regeneração natural pode ser extremamente lento.

A partir desses modelos naturais de colonização vegetal, foi inicialmente testada técnica de revegetação de taludes que visava criar nichos artificiais para o crescimento de espécies herbáceas através do uso de almofadas. Posteriormente foram avaliados métodos de produção de mudas e plantio para espécies arbóreas.

### 3.2 - EXPERIMENTO 1:

#### REVEGETAÇÃO DE TALUDE DE CORTE COM ESPÉCIES HERBÁCEAS ATRAVES DO PLANTIO EM ALMOFADAS

##### 3.2.1 - MATERIAL E MÉTODOS

###### 3.2.1.1 - Caracterização geral da área experimental

Os experimentos foram instaladas numa jazida de material terroso, situada às margens da rodovia de acesso à Região Oceânica, bairro de Cantagalo, município de Niterói - RJ, utilizada pela Prefeitura local para extração de aterro para as obras de construção e ampliação de estradas de rodagem. Seu funcionamento foi encerrado em meados de 1994. Foram removidos os horizontes superficiais, criando-se escavações profundas e taludes artificiais, expondo o horizonte C e em alguns trechos a rocha matriz. Com a ação da chuva, a área adquiriu um aspecto caótico. O enorme volume de sedimentos produzidos se acumulam nas partes planas à jusante. Isto resultou em trágico impacto sobre a paisagem, agravado pelo contraste com as áreas vizinhas, constituídas por remanescentes florestais e condomínios residenciais de alta e média renda, as margens de rodovia com intenso fluxo de veículos, que dá acesso ao litoral (Figura 13).

A média anual de temperatura é de 23,2°C e de pluviosidade 1.225 mm, com meses mais secos entre agosto e outubro. Segundo a classificação de Thomthwaite, trata-se de clima subúmido-úmido, com pouca ou nenhuma deficiência hídrica, megatérmico, com calor bem distribuído ao longo do ano (FIDERJ, 1978).

O solo original era classificado como Pozólico Vermelho Amarelo (SNPA, 1958).

Atualmente a área atingida encontra-se praticamente desprovida de vegetação. No talude de corte, situado no limite superior da jazida, encontra-se uma faixa de aproximadamente 3,5 m onde algumas plantas esparsas se desenvolvem. A fonte de propágulos é um remanescente florestal a montante. Dentre as espécies encontradas

estão *Trema micrantha*, *Tibouchina granulosa*, *Machaerium hirtum* e *Machaerium spp.*

No restante da área explorada a vegetação é incipiente, ocorrendo esparsamente samambaias e algumas plantas de *Machaerium hirtum* desenvolvidas a partir de fragmentos de raízes de árvores profundamente enraizadas que foram arrancadas na abertura de jazida, alcançando inclusive o horizonte C e fraturas da rocha matriz.



Figura 13 - Vista geral da área experimental

### 3.2.1.2 - Talude de corte

O talude de corte foi formado através de escavação mecânica. O topo do talude apresenta uma seção inclinada dos horizontes A, com cerca de 15 cm, e B, com 150 a 200 cm. O restante é uma seção inclinada do horizonte C com aproximadamente 18m e alguns afloramentos da rocha matriz. A distância total entre a base e o topo do talude é de 20,5 m.

A erosão superficial criou sulcos paralelos que vão se aprofundando de montante para jusante, até alcançar aproximadamente 40 cm. A esparsa vegetação, que ocorre quase exclusivamente nas seções dos horizontes A e B, instala-se preferencialmente nos pequenos nichos onde há uma maior retenção de umidade no interior dos sulcos e outras irregularidades na superfície do terreno. A declividade, variando de 78% ou 38° a 103% ou 46°, é muito acentuada (Figura 14). A exposição do talude é 90° (Leste).

Foram coletadas amostras de 0 - 20 cm de profundidade no terço superior, médio e inferior. Em seguida procedeu-se as análises granulométrica e química de rotina, de acordo com o Manual de Análise do Solo da EMBRAPA (1997).

A análise granulométrica do substrato revelou, para o terço médio e inferior, altos teores de areia grossa, que é uma característica de horizontes pouco intemperizados, que aproxima-se das características da rocha matriz. No terço superior, os teores de argila e silte foram relativamente mais elevados, típicos de horizonte B (Tabela 2).

**Tabela 2 – Análise granulométrica do substrato do talude de corte . Média de 3 amostras**

Amostra	areia grossa (%)	areia fina (%)	silte (%)	argila (%)
Terço superior	40	17	25	18
Terço médio	51	21	20	8
Terço inferior	51	22	19	8
Média	47,3	20	21,3	11,3

Com relação à análise de fertilidade, observa-se que trata-se de um substrato extremamente ácido, apresentando tendência de redução da acidez no sentido dos horizontes superiores para os inferiores, confirmada pela redução dos teores de alumínio. Os teores de P são reduzidos e os teores de potássio pode ser considerado alto (Tabela 3).

Esses resultados, de uma maneira geral, são similares àqueles obtidos por outros autores para taludes de horizonte C ( D'ALTÉRIO & VALCARCEL, 1998; SANTANA FILHO et al., 1995; SALOMÃO FILHO et al., 1997; SOUZA et al., 1997).

**Tabela 3 - Análise química para fins de fertilidade do substrato do talude de corte. Média de 3 amostras**

Amostra	pH água 1:2,5	Al (meq/100 ml)	Ca + Mg (meq/100 ml)	Na mg.kg <sup>-1</sup>	K mg.kg <sup>-1</sup>	P mg.kg <sup>-1</sup>
Terço superior	3,9	2,7	0,8	14	66	1
Terço médio	4,0	1,6	0,5 + 0,7	21	59	1
Terço inferior	4,4	1,3	0,2 + 2,4	21	47	2
Média	4,1	1,9	1,5	18,7	57,3	1,3



Figura 14 - Vista geral do talude de corte

### 3.2.1.3 - Espécies utilizadas

*Canavalia brasiliensis* (feijão bravo do Ceará) é uma leguminosa herbácea anual ou bianual, nativa, com hábito de crescimento prostrado, com caules anuais volúveis. É considerada rústica e de rápido crescimento, sendo tolerante a seca e a temperaturas elevadas. Desenvolve-se bem em solos ácidos e de baixa fertilidade. É eficaz na produção de matéria orgânica e na ciclagem de nutrientes (COSTA 1992).

*Arachis pintoi* (grama amendoim) é uma leguminosa rasteira, nativa, estolonífera, indicada para uso como cobertura verde permanente, forrageira, ornamental, sendo indicada ainda para proteção do solo. Proporciona melhoria física e química do solo, favorece a ciclagem de nutrientes e produção de matéria orgânica (CRUZ et al., 1994; ESPÍNDOLA et al., 1997). É considerada relativamente resistente à deficiência hídrica, suportando períodos de 05 meses de seca. Seus estolões enraízam, e

apresenta alta capacidade de regeneração a partir de sementes, fragmentos de raízes e dos próprios estolões (FISHER & CRUZ, 1994; PIZARRO & RINCON, 1994).

*Wedelia paludosa* DC. (margaridão), da Família Compositae, é perene, nativa, herbácea, prostrada, com enraizamento nos nos, caules levemente pilosos e ascendentes, medindo de 40-80 cm, com reprodução por sementes e através do enraizamento dos ramos. Apesar de algumas situações poder ser considerada daninha, é cultivada como ornamental e principalmente para fixação de barrancos e canais escoadouros para evitar a erosão (LORENZI, 1991).

### 3.2.1.4 - Confecção das almofadas e produção das mudas

Na confecção das almofadas foram utilizados sacos de ráfia (sacos de farinha de trigo com capacidade para 50 kg) preenchidos com uma mistura com a seguinte composição: 5,2 kg de Fertilurb (composto de resíduo de lixo urbano, produzido pela COMLURB) peneirado + 0,65 kg de fosfato de Araxá ( $P_2O_5$  total- 24% ) + 0,65 kg de calcário dolomítico ( CaO - 33%, MgO - 10%, PRNT 80% ) + 10 g de micronutrientes (FTE - BR12). O peso total aproximado da almofada foi de 6,5 kg.

No preenchimento dos sacos, a mistura foi depositada no fundo dos mesmos. A parte do saco não ocupada teve o tecido enrolado com o auxílio de um cabo de vassoura e amarrado com pedaços de “nylon seda” nas extremidades, permitindo a criação de uma alça de transporte e fazendo com que a mistura fosse fortemente compactada. Com essa medida pretendeu-se conferir maior rigidez à almofada, fazendo com que as raízes não sofressem traumatismo durante o manuseio e transporte das mesmas para o local definitivo de plantio.

As dimensões finais da almofada foram 50 x 20 x 8 cm, com um volume aproximado de 8 litros (Figura 15).

Na parte superior das almofadas foram abertos 03 orifícios equidistantes, com cerca de 2,5 cm de diâmetro. As mudas de *W. paludosa* e *A. pintoi* foram produzidas a partir de 03 estacas de ramos com aproximadamente 20 cm, enquanto *C. brasiliensis* por 03 sementes, plantados em cada um dos 03 orifícios, totalizando nove propágulos por almofada.

As sementes de *C. brasiliensis* sofreram quebra de dormência em ácido sulfúrico concentrado durante 10 minutos e, após lavagem, foram inoculadas com estirpes de rizóbio BR 2613 (EMBRAPA-Agrobiologia), sendo plantadas em 06/09/95.

Os propágulos de *A. pintoi* foram inoculados com uma mistura das estirpes de rizóbio BR 1404 e BR 1405 (EMBRAPA-Agrobiologia) e plantados no dia 27/09/95. Em todas as almofadas foram aplicados 5 g de inoculante micorrízico em cada orifício, contendo as espécies *Glomus clarum* e *Gigaspora margarita*.

Após a fase inicial de germinação e de enraizamento das estacas, quando as almofadas foram fartamente irrigadas e parcialmente sombreadas (50% de luminosidade), estas passaram por um período de 03 meses de endurecimento através de exposição a pleno sol e irrigação reduzida à metade.



Figura 15 – Almofada de *C. brasiliensis* aos 5 meses de idade, pronta para o plantio, exibindo raízes atravessando o tecido.

### 3.2.1.5 - Plantio

Depois de 5 meses da semeadura, as almofadas foram transportadas ao local de plantio com o uso de caixotes plásticos vazados de 50 x 30 cm. O plantio consistiu simplesmente da escavação de pequenas banquetas ou gavetas horizontais na superfície do talude com cerca de 50 x 25 cm, onde foram acomodadas as almofadas. A operação foi manual, com o uso de enxadões de cabo curto. O espaçamento entre almofadas foi de 1,5 x 1,5 m. (Figura 16 ). Data de implantação: 07/02/96.



Figura 16 – Instalação das almofadas em talude de corte.

### 3.2.1.6 - Delineamento experimental

O delineamento experimental usado foi o de blocos ao acaso, com 03 tratamentos (*Canavalia brasiliensis*, *Arachis pintoi* e *Wedelia paludosa*), 04 repetições e 04 almofadas por repetição.

### 3.2.1.7 - Parâmetros de avaliação

Os tratamentos foram avaliados segundo os seguintes parâmetros:

- 1) Abrangência horizontal: representa a maior distância horizontal entre os ramos (Figura 17). É importante na definição final do espaçamento horizontal entre as almofadas.

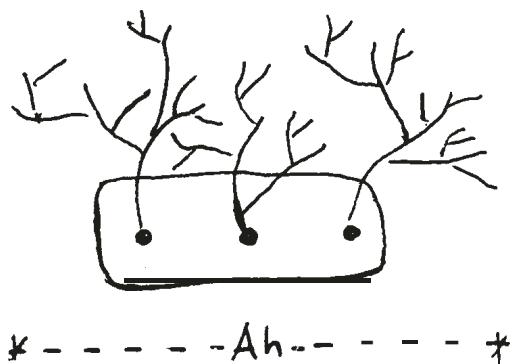


Figura 17 - Representação da abrangência horizontal

- 2) Comprimento máximo dos ramos ( $C_3$ ): foi calculado através da média aritmética entre os 03 ramos de maior comprimento. É importante na definição final do espaçamento vertical entre almofadas.

3) índice de ocupação do terreno (IOT): em função da dificuldade em medir cada um dos ramos da planta, este parâmetro foi criado com o intuito de quantificar a capacidade de uma determinada espécie em ocupar ou “invadir” o terreno a uma distância superior a 50 cm a partir do local de plantio. Leva em conta o comprimento máximo dos ramos e o número de ramos com mais de 50 cm.

Foi calculado através da seguinte equação:

$$IOT = (C_3 - 50) \times N_{50}$$

onde:

**C<sub>3</sub>** = comprimento máximo dos ramos

**N<sub>50</sub>** = n.<sup>o</sup> de ramos maiores do que 50 cm

4) Cobertura do terreno: é o grau de cobertura efetiva do terreno pelo vegetal ou densidade da cobertura. Foi determinada a partir de fotografias das almofadas tomadas perpendicularmente à superfície do terreno. As fotos obtidas foram digitalizadas e, através do programa SIARCS 3.0 (Sistema Integrado para Análise de Raízes e Cobertura do Solo), desenvolvido pela Embrapa Instrumentação, foi determinada a área do terreno efetivamente coberta pelo vegetal através do contraste entre a coloração da parte aérea da planta e do substrato.

### 3.2.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

No que diz respeito ao parâmetro abrangência horizontal, *W. paludosa* e *C. brasiliensis* apresentaram, aos 5 meses, valores 4 vezes superiores a *A. pintoi*, com médias superiores a 190 cm contra 49 cm desta última. No entanto, observa-se aos 14 meses uma queda acentuada nesse parâmetro para *W. paludosa* e principalmente para *C. brasiliensis*. Por sua vez, *A. pintoi* apresentou um crescimento notável, chegando a superar *C. brasiliensis* e a igualar-se estatisticamente à *W. paludosa* (Tabela 4).

Tabela 4 - Abrangência horizontal (cm) de *C. brasiliensis*, *A. pintoi* e *W. paludosa* aos 5 meses e aos 14 meses de plantio no talude, e taxa de crescimento relativo entre as medições

ESPÉCIE	Abrangência horizontal (cm)		
	Aos 5 meses	Aos 14 meses	taxa de crescim. relativo
<i>C. brasiliensis</i>	191,6 a <sup>†</sup>	88,0 b	- 54%
<i>Arachis pintoi</i>	49,25 b	126,7 ab	+ 157%
<i>Wedelia paludosa</i>	197,3 a	138,4 a	- 30%
C.V. (%)	37	19	-

Valores na mesma coluna seguidos por letras diferentes apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5%.

Em relação ao comprimento máximo dos ramos, *C. brasiliensis* apresentou em todas as medições, um desempenho superior às demais espécies. Este resultado já era esperado, devido ao hábito de crescimento da planta. *W. paludosa* apresentou crescimento intermediário, enquanto *A. pintoi* foi inferior às demais. Apesar disso, aos 14 meses, *W. paludosa* apresentava um decréscimo nesse parâmetro, vindo a igualar-se estatisticamente a *A. pintoi* (Tabela 5).

Tabela 5 - Comprimento máximo (cm) dos ramos de *C. brasiliensis*, *A. pintoi* e *W. paludosa* aos 5 meses e aos 14 meses de plantio no talude, e taxa de crescimento relativo entre as medições

ESPÉCIE	Comprimento máximo dos ramos (cm)		
	Aos 5 meses	Aos 14 meses	taxa de crescim. relativo
<i>C. brasiliensis</i>	328,3 a	535,8 a	+ 63 %
<i>Arachis pintoi</i>	48,6 c	72,9 b	+ 50 %
<i>Wedelia paludosa</i>	134,9 b	114,2 b	- 15,3 %
C.V. (%)	15	64	-

Valores na mesma coluna seguidos por letras diferentes apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5 %.

Quanto à ocupação do terreno, *C. brasiliensis* foi aparentemente a espécie de maior destaque (Tabela 6). Entretanto, assim como *W. paludosa*, sofreu uma drástica redução entre a 1<sup>a</sup> e a 2<sup>a</sup> medições. No primeiro caso, essa redução se deveu ao fato de que, apesar do aumento no comprimento, a espécie sofreu uma grande redução no nº de ramos. *A. pintoi* apresentou um notável desenvolvimento nesse período, tanto em função do aumento no número de ramos quanto no comprimento médio dos mesmos.

Tabela 6 - Índice de ocupação do terreno<sup>1</sup> de *C. brasiliensis*, *A. pintoi* e *W. paludosa* aos 5 meses e aos 14 meses de plantio no talude, e taxa de crescimento relativo entre as medições

ESPÉCIE	Índice de ocupação do terreno <sup>1</sup>		
	Aos 5 meses	Aos 14 meses	taxa de crescim. relativo
<i>C. brasiliensis</i>	2.585,0 a <sup>2</sup>	2.092,0 a	- 19 %
<i>A rachis pintoi</i>	27,05 c	521,8 b	+ 1.829 %
<i>Wedelia paludosa</i>	896,8 b	727,7 ab	- 19 %
C.V.(%)	18	60	

<sup>1</sup> Índice de ocupação do terreno =  $(C_3 - 50) \times N_{50}$ , onde  $C_3$  = média do comprimento máximo dos ramos/ $N_{50}$  = número de ramos maiores que 50 cm

<sup>2</sup> Valores na mesma coluna seguidos por letras diferentes apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5 %.

Tanto aos 5 quanto aos 14 meses após a instalação das almofadas no campo, *A. pintoi* e *W. paludosa* foram superiores a *C. brasiliensis* quanto à cobertura do terreno. Esse fato pode ser atribuído aos hábitos de crescimento diferenciados, uma vez que esta última desenvolve ramificações compridas, oferecendo escassa proteção ao solo na área próxima ao local de plantio. *A. pintoi* e *W. paludosa* não diferiram estatisticamente nas duas

medições, no entanto, visualmente notou-se que a primeira oferecia uma cobertura mais densa (Tabela 7).

Tabela 7 - Cobertura do solo (cm) de almofadas de *C. brasiliensis*, *A. pintoi* e *W. paludosa* aos 5 meses e aos 14 meses de plantio no talude, e taxa de crescimento relativo entre as medições.

ESPÉCIE	Cobertura do solo (cm <sup>2</sup> )			taxa de crescim. relativo
	Aos 5 meses	Aos 14 meses		
<i>C. brasiliensis</i>	642,0 b <sup>1</sup>	498,0 b		- 22 %
<i>Arachis pintoi</i>	1.190,2 a	5.689,0 a		+ 378 %
<i>Wedelia paludosa</i>	880,5 ab	5.326,0 a		+ 505 %
C.V. (%)	34	17		

<sup>1</sup> Valores na mesma coluna seguidos por letras diferentes apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5 %.

Quando considerados em conjunto, estes dados demonstram uma tendência de declínio de *C. brasiliensis* e *W. paludosa*, ao contrário de *A. pintoi*, que apresentou uma nítida evolução entre as medições.

*C. brasiliensis* demonstrou ser uma espécie incapaz de oferecer uma cobertura efetiva ao terreno (Figura 18). Esperava-se que as sementes produzidas pudessem dar origem a novas plantas, compensando o declínio da planta em função do seu curto ciclo de vida. Embora isso tenha ocorrido, a regeneração ainda era escassa aos 14 meses de plantio (Figura 19). Apesar desses aspectos, tendo em vista o seu rápido crescimento, seu hábito de crescimento ascendente e sua elevada capacidade de produção de biomassa, esta espécie tem sido recomendada para taludes onde se deseja incorporar matéria orgânica e/ou formar uma malha de ramos que favoreça o estabelecimento de outras espécies (D'ALTÉRIO & VALCARCEL, 1998 ). Outra alternativa seria o semeio direto dessa espécie na base de taludes verticais de difícil acesso, onde seja inviável introduzir outra espécie mais adequada. No entanto, há que se evitar o plantio simultâneo com outras espécies, principalmente arbustivas ou arbóreas, por tratar-se de uma espécie volúvel, que pode vir a estrangulá-las.



Figura 18 - Almofada de *C. brasiliensis* 14 meses após o plantio definitivo.



Figura 19 - Plantas de *C. brasiliensis* nascidas espontaneamente a partir de sementes originárias da área experimental.

Apesar de tratar-se de uma espécie reconhecidamente rústica e de rápido desenvolvimento, *W. paludosa* sofreu um declínio devido a diminuição da matéria orgânica na almofada, apresentando redução no crescimento entre as medições (Tabelas 4, 5 e 6). Esta espécie apresentou sintomas de deficiência nutricional, apresentando folhas mal desenvolvidas e avermelhadas, e entre-nos curtos. As causas do problema parecem estar associados ao esgotamento dos nutrientes contidos na almofada e à reduzida disponibilidade hídrica. Ainda assim, observou-se que alguns ramos, ao tocarem o terreno, deram origem a novas plantas, embora com reduzido vigor. Esta espécie poderia alcançar melhores resultados em taludes mais úmidos, associada a uma fonte externa de matéria orgânica, uma vez que não apresenta a capacidade de fixar o nitrogênio atmosférico (Figura 20).



Figura 20 – Almofada *Wedelia paludosa* 14 meses após o plantio definitivo.

*A. pintoi* demonstrou uma maior adaptação ao sítio e ao método de plantio em almofadas. Embora inicialmente tenha apresentado desvantagem de crescimento em relação às outras espécies, apresentou as maiores taxas de crescimento relativo em quase todos os parâmetros avaliados. O lento estabelecimento inicial da espécie já havia sido destacada por outros autores (CRUZ et al., 1994; PIZARRO & RINCON, 1994).

Aos 14 meses, a abrangência horizontal da almofada foi de 128 cm (Tabela 4) e o alcance máximo a partir da almofada foi de cerca de 73 cm (Tabela 5), o que significa que, para efeito de cobertura total do terreno neste período, o plantio deveria ser realizado num espaçamento de pelo menos 1,28 x 0,73 m (Figura 21).



Figura 21 - Almofada de *A. pintoi* 14 meses após o plantio definitivo

O recobrimento total do talude aos 14 meses implicaria no uso de aproximadamente 10.700 almofadas por hectare. A almofada vem sendo comercializada na EMBRAPA Agrobiologia ao preço de R\$ 1,50 por unidade. Adicionado aos custos de mão-de-obra e transporte, o custo total da revegetação seria de R\$ 18.626,00 por hectare ou R\$ 1,86/m<sup>2</sup>.

Estudando o uso de sacos de aniagem para a revegetação de taludes de cavas de mina de ferro, SOUZA et al. (1997) recomendaram a implantação dos mesmos em 50 % da superfície do terreno, o que naquelas condições equivale a 10.290 almofadas por hectare. Aos 5 meses de idade, obtiveram cobertura de 65 a 75 % de cobertura vegetal do talude, a um custo que variou entre R\$2,98 e R\$3,45 / m<sup>2</sup>. A revegetação através de almofadas vem sendo oferecida por empresas especializadas a um custo de R\$ 4,00 / m<sup>2</sup>. Verifica-se, portanto, que o custo da técnica desenvolvida pode ser inferior ao de mercado.

Através da hidrossemeadura, o custo de mercado da revegetação pode variar R\$ 0,40 a R\$ 1,50 /m<sup>2</sup> (dados levantados no mercado através de consultas às empresas). Nas condições deste experimento seria impossível a utilização desta técnica, a menos que fossem construídas vias de acesso para os equipamentos e um sistema de drenagem superficial, gerando um custo adicional elevado.

Com relação ao uso da almofada como recipiente para plantio, observou-se que o tempo de deterioração do tecido foi compatível com o método proposto, permitindo a produção da muda no viveiro e posterior instalação no campo, sem que houvesse perda de substrato, e por outro lado, sem impedir o desenvolvimento das raízes no terreno. Apesar disso, observou-se que a exposição aos agentes climáticos causou o enrijecimento excessivo do substrato, o que pode ter ocasionado uma redução na sua capacidade de retenção de umidade. A solução para esse problema pode ser o uso de uma mistura contendo material orgânico mais resistente à decomposição.

### 3.2.3. CONCLUSÕES

- *Arachis pintoi* demonstrou maior adaptação ao método de plantio em almofadas, apresentando aos 14 meses maior tendência de aumento na ocupação do terreno e boa cobertura do solo
- *Canavalia brasiliensis* e *Wedelia paludosa* apresentaram redução da ocupação do terreno entre as medições, sugerindo uma tendência ao declínio
- Para cobertura total do terreno aos 14 meses, recomenda-se o espaçamento de pelo menos 130 x 70 cm entre almofadas de *Aruchis pintoi*
- O método de plantio em almofadas proposto apresenta custo inferior aos métodos similares oferecidos no mercado.

### 3.3 – EXPERIMENTO 2:

#### AVALIAÇÃO DE MÉTODOS DE PRODUÇÃO DE MUDAS E PLANTIO SOBRE O ESTABELECIMENTO E DESENVOLVIMENTO DE *Mimosa caesalpiniifolia* (SABIÁ) e *Machaerium hirtum* (BORRACHUDO) EM TALUDES DE CORTE

##### 3.3.1- MATERIAL E MÉTODOS

###### 3.3.1.1 – Caracterização da área experimental

O experimento foi implantado no talude de corte descrito no item 3.2.1.2.

###### 3.3.1.2 - Espécies utilizadas

*Mimosa caesalpiniifolia* Benth. (sabiá, sansão-do-campo), da Família Leguminosae - Mimosoideae, é uma espécie espinhenta, que nodula, originária da caatinga, atingindo de 5 a 8 m de altura. É considerada uma espécie de grande potencial para uso na recuperação de áreas degradadas. Pelo excelente desempenho que tem apresentado, tem sido largamente utilizada na revegetação de áreas de empréstimo (FRANCO et al., 1991), restinga, encostas (SANTOS et al., 1994) e até mesmo pilhas de escoria de siderurgia (FARIA et al., 1997). Além desses, é recomendada para outros fins, como cercas-vivas, quebra-ventos e para produção de madeira e moirões de cerca (LORENZI, 1992). Para o plantio em taludes, apresenta a vantagem de apresentar pequena altura, copa ampla e ramificada, depositando elevadas quantidades de matéria orgânica. No entanto, seu sistema radicular é classificado como superficial (ANDRADE, 1997), concentrando-se nas camadas superiores do terreno.

*Machaerium hirtum*, conhecido como borrachudo, jacarandá-de-espinho ou jacarandá bico-de-pato, é uma leguminosa arbórea espinhenta que nodula, com 6 a 12 m de altura, considerada muito rústica. Ocorre quase que exclusivamente em formações secundaria abertas, chegando a vegetar nas piores condições de solos possíveis, como pedreiras, barrancos e até em áreas de subsolo exposto (LORENZI, 1992).

### 3.3.1.3 - Produção de mudas

As mudas de sabiá foram produzidas a partir de sementes coletadas no município do Rio de Janeiro, sem controle específico sobre a origem.

As sementes foram inoculadas com uma mistura das estirpes de rizóbio BR 3405 e BR 3451, e com fungos MVA (*Glomus clarus* e *Gigaspora margarita*), à base de 5g/ recipiente, ambos através de inoculantes produzidos na Embrapa-Agrobiologia. As mudas de sabiá foram produzidas por semeadura direta no recipiente, a base de 3 sementes por recipiente em 25/09/95.

As mudas de borrachudo foram produzidas a partir de sementes coletadas no município do Rio de Janeiro, sem controle específico sobre a origem. As sementes foram inoculadas com um coquetel de estirpes de rizóbio (*Machaerium* sp. - 1, 5 e 7 e SMF 2, 4 e 8), em função da ausência do inoculante específico, e com fungos MVA.

Em função da baixa taxa de germinação da espécie, as mudas foram produzidas através da repicagem de plântulas de 5 cm das sementeiras para os diferentes recipientes.

### 3.3.1.4 - Substrato e recipientes utilizados

As mudas foram produzidas em três tipos de recipientes:

Sacos plásticos, medindo 6,4 cm de diâmetro e 18 cm de profundidade, com volume de 579,1 ml.

Tubetes cônicos de plástico rígido, medindo 3,0 cm de diâmetro superior, 12,5 cm de comprimento, com aproximadamente 60,0 ml.

Tubos de PVC rígido, com 2,5 cm de diâmetro e 40,0 cm de comprimento, com volume de 202,7 ml.

Baseado no sistema de produção de mudas em tubetes, idealizou-se este último com o objetivo de direcionar o crescimento vertical das raízes, fazendo com que a muda alcançasse uma alta relação raiz/parte aérea em comprimento.

Dessa forma foram utilizados tubos de PVC rígido, com 2,54 cm de diâmetro e 40 cm de comprimento. Os tubos foram divididos no sentido longitudinal em duas partes e atados com arame em seguida. A extremidade inferior foi fechada com um caps e a superior com uma luva, evitando a perda do substrato. Este procedimento permitiu a remoção do recipiente na ocasião do plantio, sem danos às raízes e destorramento do substrato, e sua reutilização (Figura 23).

Esse modelo de recipiente foi desenvolvido visando:

- . permitir o livre desenvolvimento da raiz pivotante, evitando o seu enovelamento; produzir mudas com alta relação raiz/parte aérea;
- permitir o plantio em furos profundos e de reduzido diâmetro, o que cria a possibilidade de mecanização da operação com uso de furadeira elétrica adaptada;
- . garantir o desenvolvimento vertical das raízes em substratos coesos, que funcionariam como tirantes, com a finalidade de potencializar o efeito estabilizador da vegetação sobre taludes.

O substrato utilizado em todos os recipientes tinha a seguinte composição: composto orgânico (a base de capim seco e esterco bovino), material terroso de subsolo (horizonte B), areia lavada, gesso e fosfato de rocha, na proporção de 3 : 1 : 1 : 1 : 1/2 em volume. Essa composição era a utilizada na EMBRAPA Agrobiologia para a produção de leguminosas florestais na época de implantação do experimento.

### 3.3.1.5 - Preparo do terreno e plantio

De acordo com o tratamento, as mudas foram plantadas em covas cúbicas de 0,20 x 0,20 x 0,20 m (8 litros) ou furos com 3,8 cm e 40 cm de profundidade (456 ml), aproximadamente perpendiculares à superfície do talude.

No ato do plantio, as mudas produzidas em tubos foram retiradas do interior dos mesmos através da remoção dos arames, do caps e da luva que mantinham unidas as duas metades do tubo, permitindo que as mudas fossem introduzidas nos furos com o torrão integral, evitando com isso traumas às raízes.

As covas e os furos foram abertos no espaçamento de 1,5 x 1,5 m, no interior de pequenas banquetas individuais criadas com o uso de enxadões com cabo curto na superfície do talude, que tinham como objetivo uma maior retenção de água. As covas foram abertas com a mesma ferramenta e os furos com trado de rosca de 3,81 cm de diâmetro (Figura 22).

A adubação foi a base de 25 g de fosfato de rocha + 25 g de gesso + 5 g de FTE-BR12 por cova ou furo em todos os tratamentos. Não houve adição de adubo orgânico. O plantio foi realizado em 07/02/96 (Figura 23 e 24).



Figura 22 – Abertura do furo para o plantio com o uso do trado de rosca.



Figura 23 – Remoção do tubo para o plantio de sabiá no furo.



Figura 24 – Muda de sabiá produzida em tubo e plantada em furo.

### 3.3.1.6 - Delineamento experimental

O experimento foi implantado em duas etapas: em viveiro e em campo.

Na fase de viveiro, foi implantado fatorial em blocos ao acaso, com 6 tratamentos (duas espécies x 3 recipientes), 4 repetições e 4 plantas por parcela.

Tratamento	Descrição
1	sabiá - mudas produzidas em sacos plásticos de 579 ml
2	sabiá - mudas produzidas em tubetes de 60 ml
3	sabiá - mudas produzidas em tubos de 203 ml
4	borrachudo - mudas produzidas em sacos plásticos de 579 ml
5	borrachudo - mudas produzidas em tubetes de 60 ml
6	borrachudo - mudas produzidas em tubos de 203 ml

Na fase de campo, foi implantado experimento fatorial em blocos ao acaso, com 8 tratamentos (2 espécies x 4 métodos de plantio), 4 repetições e 4 plantas por parcela.

Tratamento	Descrição
1	Plantio de mudas de sabiá, produzidas em sacos plásticos, em covas cúbicas de 8 litros (sabiá saco/cova)
2	Plantio de mudas de sabiá, produzidas em tubetes, em covas cúbicas de 8 litros (sabiá tubete/cova)
3	Plantio de mudas de sabiá, produzidas em tubos, em furos de 456 ml (sabiá tubo/furo)
4	Plantio de mudas de sabiá, produzidas em tubetes, em furos de 456 ml (sabiá tubete/furo)
5	Plantio de mudas de borrachudo, produzidas em sacos plásticos, em covas cúbicas de 8 litros (borrachudo saco/cova)
6	Plantio de mudas de borrachudo, produzidas em tubetes, em covas cúbicas de 8 litros (borrachudo tubete/cova)
7	Plantio de mudas de borrachudo, produzidas em tubos, em furos de 456 ml (borrachudo tubo/cova)
8	Plantio de mudas de borrachudo, produzidas em tubetes, em furos de 456 ml (borrachudo tubete/furo)

### 3.3.1.7 - Parâmetros de avaliação

As mudas foram avaliadas aos 4 meses e 13 dias. Os parâmetros avaliados foram o comprimento da parte aérea e das raízes, relação raiz/parte aérea em comprimento, biomassa seca da parte aérea e das raízes, relação raiz/parte aérea em biomassa e diâmetro de colo.

A biomassa seca foi determinada após secagem do material em estufa a 105°C até peso constante.

Após o plantio definitivo, as plantas foram avaliadas pela sobrevivência, altura, área de copa e diâmetro de colo aos 5 meses e 6 dias e aos 16 meses e 22 dias.

A área de copa (AC) foi calculada através da área da elipse formada através do maior diâmetro da copa ( $D_1$ ) e a sua perpendicular ( $D_2$ ), através da fórmula  $AC = \pi D_1 \cdot D_2 / 4$ .

### 3.3.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.3.2.1- Comportamento das espécies na fase de viveiro

As mudas de sabiá apresentaram, em média, maior comprimento da parte aérea, biomassa da parte aérea e biomassa de raízes do que borrachudo (Tabela 8). Este fato pode ser explicado pela estratégia de crescimento diferenciado das espécies. Além disso, em função do baixo índice de germinação do borrachudo, foi necessária a produção a partir de plântulas repicadas da sementeira, o que retardou o crescimento da muda. Entretanto, o borrachudo apresentou uma maior relação raiz/parte aérea em comprimento e em biomassa (Tabela 8).

Tabela 8 – Médias por espécie do comprimento (cm), biomassa (g) e relação raiz/parte aérea e diâmetro de colo (mm) de mudas de sabiá e borrachudo aos 4 meses de idade produzidas em 03 modelos de recipiente

Espécie	Comprimento (cm)			Biomassa (g)			
	Parte aérea	Raiz	Rel. r/p.a.	Parte aérea	Raiz	Total	Rel. r/p.a. Diâmetro colo(mm)
Sabiá	42,6 a	24,2 a	0,57 b	6,22 a	1,93 a	8,15 a	0,31 b 5,6 a
Borrach.	15,3 b	19,1 a	1,25 a	0,56 b	0,53	1,09 b	0,95 a 3,8 a

\* C.V. = 21 %

\* As médias seguidas de letras diferentes por colunas. apresentam diferença significativa pelo teste F (5%)

#### 3.3.2.2 – Efeito dos recipientes sobre os parâmetros morfológicos das mudas

Apesar do volume do saco plástico ser aproximadamente 3 vezes maior do que o volume do tubo, as médias de comprimento e biomassa da parte aérea, biomassa das raízes e diâmetro de colo entre mudas produzidas nesses dois recipientes foram equivalentes.

Ao comparar 30 diferentes tamanhos de sacos plásticos, GOMES et al. (1990) concluíram que a altura da embalagem afeta diretamente o crescimento em altura das mudas e a redução do diâmetro só começou a interferir negativamente sobre o crescimento das mudas quando foi inferior a 5,1 cm. Ainda assim, *Tabebuia serratifolia* não apresentou redução no crescimento mesmo no menor diâmetro testado (4,5 cm).

No caso das mudas produzidas em tubetes de 60 ml, o desempenho das mudas foi profundamente prejudicado, dando origem a mudas de comprimento e biomassa reduzidos, embora a relação raiz/parte aérea em biomassa tenha sido superior aos demais recipientes.

O recipiente para a produção de mudas tem importância decisiva tanto no desenvolvimento quanto na conformação do sistema radicular (TINUS & OWSTON, 1984). Segundo CARNEIRO (1995), com o objetivo de assegurar melhor desempenho das mudas no campo, maior importância deve ser dada ao sistema radicular das mudas, em adição ao estudo de seus parâmetros morfológicos. Este autor afirma que tem sido verificada uma relação positiva entre o aumento na relação raiz/parte aérea e a sobrevivência e incremento em altura no campo.

A proporção entre raiz e parte aérea tem sido utilizado para avaliar a qualidade das mudas (PAIVA & GOMES, 1993). O comprimento das raízes e a relação raiz/parte aérea das mudas produzidas em tubo foram superiores às mudas produzidas em sacos plásticos (Tabela 9, Figura 25 e Figura 26).

Tabela 9 - Médias por recipiente do comprimento (cm), biomassa (g) e relação raiz/parte aérea e diâmetro de colo (mm) de mudas de sabiá e borrhachudo, produzidas em sacos plásticos, tubetes e tubos aos 4 meses de idade

Recipientes	Comprimento (cm) aos 4 meses			Biomassa (g) aos 4 meses				Diâmetro colo(mm)
	Parte aérea	Raiz	Rel. r/p.a.	Parte aérea	Raiz	Total	Rel. r/p.a.	
Saco plást	38,0 a	17,8 b	0,47 c	4,07 a	1,24 a	5,31 a	0,30 b	5,4 a
Tubete	16,6 b	11,7 b	0,70 b	0,67 b	0,50 b	1,17 b	0,75 a	3,1 b
Tubo	32,3 a	35,6 a	1,10 a	5,43 a	1,96 a	7,39 a	0,36 b	5,7 a

C.V. = 36 %

\* As médias seguidas de letras diferentes, por colunas, apresentam diferença significativa pelo teste F (5%)



Figura 25 – Muda de sabiá produzida em saco plástico com torrão (à esquerda) e com raízes espontâneas, aos 4 meses de idade.



Figura 26 – Muda de sabiá produzida em tubo de 40 cm com torrão (à esquerda) e com raízes expostas, aos 4 meses de idade.

Os valores para a relação raiz/parte aérea em biomassa seca obtidos neste trabalho variaram entre 0,24, para o sabiá produzido em sacos plásticos e 1,33, para borrachudo produzido em tubos. Considerando-se a média por espécie (Tabela 10) observa-se que o borrachudo, com 0,95, apresenta valores superiores ao recomendado pela maioria dos autores, enquanto o sabiá, com 0,3 1, se aproxima da média recomendada (Tabela 11).

Tabela 10 – Comprimento (cm), biomassa (g), relação raiz/parte aérea e diâmetro de colo (mm) de mudas de sabiá e borrachudo, produzidas em tubetes, tubos e sacos plásticos aos 4 meses de idade.

Parâmetro	Tubete		Tubo		Saco	plástico
	Sabiá	Borrach.	Sabiá	Borrach.	Sabiá	Borrach.
Comprimento da parte aérea (cm)	23,3	9,8	54,1	10,5	50,5	25,5
Comprimento da raiz (cm)	11,9	11,5	40,0	31,1	20,8	14,8
Relação raiz/parte aérea	0,51	1,16	0,74	2,94	0,41	0,58
Biomassa seca da parte aérea (g)	1,05	0,29	10,45	0,41	7,17	0,97
Biomassa seca da raiz (g)	0,71	0,29	3,37	0,55	1,71	0,76
Relação raiz/parte aérea	0,68	1,00	0,2	1,33	0,24	0,78
Diâmetro do colo (mm)	3,1	3,0	7,5	3,8	6,3	4,5

Tabela 11 - Relação raiz/parte aérea em biomassa seca recomendada por diversos autores

Relação raiz/parte aérea(BS)	Espécie	Autor
0,2 – 0,3	em geral	RASANEN (1972)
0,4 – 0,6	em geral	MEXAL & DOUGHERTY (1981)
0,5	em geral	BRISSETTE (1984)
0,3 – 1,0	várias do gênero <i>Pinus</i>	WAKELEY (1954)
0,35 – 0,47	<i>Pinus taeda</i>	CARNEIRO (1985)
< 0,4	<i>Pinus taeda</i>	BOYER & SOUTH (1987)

Fonte: dados compilados em CARNEIRO (1995)

Quando observa-se as médias por recipiente, verifica-se que os valores obtidos pelas sacos plásticos (0,30) e pelos tubos (0,36) estão dentro da faixa recomendada, enquanto os tubetes (0,75) estão um pouco acima. Neste último caso, esse resultado se deve ao mal desenvolvimento da parte aérea das mudas.

Levando-se em consideração o conjunto dos dados obtidos, observa-se que, apesar do volume reduzido em função do pequeno diâmetro, as mudas produzidas em tubos apresentaram bom desenvolvimento e características morfológicas adequadas ao plantio em taludes, em função do elevado comprimento de raiz e alta relação raiz/parte aérea.

### 3.3.2.3 - Comportamento das espécies no campo

O sabiá foi superior ao borrachudo em todos os parâmetros avaliados aos 5 e aos 16 meses (Tabelas 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19). Estes resultados já eram esperados e refletem a superioridade que o sabiá tem apresentado sobre outras espécies em estabelecimento e desenvolvimento, ainda que comparada a outras leguminosas florestais consideradas de rápido crescimento nos mais diversos tipos de áreas degradadas. Essa espécie têm apresentado as maiores taxas de sobrevivência e de área de copa em diversos experimentos realizados (SANTOS et al., 1994; FREITAS et al., 1996; COSTA et al., 1997; FARIA et al., 1997).

Nas condições do experimento, levando-se ainda em consideração os métodos de plantio utilizados, onde não foi realizada qualquer tipo de adubação orgânica, o sabiá apresentou um bom crescimento em altura, sendo a média obtida aos 5 meses igual a 108,9 cm. Sobre solo Podzólico Vermelho Amarelo de encosta, com características físicas, químicas e biológicas muito superiores ao substrato do talude de corte, SANTOS et al. (1994) encontraram para a espécie altura média de 93,4 cm, aos 4 meses do plantio, similar ao encontrado no talude. Da mesma forma, COSTA et al. (1997) encontraram a média de 135,5 cm de altura aos 6 meses para a espécie em experimento testando diferentes adubações. Na revegetação de pilhas de escória de siderurgia, FARIA et al. (1997) encontraram para o sabiá, uma altura média de 69,6 cm aos 9 meses de idade. Estudando a influência do espaçamento sobre o desenvolvimento de diversas leguminosas arbóreas de rápido crescimento plantadas sobre planossolo, FREITAS et al. (1996) obtiveram uma média de 153 cm de altura para o sabiá aos 12 meses no espaçamento de 2  $\text{m}^2/\text{planta}$ . No presente trabalho, obteve-se altura média de 166,3 cm aos 16 meses, no espaçamento equivalente a 2,25  $\text{m}^2/\text{planta}$  (Tabela 12).

Tabela 12 - Altura média (cm) de sabiá em diversas idades e em diferentes substratos

Altura (cm)	93,4	108,9	135,5	69,6	153	166,3
Idade (meses)	4	5	6	9	12	16
substrato	PVA - encosta	Subsolo - talude	PVA - encosta	Escória de siderurgia	Planossolo	Subsolo - talude
Autor	Santos et al. (1994)	Neste	Costa et al. (1997)	Faria et al. (1997)	Freitas et al. (1996)	Neste

No que diz respeito à sobrevivência, SANTOS et al. (1994) encontraram taxa média foi de 89,8% aos 4 meses, enquanto neste trabalho a média de sobrevivência obtida aos 16 meses foi de 93%.

O borrachudo é reconhecidamente uma espécie de desenvolvimento lento que, principalmente nos estádios iniciais, apresenta copa rala e pouco ampla. Essas características comprometem sua eficácia no controle da erosão. Ainda assim, a espécie apresentou uma taxa de 75 % de sobrevivência aos 16 meses, o que nas condições deste experimento pode ser considerada satisfatória (Tabela 19).

Em função das condições locais e das técnicas de plantio utilizadas, as plantas de sabiá e borrachudo apresentaram morfologias bastante atípicas, com copas ralas, de aspecto alongado, escassamente ramificada, principalmente na 1<sup>a</sup>. medição (Figura 27 e 28). No cálculo de área de copa, onde foram tomadas medidas perpendiculares de diâmetro de copa, os valores obtidos são superestimados. Por isso evitou-se uma comparação dos valores obtidos neste com valores obtidos em outros trabalhos. Os dados foram utilizados apenas para efeito de comparação entre os tratamentos.



Figura 27 – Aspecto típico de borrachudo plantado em talude de corte.



Figura 28 - Aspecto típico de sabiá plantado em talude de corte.

### 3.3.2.4 - Avaliação dos métodos de plantio no campo

Com relação à altura aos 5 meses, o método de plantio saco/cova foi superior aos demais, enquanto o método de plantio tubete/furo obteve os menores valores. Os método de plantio tubete/cova e tubo/furo não apresentaram diferença significativa entre si (Tabela 13). No entanto, aos 16 meses, o método de plantio tubo/furo igualou-se ao método de plantio saco/cova. Nesta época, os métodos de plantio tubo/furo, tubete/cova e tubete/furo passaram a não apresentar diferença entre si (Tabela 14).

Tabela 13 - Altura média (cm) de sabiá e borrachudo aos 5 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte.

Espécie/plantio	Altura (cm)				
	Saco/cova	Tubete/cova	Tubo/furo	Tubete/furo	Média/espécie
Sabiá	149,6	95,8	118,3	72,8	108,9 A
Borrachudo	41,3	18,5	19,0	8,0	21,7 B
Média/plantio	95,1 a	57,1 bc	68,6 b	40,4 c	65,3

C.V. : 21%

\* As médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha, apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5%.

\* As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna, apresentam diferença significativa pelo teste F a nível de 5%.

Tabela 14 - Altura média (cm) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte.

Espécie/plantio	Altura (cm)				
	Saco/cova	Tubete/cova	Tubo/furo	Tubete/furo	Média/espécie
Sabiá	229,5	127,3	183,8	124,8	166,3A
Borrachudo	73,8	47,3	37,5	29,0	46,9B
Média/plantio	151,6 a	87,3 b	110,6 ab	76,9 b	106,6

C.V.: 41%

\* As médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha, apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5 %

\* As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna, apresentam diferença significativa pelo teste F a nível de 5%.

A área de copa no entanto, apresentou comportamento similar nas duas medições, sendo que o método de plantio saco/cova foi superior aos demais, seguido do tubo/furo. O método de plantio tubete/cova e tubete/furo foram equivalentes e inferiores (Tabelas 16 e 17).

Tabela 15 – Área de copa ( $\text{cm}^2$ ) de sabia e borraчhudo aos 5 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte.

Espécie/plantio	Área de copa ( $\text{cm}^2$ )				
	Saco/cova	Tubete/cova	Tubo/furo	Tubete/furo	Média/espécie
Sabiá	19.826,5	1.169,0	8.946,5	1.300,0	7.810,0 A
Borrachudo	318,3	4,5	104,5		106,8 B
Média/plantio	10.072,4 a	586,8 c	4.525,5 b	650,0 c	3.958,4

C.V. : 46 %

\* As médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha, apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5%.

\* As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna, apresentam diferença significativa pelo teste F a nível de 5%

Tabela 16 - Área de copa (cm) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte.

Espécie/plantio	Área de copa (cm <sup>2</sup> )				
	Saco/cova	Tubete/cova	Tubo/furo	Tubete/furo	Média/espécie
Sabiá	70.170,3	10.656,3	39.073,8	16.732,5	34.158,2 A
Borrachudo	1.622,3	1.241,8	746,5	296,0	976,6 B
Média/plantio	35.896,3 a	5.949,0 c	19.910,1 b	8.514,3 c	17.567,4

C.V. : 29 %

\* As médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha, apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5%.

\* As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna, apresentam diferença significativa pelo teste F a nível de 5%.

O diâmetro de colo, medido aos 16 meses, no método de plantio saco/cova, foi superior aos demais. O método de plantio tubo/furo apresentou valor intermediário e os métodos de plantio tubete/cova e tubete/furo foram iguais, à semelhança do que ocorreu com a área de copa (Tabela 17).

Tabela 17 – Diâmetro de colo (cm) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte.

Espécie/plantio	Diâmetro de colo (cm)				
	Saco/cova	Tubete/cova	Tubo/furo	Tubete/furo	Média/espécie
Sabiá	4,5	1,9	3,3	1,8	2,8 A
Borrachudo	1,4	0,6	0,7	0,5	0,8 B
Média/plantio	3,0 a	1,2 bc	2,0 b	1,1 c	1,8

C.V. : 29 %

\* As médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha, apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5%.

\* As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna, apresentam diferença significativa pelo teste F a nível de 5%.

Em nenhuma das medições foi detectada diferença significativa nas taxas médias de sobrevivência entre métodos de plantio. Só houve diferença entre espécies (Tabelas 19 e 20).

Tabela 18 – Sobrevivência (%) de sabiá e borrachudo aos 5 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte.

Espécie/plantio	Sobrevivência (%)				
	Saco/cova	Tubete/cova	Tubo/furo	Tubete/furo	Média/espécie
Sabiá	100	98	100	75	93 A
Borrachudo	85	85	80	65	79 B
Média/plantio	93 a	92 a	90 a	70 a	86

C.V.: 26 %

\* As médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha, apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5%.

\* As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna, apresentam diferença significativa pelo teste F a nível de 5%.

Tabela 19 - Sobrevida (%) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte.

Espécie/plantio	Sobrevida (%)				
	Saco/cova	Tubete/cova	Tubo/furo	Tubete/furo	Média/espécie
Sabiá	100	98	100	75	93 A
Borrachudo	75	85	75	65	75 B
Média/plantio	88 a	92 a	88 a	70 a	84

C.V. : 21%

\* As médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha, apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5%.

\* As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna, apresentam diferença significativa pelo teste F a nível de 5%.

Embora na fase de viveiro as mudas produzidas em tubos tenham apresentado o mesmo desempenho daquelas produzidas em sacos plásticos, o sistema tradicional de plantio (saco/cova) proporcionou um maior desenvolvimento às plantas. Esta superioridade se deve a enorme diferença entre o volume de uma cova (8 litros) e o volume dos furos (456 ml). A elevada resistência à penetração do substrato e a reduzida disponibilidade de água nas condições do experimento potencializaram essa vantagem. No entanto, observa-se ainda assim que as plantas produzidas em tubos e plantadas em furos alcançaram uma taxa de sobrevida equivalente e um desenvolvimento satisfatório, a despeito do reduzido volume do furo.

Uma possível forma de melhorar o desempenho das plantas no sistema de plantio de mudas em furos seria realizar a perfuração no fundo de uma pequena escavação. Esse procedimento permitiria utilizar o volume escavado para aumentar a adubação e a captação de água para a planta. Dessa forma seria desenvolvido um sistema misto, aproveitando-se melhor as vantagens do plantio em covas e do plantio em furos.

Outra alternativa seria a mecanização da abertura dos furos, através de furadeiras industriais com brocas adaptadas, permitindo a melhoria do rendimento da operação e o aumento do diâmetro e consequentemente do volume.

Os tratamentos com mudas produzidas em tubetes tiveram um desempenho inferior, independente do formato e volume da cova, pelo fato destas apresentarem comprimento e biomassa menores no plantio, comprometendo seu desenvolvimento inicial.

### 3.3.2.5 - Interação entre espécies e métodos de plantio

Nas análises de variância da altura aos 05 meses, área de copa aos 05 e 16 meses e sobrevivência aos 05 meses, foram detectadas interações significativas entre as espécies e os métodos de plantio (teste F, a 5%). Em função disso, foram realizadas análises em separado para cada espécie, comparando-se os diversos métodos de plantio.

O sabiá apresentou um comportamento bastante semelhante ao obtido na análise conjunta, podendo-se afirmar que, de uma maneira geral, o método de plantio saco/cova apresentou os maiores valores, seguido pelo método de plantio tubo/furo. O método de plantio tubete/cova e o método de plantio tubete/furo não apresentaram diferença estatística entre si em nenhum dos parâmetros, em ambas as medições (Tabela 20 e 21).

Borrachudo, no entanto, apresentou comportamento diverso. Apesar do método de plantio saco/cova apresentar médias superiores aos demais em valores absolutos, esta superioridade foi significativa apenas no parâmetro altura aos 05 meses. O fato que mais chamou a atenção, no entanto, é que, diferente do que ocorreu na análise conjunta, os método de plantio tubete/cova e tubo/furo alternaram-se na segunda maior média em valores absolutos, entretanto sem diferença significativa entre si (Tabela 20 e 21)

Tabela 20 – Altura média (cm) de sabiá e borrachudo aos 5 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte. Análises em separado e conjunta.

Altura (cm) aos 5 meses			
Método de plantio	Sabiá	Borrachudo	Média/espécie
Saco/cova	149,0 A	41,3 A	95,1 A
Tubete/cova	95,8 BC	18,5 B	57,1 BC
Tubo/furo	118,3 AB	19,0 B	68,6 B
Tubete/furo	72,8 C	8,0 B	40,4 C
C.V.	13 %	39 %	21%

\* As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5 %

Tabela 21 - Área de copa média ( $\text{cm}^2$ ) de sabiá e borrachudo aos 16 meses, sob diversos métodos de plantio, em talude de corte. Análises em separado e conjunta.

Área de copa (cm) aos 16 meses

Método de plantio	Sabiá	Borrachudo	Média/espécie
Saco/cova	70.170,3 A	1.622,3 A	35.896,3 A
Tubete/cova	10.656,3 C	1.241,8 A	5.949,0 C
Tubo/furo	39.073,8 B	746,5 A	19.910,1 B
Tubete/furo	16.732,5 C	296,0 A	8.514,3 C
C.V.	22%	63 %	29 %

\*As médias seguidas de letras maiúsculas diferentes na mesma coluna apresentam diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5 %.

Considerando-se os dados acima expostos, observa-se que, para o sabiá, os método de plantio tubete/cova e método de plantio tubete/furo foram equivalentes, enquanto para o borrachudo, os método de plantio tubete/cova e método de plantio tubo/furo foram similares.

Quando levamos em conta que, no método de plantio tubete/cova e no método de plantio tubete/furo as mudas eram idênticas no plantio, o fato de não ter havido diferença entre eles pode ser atribuído a uma menor sensibilidade do sabiá ao formato e volume da cova de plantio. No entanto, a espécie manteve no campo a vantagem inicial proporcionado pelo sistema de produção de mudas em tubos e sacos sobre produção em tubetes (Tabela 9).

No caso do borrachudo, pelo contrário, embora o método de plantio tubo/furo tenha levado uma vantagem inicial sobre o método de plantio tubete/cova em virtude do maior porte inicial da muda, houve uma tendência do método de plantio tubete/cova de superar o método de plantio tubo/furo da 1<sup>a</sup> para a 2<sup>a</sup> medição, o que significa que o formato e o volume da cova tem maior importância para esta espécie do que o porte inicial da muda (Tabela 21).

### 3.3.3 - CONCLUSÕES

- As mudas de *Mimosa caesalpinifolia* (sabiá) obtiveram um melhor desenvolvimento do que as mudas de *Machaerium hirtum* (borrachudo) para todos os recipientes testados
- As mudas de borrachudo apresentaram maior relação raiz/parte aérea em comprimento e em biomassa seca
- As mudas produzidas em tubos tiveram o mesmo desempenho daquelas produzidas em sacos plásticos, apresentando ainda maior relação raiz/parte aérea em comprimento
- A produção de mudas em tubos pode ser utilizada quando se deseja obter mudas com alta relação raiz/parte aérea em comprimento
- Sabiá foi superior ao borrachudo para o plantio em talude em todos os parâmetros avaliados
- A produção de mudas em sacos e o plantio em covas proporcionou maior altura, área de copa e diâmetro de colo às plantas em comparação aos métodos de plantio em tubos e em tubetes.
- O porte inicial da muda teve maior influência sobre o comportamento do sabiá no plantio definitivo do que o formato e o volume da cova, enquanto para o borrachudo ocorreu o oposto
- Em taludes onde se deseja maior desenvolvimento vertical das raízes aliado a uma boa cobertura do terreno, é possível o plantio de sabiá produzido em tubos e plantadas em furos profundos.
- O plantio de borrachudo em taludes deve ser realizado em covas.

## 4 – CAPÍTULO II

### COMPORTAMENTO DO SISTEMA RADICULAR DE LEGUMINOSAS ARBÓREAS EM TALUDES DE CORTE E ATERRO

#### 4.1- INTRODUÇÃO

As raízes das árvores exercem um importante papel na estabilização de taludes com baixa coesão. GRAY & LEISER (1982) consideram que o conjunto de raízes verticais (raiz principal pivotante e raízes secundárias verticais) pode penetrar no perfil do solo até camadas mais consolidadas (Horizonte C ou rocha fraturada) ancorando os horizontes superficiais, aumentando consequentemente sua resistência ao deslizamento. ABE & ZIEMER (1991a,b) demonstraram que o reforço das raízes é importante onde as mesmas podem crescer entre fraturas da rocha matriz ou penetrar nas camadas de rochas semi-decompostas. A forma de desenvolvimento, o vigor, a profundidade e a distribuição das raízes tem sido utilizados como critérios para a seleção de espécies para a revegetação de área mineradas (DARMER, 1992). A seleção de espécies e das técnicas de produção de mudas com a finalidade de estabilização de taludes devem necessariamente ser baseadas no conhecimento do sistema radicular. Do ponto de vista da potencialização do efeito estabilizador da vegetação, as características mais importantes são a profundidade, a biomassa e arquitetura radicular, bem como a relação raiz/parte aérea.

O comportamento das raízes é fortemente influenciado pelas características do substrato onde se desenvolve (PRITCHETT, 1979; FELDMAN, 1984; 1988; NUNES et al. 1992; ALLEMÃO et al., 1995). Em floresta natural, NUNES et al. (1992) detectaram variações nos padrões de enraizamento em árvores de uma mesma espécie, no mesmo estádio de desenvolvimento e ocupando uma mesma posição na encosta. Constatou-se que as características físicas do solo exercem um importante papel no controle da

distribuição das raízes.

FELDMAN (1988) considera que, isoladamente, a compactação é o fator mais importante no controle da distribuição do sistema radicular. Os substratos compactos apresentam elevada resistência mecânica, baixa disponibilidade de oxigênio, e possivelmente, altas concentrações de dioxido de carbono e outros gases tóxicos resultantes da aeração insuficiente (PRITCHETT, 1979). Nessas condições, as taxas de crescimento radicular são reduzidas, tendendo a ocorrer o espessamento das raízes. O padrão de ramificação é profundamente modificado. O impedimento ao desenvolvimento dos eixos principais resulta na compensação através do crescimento dos eixos laterais (PELDMAN, 1984). Contudo, o comportamento do sistema radicular varia sensivelmente entre as espécies. Em ambientes que não apresentem restrições ao desenvolvimento das raízes, as espécies arbóreas tendem a apresentar um sistema radicular distinto (PRITCHETT, 1979). Estudando a arquitetura radicular de 12 espécies diferentes desenvolvendo-se sob as mesmas condições, TOKY & BISHT (1992) encontraram uma grande variação na distribuição vertical e horizontal, no número total, e na biomassa das raízes. A arquitetura radicular é portanto o resultado da interação genótipo-ambiente.

Baseado em diversos trabalhos sobre o tema, ANDRADE (1997) considerou que a biomassa total das raízes e sua relação com a biomassa da parte aérea de espécies arbóreas de diferentes idades e locais mostraram uma grande variabilidade. Essas variações são atribuídas à carga genética, às características do sítio, às práticas de manejo adotadas e ao ataque de pragas e/ou doenças. Um fator importante na seleção de espécies na estabilização de taludes é a relação raiz/parte aérea. Uma alta relação raiz/parte aérea favorece a estabilidade do conjunto planta-solo.

Nas Tabelas 22 e 23 observa-se a enorme variação na biomassa seca de raízes e na relação raiz/parte aérea entre as espécies. *Albizia lebbeck*, por exemplo, apresentou altos valores, tanto na biomassa seca das raízes quanto na relação raiz/parte aérea quando comparada às demais.

Observa-se ainda, na Tabela 23, que uma mesma espécie (*Robinia pseudoacacia*) pode apresentar diferentes relações raiz/parte aérea em função da idade.

Tabela 22- Biomassa seca de raízes de diversas espécies arbóreas na Índia  
 (Extraído de Andrade & Faria, 1997)

Espécie	Biomassa seca de raízes (kg/arv)	Idade (anos)	Local de plantio	Referências
<i>Acacia catechu</i>	2,2	6-7	Hisar, Índia	Toky et al., 1992
<i>Acacia nilotica</i>	7,6	6-7	Hisar, Índia	Toky et al., 1992
<i>Albizia lebbeck</i>	8,7	6-7	Hisar, Índia	Toky et al., 1992
<i>Dalbergia sissoo</i>	3,4	6-7	Hisar, Índia	Toky et al., 1992
<i>Prosopis cineraria</i>	2,6	6-7	Hisar, Índia	Toky et al., 1992
<i>Leucaena leucocephala</i>	7,1	6-7	Hisar, Índia	Toky et al., 1992
<i>Mimosa caesalpiniifolia</i>	4,4	6	Seropédica, BR	Andrade&Faria1997
<i>Acacia mangium</i>	2,9	6	Seropédica, BR	Andrade&Faria 1997
<i>Acacia holosericea</i>	1,9	6	Seropédica, BR	Andrade&Faria 1997
<i>Gliricidia sepium</i>	2,3	2	San Juan, P.Rico	Parrotta&Singh, 1992
<i>Dalbergia sissoo</i>	0,5	1,3	Bihar, Índia	Chatuverdier al 1992
<i>Leucaena leucocephala</i>	2,0	1,3	Bihar, Índia	Chatuverdier al 1992
<i>Sesbania sesban</i>	3,5	1,3	Bihar, Índia	Chatuverdier al 1992
<i>Bauhinia variegata</i>	0,7	1,3	Bihar, Índia	Chatuverdier al 1992
<i>Acacia lenticularis</i>	0,4	1,3	Bihar, Índia	Chatuverdier al 1992
<i>Acacia auriculiformis</i>	0,3	1	Bangladesh, Índia	Hossain et al., 1992
<i>Albizia saman</i>	0,6	1	Bangladesh, Índia	Hossain et al., 1992
<i>Eucalyptus sp.</i>	0,2	1	Bangladesh, Índia	Hossain et al., 1992
<i>Anthocephalus cadamba</i>	0,3	1	Bangladesh, Índia	Hossain et al., 1992

Tabela 23 - Biomassa seca de raízes e relação raiz/parte aérea de diversas espécies arbóreas na Índia – Extraído de Andrade (1997)

Espécie	Biomassa raiz (t/ha)	Relação r/p.a.	Idade (anos)	Referências
<i>Acacia mollissima</i>	2,3	0,22	1	Bhatt & Todaria (1991)
<i>Albizia lebbeck</i>	6,4	0,94	1	Bhatt & Todaria (1991)
<i>Bauhinia variegata</i>	2,1	1,03	1	Bhatt & Todaria (1991)
<i>Senna siamea</i>	3,2	0,10	1	Bhatt & Todaria (1991)
<i>Leucaena leucocephala</i>	4,7	1,00	1	Bhatt & Todaria (1991)
<i>Robinia pseudoacacia</i>	6,2	0,83	1	Bhatt & Todaria (1991)
<i>R. pseudoacacia</i>	23,2	0,23	6	Takhur & Kaushal (1991)
<i>R. pseudoacacia</i>	20,6	0,19	8	Takhur & Kaushal (1991)
<i>R. pseudoacacia</i>	11,1	0,21	14	Takhur & Kaushal (1991)
<i>R. pseudoacacia</i>	29,8	0,17	20	Takhur & Kaushal (1991)

A distribuição da biomassa radicular no solo pode ser definida pelo número, extensão, diâmetro e massa das raízes em função da sua posição. Vários classificações tem sido propostas para descrição da arquitetura radicular, sendo necessário buscar aquela que mais se adequa ao objetivo do estudo (ANDRADE, 1997).

O sistema radicular pode ser caracterizado com base no comportamento das raízes maiores (estruturais), em termos de sua forma, direção e distribuição; e na intensidade radicular, em função do nº, forma e distribuição das raízes finas. Embora o comportamento ou a forma do sistema radicular sejam influenciados pelas condições locais, estes fatores tendem a ser controlados geneticamente. A maior parte dos sistemas radiculares podem ser convenientemente classificados como pivotante, fasciculado ou superficial (PRITCHETT, 1979).

A arquitetura radicular tem importância sob diversos aspectos, principalmente naqueles relacionados à estabilidade mecânica do conjunto planta-solo, estando intimamente associada à resistência das árvores à ação do vento (HELLIWELL, 1989; COUTTS, 1983) e ao efeito estabilizador da vegetação sobre os taludes (GRAY & LEISER, 1982). A seleção de espécies com sistema radicular mais denso, profundo e com maior número de raízes grossas e alta resistência à tração tem sido recomendada.

Dessa forma, o presente estudo visa estudar o comportamento do sistema radicular de duas leguminosas arbóreas plantadas e uma espécie nativa expontânea sobre taludes de aterro, e de duas leguminosas arbóreas plantadas sobre talude de corte. O estudo baseou-se na quantificação da biomassa das raízes e da parte aérea, bem como na análise de perfis verticais do substrato, com a finalidade de avaliar a relação raiz/parte aérea e a arquitetura radicular das espécies. Deu-se ênfase ao estudo das raízes verticais.

## 4.2 – EXPERIMENTO 1:

### RELAÇÃO RAIZ/PARTE AÉREA E ARQUITETURA RADICULAR DE *Albizia lebbeck, Acacia angustissima e Trema micrantha* EM TALUDE DE ATERRA

#### 4.2.1- MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.2.1.1 - Caracterização geral da área experimental

O experimento foi realizado em talude de aterro localizado na área experimental descrita no item 3.2.1.1.

##### 4.2.1.2 - Talude de aterro

O material terroso mobilizado na execução de cortes para construção de estradas, terraplanagem e mineração é frequentemente depositado em áreas denominadas bota-foras. Quando depositados em encostas, formam-se taludes de aterro. Devido a desestruturação e a desagregação na operação de mobilização do material, esses taludes são altamente friáveis, sendo extremamente suscetíveis à erosão. Além disso, quando os depósitos são realizados sobre horizonte C ou sobre rocha, esses taludes apresentam alto risco de escorregamento (LOPES, 1994).

Na operação de construção de via de acesso interna na jazida, foi realizado corte no terreno e o material mobilizado foi depositado sobre um talude de horizonte C subjacente. O material depositado formou um talude. Nessa operação há uma mistura ou uma inversão dos horizontes do solo, normalmente expondo os horizontes subsuperficiais e aterrando o horizonte A.

O material movimentado continha uma boa quantidade de fragmentos vegetais. A ação da chuva criou sulcos de erosão que se acentuavam rapidamente, agravada pela drenagem concentrada no leito da via de acesso que desaguava sobre o talude. O talude apresenta 9 m de distância entre a base e o topo e 17 m de largura, com declividade de 70% ou 35°. A exposição é 50° (Nordeste). Na ocasião da implantação do experimento, a cobertura vegetal era ainda incipiente, composta em sua maior parte por plantas regeneradas a partir dos fragmentos vegetais existentes no material mobilizado, destacando-se algumas leguminosas arbóreas esparsas, algumas trepadeiras e cipós (Figura 29).

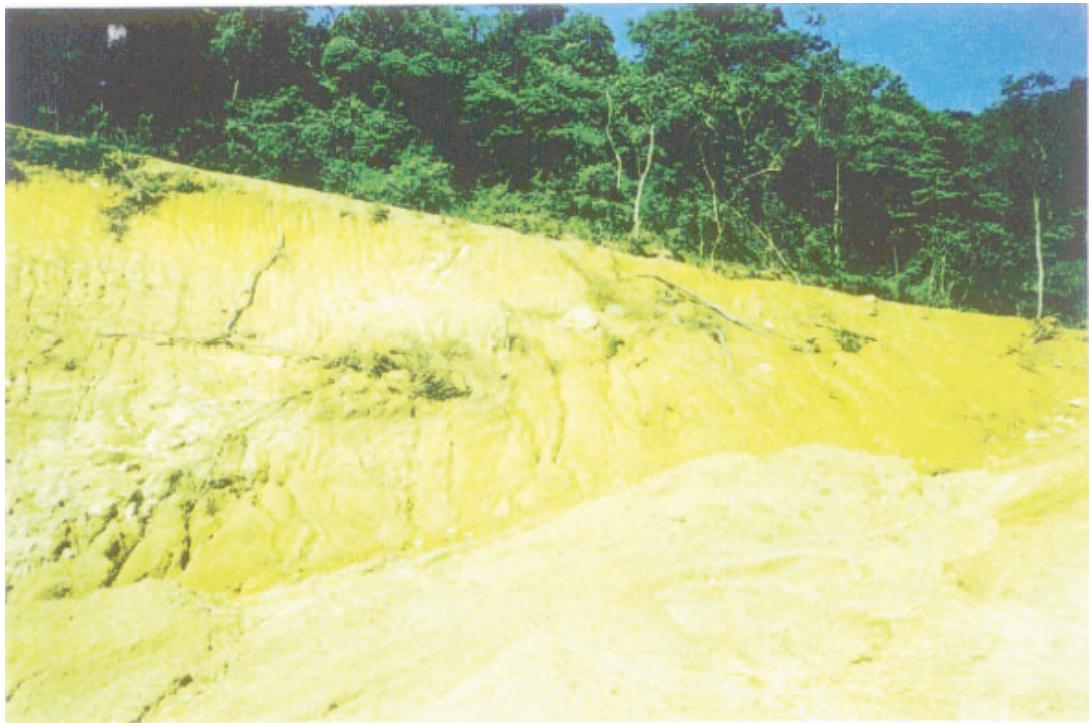


Figura 29 - Vista geral do talude de aterro.

## Caracterização do substrato

Na operação de corte e mobilização do solo a montante, ocorre um intenso revolvimento dos horizontes originais, conferindo ao substrato do talude de aterro características físicas e químicas mistas e mais uniformes entre os terços superior, médio e inferior. O teor de silte e argila foram superiores ao talude de corte, conferindo uma textura mais fina, o que representa uma vantagem do ponto de vista físico para o estabelecimento da vegetação, em função de uma maior capacidade de retenção de água e de troca catiônica (Tabela 24 e 25). Por outro lado, da mesma forma que o talude de corte, apresenta elevada acidez e altos teores de alumínio, além de deficiência em P (Tabela 25).

Tabela 24 - Análise granulométrica do substrato do talude de aterro. Média de 03 amostras

Amostra	Areia grossa (%)	Areia fina (%)	Silte (%)	Argila (%)
Terço superior	36	4	22	38
Terço médio	40	4	20	36
Terço inferior	37	5	20	38
Média	37,7	5,3	20,7	37,3

Tabela 25 - Análise química do talude de aterro para fins de fertilidade. Média de 03 amostras

Amostra	pH água 1:2,5	Al (meq/100 ml)	Ca + Mg (meq/100 ml)	Na mg.kg <sup>-1</sup>	K mg.kg <sup>-1</sup>	P mg.kg <sup>-1</sup>
terço superior	4,0	2,7	0,8	2	20	1
terço médio	4,2	2,6	0,3 + 1,2	5	47	1
terço inferior	3,9	2,5	0,3 + 1,2	5	35	1
média	4,0	2,6	1,3	4	34	1

#### 4.2.1.3 - Espécies utilizadas

*Albizia lebbeck* é uma leguminosa florestal de rápido crescimento nativa da Índia e sul da Ásia. Trata-se de uma espécie de múltiplo usos, sendo indicada, entre outros, para quebra-ventos, cultivo em faixas (“alley cropping”), produção de forragem, lenha e madeira, além de ser ornamental (POWELL & WEBER, 1996). Considerada tolerante à acidez do solo e a períodos de seca superiores a 4 meses, desenvolve-se com sucesso em regiões com pelo menos 400 mm anuais de precipitação (PRINSEN, 1988). Apesar de tratar-se de espécie caduca, tem sido recomendada para o controle da erosão (MACDICKEN, 1988) e ancoramento do solo (SOMMEN, 1981 apud PRINSEN, 1988).

*Acacia angustissima* é uma leguminosa florestal originaria do sudoeste dos Estados Unidos, México e América Central (WIERSEMA, 1990), com potencial de uso em quebra-ventos, cultivo em faixas (“alley cropping”), produção de forragem, lenha e madeira (POWELL & WEBER, 1996)

*Trema micrantha* é conhecida popularmente como crindiúva. Trata-se de uma espécie tipicamente pioneira, de vasta dispersão e indicada para reflorestamento heterogêneo destinado à recomposição de áreas degradadas. Suas flores são melíferas e seus frutos são avidamente consumidos pela fauna (LORENZI, 1992). A crindiúva não é exigente, adaptando-se a solos de baixa fertilidade, sendo colonizadora de áreas desnudas, ocorrendo em terrenos inóspitos como minas de cassiterita, dunas e em substratos rasos e pedregosos (CARVALHO, 1994). Na área em estudo houve intensa colonização por esta espécie.

#### 4.2.1.4 - Produção de mudas

As mudas de *A. lebbeck* foram produzidas a partir de sementes inoculadas com uma mistura das estirpes de rizóbio BR 5610 e BR 5611, e as de *A. angustissima* a partir de sementes inoculadas com uma mistura das estirpes BR 3629 e BR 3630. As sementes de ambas as espécies foram inoculadas ainda com fungos WA (*Glomus clarus* e *Gigaspora margarita*) à base de 5g/ recipiente. Todos os inoculantes foram produzidos na Embrapa Agrobiologia.

A semeadura foi realizada diretamente em tubetes cônicos de plástico rígido, com volume de 60 ml. A escolha dos tubetes como recipientes se deveu a necessidade de reduzir o peso para transporte das mudas a locais de difícil acesso. Além disso, evita-se o enovelamento que poderia prejudicar o desenvolvimento vertical das raízes. As espécies não demonstraram boa adaptação ao método de produção de mudas utilizadas, ficando somente prontas para o plantio aos 05 meses de idade, quando apresentavam a altura média de 25 cm.

#### 4.2.1.5 - Plantio e adubação

Sobre o talude de aterro foram plantadas 48 mudas de cada espécie de leguminosa. A fim de evitar o arraste das mudas juntamente com o substrato pelo intenso processo erosivo, utilizou-se fixadores confeccionados com colmos de bambu (Figuras 30 e 31). O espaçamento utilizado foi de 1,50 x 1,50 m. As mudas foram plantadas em pequenos furos com 25 cm de profundidade e 3,8 cm de diâmetro, e adubação à base de 25 g de fosfato de rocha + 25 g de gesso + 5 g de micronutrientes (FTE-BR12). O objetivo foi reduzir ao mínimo a aplicação de fertilizantes e a mão-de-obra gasta, reduzindo os custos de implantação. Além disso, permitiram o estudo do desenvolvimento da planta com um mínimo de interferência, possibilitando uma comparação mais justa com a espécie nativa expontânea.

Simultaneamente ao plantio, houve intensa colonização vegetal do talude que se deu a partir de propágulos (sementes, fragmentos de raízes e de caules) oriundos da vegetação vizinha. Dentre as espécies da regeneração natural foram selecionadas dois espécimes de *T. micrantha* para comparação.



Figura 30 - Plantio em talude de aterro.



Figura 31 – *A. lebbeck* (à esquerda) e *A. angustissima* plantadas em talude de aterro com o auxílio de fixador de bambu.

#### 4.2.1.6 - Delineamento experimental e parâmetros de avaliação

O estudo do sistema radicular concentrou-se nas raízes de desenvolvimento vertical. O entrelaçamento de raízes com as espécies expontâneas, a dificuldade de acesso ao local de estudo e a instabilidade do talude inviabilizaram o estudo minucioso de raízes laterais e raízes secundárias.

Aos 31 meses e 6 dias, das 48 árvores plantadas, 04 foram sorteadas para avaliação, sendo duas de cada espécie. Além dessas foram selecionadas 02 árvores de *T. micrantha* regeneradas naturalmente. Cabe ressaltar que as árvores plantadas e regeneradas tinham aproximadamente a mesma idade, uma vez que, na ocasião do plantio, o talude encontrava-se desprovido de vegetação e que esta passou a se regenerar a partir das operações de preparo do terreno.

Foram escavados perfis verticais, visando expor o sistema radicular até o plano do caule. A profundidade da escavação correspondeu a profundidade máxima das raízes. Durante a escavação procurou-se evitar danos às raízes estruturais, procurando manter sua configuração natural. Em seguida elaborou-se um croquis, com a altura da planta, diâmetro do colo, profundidade máxima das raízes, comprimento e diâmetros das seções das raízes principais, além da profundidade da transição entre as camadas do substrato. Após a elaboração do croquis, o perfil foi fotografado. As fotografias obtidas foram “scanerizadas” e à imagem digital foram incorporados elementos do croquis através do editor de imagens, produzindo-se assim fotografias comentadas.

As raízes foram cuidadosamente extraídas do terreno e, assim como a parte aérea, foram secas em estufa à 105°C até peso constante. Depois de secas foram pesadas, determinando-se a biomassa seca das raízes e da parte aérea.

Baseado nos padrões de hábitos radiculares propostos por PRITCHETT (1979), representados na Figura 32, e HARRINGTON et al. (Figura 33), na classificação de MENZIE (Figura 34 e 35) e MASON (Figura 36), apresentados em CARNEIRO (1995), foram descritas as arquiteturas radiculares das plantas. A análise das raízes laterais, bem como das raízes secundárias finas foi prejudicada pelos danos causados na operação de abertura das trincheiras.

Adotou-se os seguintes critérios para descrição:

- 1) Identificação da arquitetura radicular para classificação como pivotante, fasciculado ou superficial;
- 2) No caso de tratar-se de sistema radicular pivotante, foram identificadas sua orientação do crescimento e suas possíveis deformações;
- 3) Avaliação do desenvolvimento e deformações das raízes laterais, além da presença de raízes secundárias;
- 4) Foi utilizada a expressão diâmetro mediano para o diâmetro da raiz pivotante principal, na altura da metade da profundidade máxima
- 5) Foram consideradas raízes finas aquelas com diâmetro inferior a 0,5 cm.

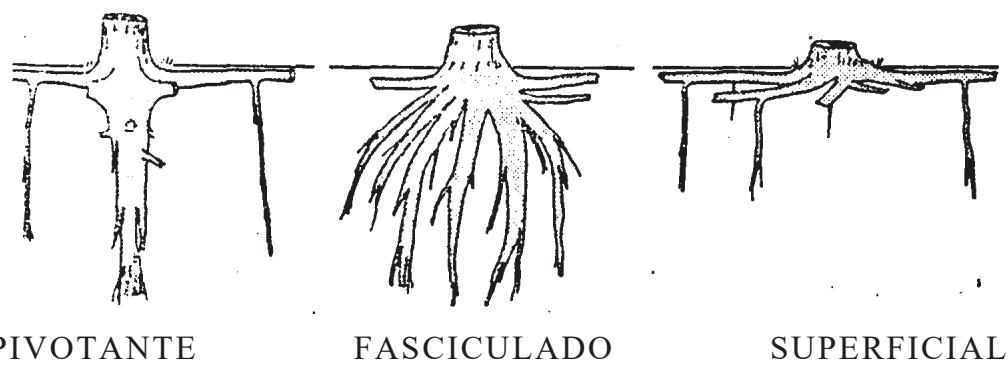
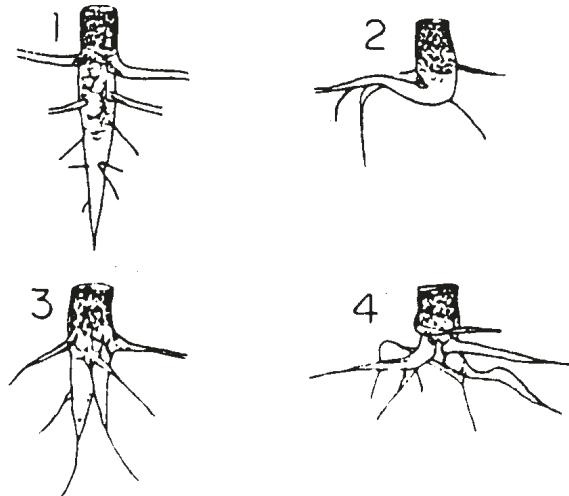


Figura 32 – Representação esquemática dos hábitos radiculares (PRITCHETT, 1979)



- 1) Raiz pivotante claramente vertical
- 2) Raiz pivotante definida, mas não vertical
- 3) Raiz pivotante com ramificação, mas claramente vertical
- 4) Ausência de raiz pivotante

Figura 33 – Classes de orientação do crescimento das raízes pivotantes. Adaptado de CARNEIRO (1995)

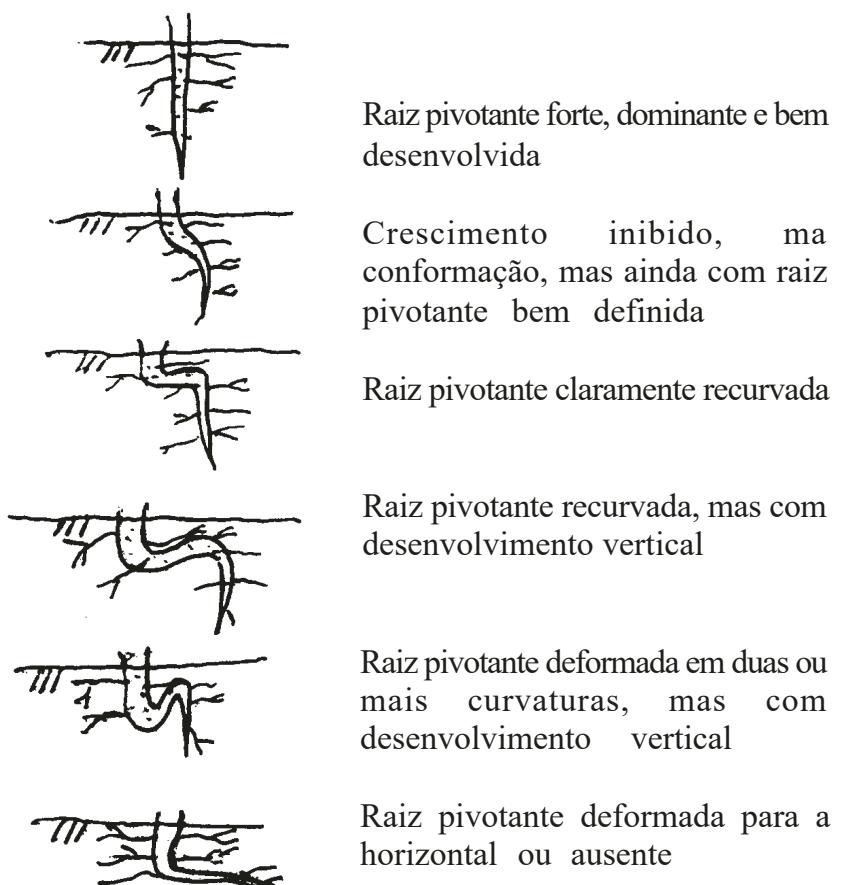


Figura 34 – Classificação de MENZIE das deformações da raízes pivotantes. Adaptado de CARNEIRO (1995)

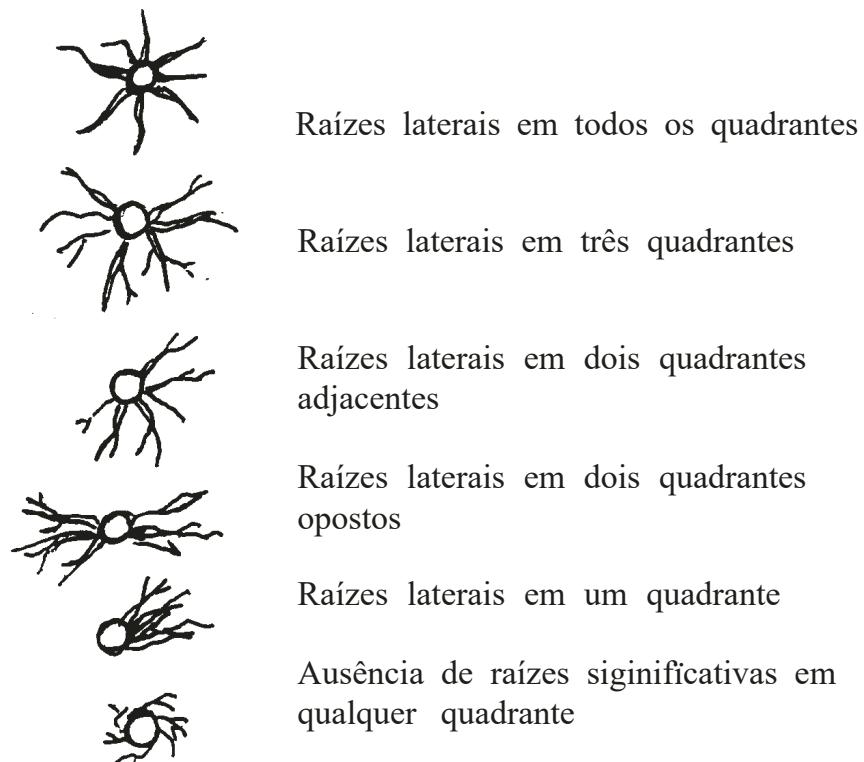


Figura 35 – Classificação de MENZIE das deformações da raízes laterais. Adaptado de CARNEIRO (1995)

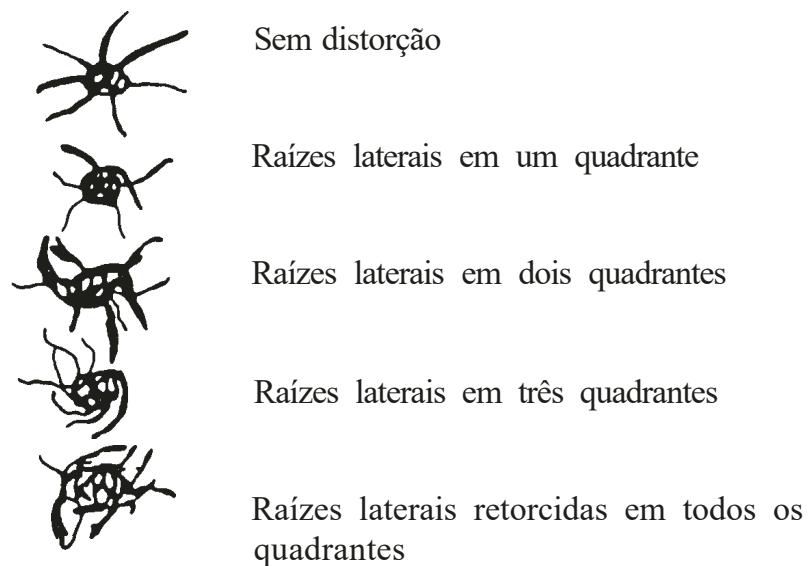


Figura 36 – Classificação de MASON das deformações da raízes laterais. Adaptado de CARNEIRO (1995)

## 4.2.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.2.2.1 - Comprimento, biomassa e relação raiz/parte aérea

Tabela 26 – Comprimento máximo, biomassa seca da parte aérea (p.a) e das raízes (r), e relação raiz/parte aérea (rel. r/p.a) de *A. lebbeck*, *A. angustissima* e *T. micrantha* aos 31 meses de idade, em talude de aterro.

Espécie	Comprimento (cm)			Biomassa (g)		
	Parte aérea	Raiz	Rel. r/p.a	Parte aérea	Raiz	Rel. r/p.a
Albizia 1	208	125	0,60	400	875	2,19
Albizia 2	153	118	0,77	200	550	2,75
<b>Médias</b>	<b>180,5</b>	<b>121,5</b>	<b>0,69</b>	<b>300</b>	<b>712,5</b>	<b>2,47</b>
Acacia 1	304	107	0,35	1.350	1.150	0,85
Acacia 2	260	92	0,35	1.600	1.050	0,66
<b>Médias</b>	<b>282</b>	<b>99,5</b>	<b>0,34</b>	<b>1.475</b>	<b>1.100</b>	<b>0,76</b>
Trema 1	270	155	0,57	3.775	1.250	0,33
Trema 2	170	90	0,53	1.450	525	0,36
<b>Médias</b>	<b>220</b>	<b>122,5</b>	<b>0,55</b>	<b>2.612,5</b>	<b>887,5</b>	<b>0,35</b>

Dada a dificuldade de acesso, instabilidade do terreno e por se tratar de uma técnica extremamente laboriosa, especialmente na abertura do perfil (Figura 37), o número de amostras limitou-se a duas por espécie. Ainda assim é possível observar que o desenvolvimento das plantas ficou abaixo do esperado para leguminosas arbóreas consideradas de rápido crescimento como *A. lebbeck* e *A. angustissima* (Figura 41). Este fato reflete as duras condições a que as plantas foram submetidas, em função das restrições impostas pelo meio e pelo método de plantio utilizado, que limitou-se ao plantio em furos de 3,7 cm de diâmetro e 20 cm de profundidade, com aplicação de apenas 55 g de adubo mineral. Ainda assim, as espécies introduzidas desenvolveram-se em altura e profundidade de raízes próximas a *T. micrantha*, espécie nativa pioneira que apresenta altas taxas de crescimento, podendo, segundo CARVALHO (1994), crescer até 5 m no primeiro ano em regeneração natural. No entanto, em termos de biomassa da parte aérea, esta apresentou um desenvolvimento superior, mostrando boa capacidade de adaptação às condições locais, principalmente levando-se em conta o fato de não ter sido adubada como as demais (Figura 41).

No que diz respeito à relação raiz/parte aérea, observa-se que *A. lebbeck* apresentou valores superiores às demais espécies. Isto se deve em parte ao fato de tratar-se de espécie caduca que, na época da coleta dos dados, encontrava-se sem folhas, reduzindo assim a biomassa da parte aérea. No entanto, observa-se que a relação raiz/parte aérea em comprimento também foi elevada (Tabela 26). O resultado obtido confirma a tendência da espécie em apresentar valores elevados de relação raiz/parte aérea, conforme o dado apresentado na Tabela 22. Essa tendência pode indicar um bom potencial para uso em revegetação de taludes.



Figura 37 – Escavação para estudo do sistema radicular em taludes.

#### 4.2.2.2 - Arquitetura radicular

As descrições dos sistemas radiculares de *A. lebbeck*, *A. angustissima* e *T. micrantha* aos 31 meses de idade são apresentadas abaixo:

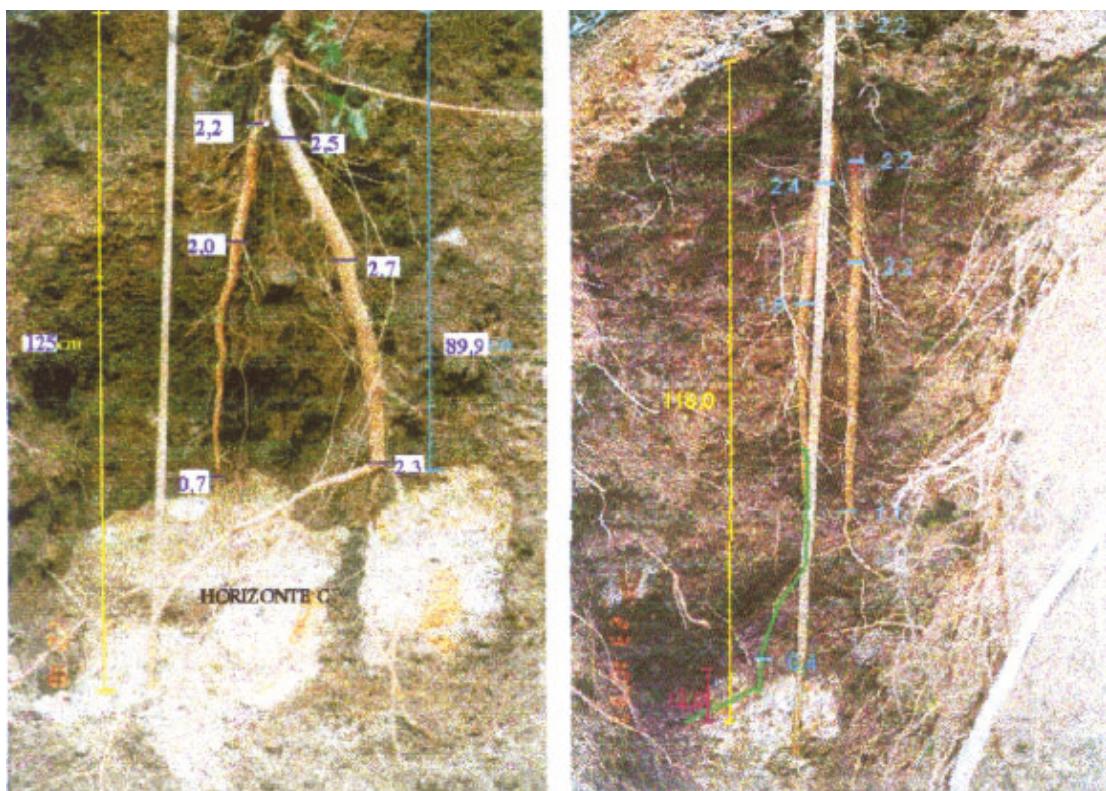


Figura 38 - *A. lebbeck* (árvore 1 e árvore 2) em talude de aterro aos 31 meses.

*A. lebbeck* apresentou sistema radicular pivotante com bifurcação. As raízes pivotantes são vigorosas e dominantes, apresentando as profundidades máximas de 118 e 125 cm, com diâmetro mediano de 1,6 e 2,7 cm. Uma delas penetrou 35 cm no horizonte C. Possui poucas raízes laterais e elevado número de raízes secundárias finas (Figura 38).



Figura 39 - *A. angustissima* (árvore 1 e árvore 2) em talude de aterro aos 31 meses.

*A. angustissima* apresentou sistema radicular fasciculado, com 8 ou mais raízes grossas (acima de 1 cm de diâmetro) partindo do colo da planta, distribuindo-se em todos os quadrantes. As profundidades máximas foram de 70 e 107 cm, sem haver no entanto penetrado no horizonte C. Apresenta elevado número de raízes secundárias finas (Figura 39).



Figura 40 - *T. micrantha* (árvore 1 e árvore 2) em talude de aterro aos 31 meses.

*T. micrantha* apresentou sistema radicular pivotante alcançando as profundidades máximas foram de 90 e 155 cm, com diâmetro mediano de 1,6 e 2,8 cm. São claramente recurvadas, apresentando duas ou mais curvas; poucas raízes laterais e raízes secundárias finas. A raiz pivotante penetrou até 43 cm no horizonte C (Figura 40).

As espécies apresentaram sistema radicular diferenciado. Porém, não houve diferença na classificação da arquitetura radicular entre as duas amostras de cada espécie, o que reforça a influência genotípica sobre a conformação das raízes (TOKY & BISHT, 1992).

Levando-se em conta os elevados valores para relação raiz/parte aérea apresentados por *A. lebbeck*, tanto na literatura (ANDRADE, 1997), quanto neste trabalho, e ainda por possuir vigorosas raízes pivotantes, esta espécie demonstrou-se indicada para o ancoramento do solo, confirmando os dados de PRINSEN (1988). No entanto, pelo fato de tratar-se de espécie caduca, deve ser combinadas a outras que proporcionem uma cobertura do solo complementar contra o impacto direto das chuvas, proporcionando desse modo uma proteção integral ao talude.

*T. micrantha* demonstrou ser uma espécie capaz de aliar uma boa cobertura do solo a um eficiente sistema radicular para estabilização do talude. Em substratos com teores reduzidos de matéria orgânica, deve ser combinada a leguminosas fixadoras ou a uma fonte extema de N.

Um critério válido na seleção de espécies para plantio combinado com *A. lebbeck* e com *T. micrantha* é a presença de enraizamento lateral, uma vez que as mesmas apresentam poucas raízes distribuídas na camada superior do substrato (Figuras 38 e 40). *A. angustissima*, ao contrário, apresentou sistema radicular fasciculado, com raízes grossas distribuídas em todos os quadrantes e em várias profundidades. A combinação desta com as demais espécies proporcionaria a formação de uma verdadeira teia de raízes (PRADINI et al., 1976), reforçando o substrato contra a ocorrência de movimentos de massa.



Figura 41 – Regeneração natural e o plantio em talude de aterro.

#### 4.2.3 - CONCLUSÕES

- *Albizia lebbeck*, *Acacia angustissima* e *Trema micrantha* apresentaram diferenças no comprimento e na biomassa da parte aérea e das raízes;
- *Acacia angustissima* apresentou sistema radicular fasciculado;
- *Albizia lebbeck* e *Trema micrantha* apresentaram sistema radicular pivotante;
- *Albizia lebbeck* apresentou arquitetura radicular pivotante, altas relações raiz/parte aérea em comprimento e em biomassa e capacidade de penetração de raiz no horizonte C. O conjunto dessas características permite considerá-la como espécie com potencial de uso para ancoramento de taludes de aterro;
- Pelo desempenho apresentado pela espécie, o plantio de *Trema micrantha* em talude de aterro, principalmente associada a uma leguminosa ou a uma fonte de matéria orgânica, pode ser uma alternativa viável.

#### 4.3 – EXPERIMENTO 2 :

### RELAÇÃO RAIZ/PARTE AÉREA E ARQUITETURA RADICULAR DE *Mimosa caesalpiniifolia* (SABIÁ) e *Machaerium hirtum* (BORRACHUDO) SOB DIVERSOS MÉTODOS DE PLANTIO EM TALUDE DE CORTE

#### 4.3.1- MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.3.1.1 - Caracterização da área experimental

A área experimental foi descrita nos itens 3.2.1.1 e 3.2.1.2.

##### 4.3.1.2 - Espécies utilizadas e métodos de plantio

A descrição das espécies e dos métodos de plantio se encontram do item 3.3.1.2 ao item 3.3.1.5.

##### 4.3.1.3 - Delineamento experimental e parâmetros de avaliação

Aos 21 meses, foi sorteada uma planta de cada uma das parcelas do bloco 4 (Horizonte C) do experimento descrito no item 3.3. Em seguida, estudou-se a distribuição e forma das raízes, bem como a relação parte área/raiz das 8 plantas, uma para cada método de plantio, sendo 04 de cada espécie.

Os métodos de avaliação e de preparo das imagens foram idênticos ao descrito no item 4.2.1.6, cabendo ressaltar que houve uma perda considerável de raízes, especialmente as finas, no ato da escavação e na extração da planta, devido à alta coesão do substrato.

## 4.3.2 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.3.2.1 - Comprimento, biomassa e relação raiz/parte aérea

Tabela 27 – Comprimento máximo, biomassa seca da parte aérea (p.a) e das raízes (r), e relação raiz/parte aérea (rel. r/p.a) de sabiá e borraчhudo aos 21 meses de idade, sob diversos métodos de plantio em talude de corte.

tratamento	Comprimento (cm)			Biomassa (g)		
	Parte aérea	Raiz	Rel. r/p.a	Parte aérea	Raiz	Rel.r/p.a
Sabiá saco/cova	364	35	0,10	1.035	780	0,75
Sabiá tubete/cova	235	34	0,14	285	180	0,63
Sabiá tubo/furo	314	46	0,15	325	325	0,46
Sabiá tubete/furo	190	47	0,23	185	170	0,92
<b>Médias</b>	<b>276</b>	<b>40,5</b>	<b>0,16</b>	<b>553,8</b>	<b>363,8</b>	<b>0,69</b>
Bor. saco/cova	172	117	0,68	335	520	1,55
Bor. tubete/cova	35	38	1,09	25	20	0,80
Bor. tubo/furo	160	91	0,57	175	250	1,43
Bor. tubete/ furo	33	51	1,55	15	35	2,33
<b>Médias</b>	<b>100</b>	<b>74,3</b>	<b>0,97</b>	<b>137,5</b>	<b>206,3</b>	<b>1,53</b>

Conforme se observa na Tabela 27, apesar de tratar-se da avaliação de apenas uma planta por tratamento, o sabiá apresentou um desenvolvimento acentuadamente superior ao borraчhudo, com plantas com biomassa total cerca de 2,5 vezes superiores, confirmando os resultados obtidos anteriormente (Tabelas 15 e 17). No entanto, analisando-se as relações raiz/parte aérea, o borraчhudo apresentou valores superiores, alcançando valores próximos ou superiores a 1, o que indica a tendência apresentada pela espécie desde a etapa de produção de mudas (Tabela 8).

#### 4.3.2.2 - Arquitetura radicular

Tabela 28 - Descrição do sistema radicular de sabiá aos 21 meses de idade sob diversos métodos de plantio

Tratamento	Descrição do sistema radicular	Figura n.º
1 – Sabiá saco/cova	Sistema radicular superficial, com profundidade máxima de 35 cm. Raízes laterais finas e secundárias em todos os quadrantes	42
2 – Sabiá tubete/cova	Sistema radicular superficial, com profundidade máxima de 34 cm. Raízes laterais finas concentradas em 2 quadrantes. Apresenta elevado número de raízes secundárias	43
3 – Sabiá tubo/furo	Sistema radicular pivotante. As raiz pivotante, trifurcada, apresenta profundidade máxima de 46 cm e diâmetros medianos de 0,9 , 0,9 e 0,6 cm. As raízes laterais são finas e concentradas em 2 quadrantes. Apresenta elevado número de raízes secundárias	44 e 46
4 – Sabiá tubete/furo	Sistema radicular pivotante. Raiz pivotante trifurcada, com 47 cm de profundidade máxima e com diâmetros medianos inferiores a 0,5 cm. As raízes laterais são finas e distribuídas em todos os quadrantes. Apresenta elevado número de raízes secundárias	45

Observa-se que o sabiá apresentou diferentes arquiteturas radiculares, em função dos diversos métodos de plantio (Tabela 28). No método convencional, onde o plantio é realizado em covas, as plantas apresentaram sistema radicular superficial confirmando os resultados obtidos por ANDRADE (1997). No entanto, no plantio em furos, o sistema radicular apresentado foi tipicamente pivotante. As raízes laterais e secundárias se apresentaram, de uma maneira geral, finas e concentradas na zona de influência da cova de plantio.

Cabe ressaltar, no entanto, que a profundidade máxima das raízes para o plantio de sabiá em furos foi limitada a aproximadamente a profundidade do furo. A partir desta profundidade, a planta não foi capaz de penetrar no substrato.



Figura 42 - Sabiá saco/cova.



Figura 44 - Sabiá tubo/furo.



Figura 43 - Sabiá tubete/cova.



Figura 45 - Sabiá tubete/furo.



Figura 46 – Sistema radicular de *M. caesalpiniifolia* aos 21 meses, produzida em tubo e plantada em furo em talude de corte, com torrão (esquerda) e destorradado.

O sabiá produzido em tubo e plantado em furo resultou na formação de raízes pivotantes com diâmetro superior à muda produzida em tubete. No entanto, as raízes apresentaram algumas características morfológicas classificadas como deformações radiculares (CARNEIRO, 1995). As raízes apresentaram estrangulamento, espiralamento e dobras (Figura 46).

Tabela 29 - Descrição do sistema radicular do borrachudo aos 21 meses de idade sob diversos métodos de plantio

Tratamento	Descrição do sistema radicular	Figura n. <sup>o</sup>
5 – Borrachudo saco/cova	Sistema radicular pivotante. Raiz pivotante forte, dominante e trifurcada, com profundidade máxima de 117 cm e diâmetros medianos de 2,0 , 1,2 e 1,0 cm . Poucas raízes laterais e raízes secundárias concentradas apenas no volume da cova	47
6 – Borrachudo tubete/cova	Sistema radicular pivotante. Raiz pivotante apresentando 4 ramificações, com profundidade máxima de 38 cm e diâmetros medianos de 0,7 , 0,6, 0,6 e 0,5 cm. Raízes laterais ausentes e raízes secundárias concentradas apenas no volume da cova	48
7 – Borrachudo tubo /furo	Sistema radicular pivotante. Raiz pivotante bifurcada, com profundidade máxima de 91 cm e diâmetros medianos de ambas as ramificações de 1,6 cm. A partir de 60 cm de profundidade cada ramificação volta a se bifurar. Apresenta poucas raízes laterais finas distribuídas em todos os quadrantes	49
8 – Borrachudo tubete/furo	Sistema radicular pivotante. Raiz pivotante com profundidade de 51 cm e 1,6 cm de diâmetro mediano. Raízes laterais e de raízes secundárias ausentes	50

Diferentemente do sabiá, o borrachudo apresentou em todos os tratamentos sistema radicular pivotante (Figuras 47,48,49 e 50). O método de plantio não teve influência sobre a arquitetura radicular desta espécie. As raízes laterais e secundárias foram poucas ou ausentes. Essa característica tem sido confirmada por observações de campo, onde as raízes laterais nos estádios iniciais de desenvolvimento da planta são virtualmente ausentes.

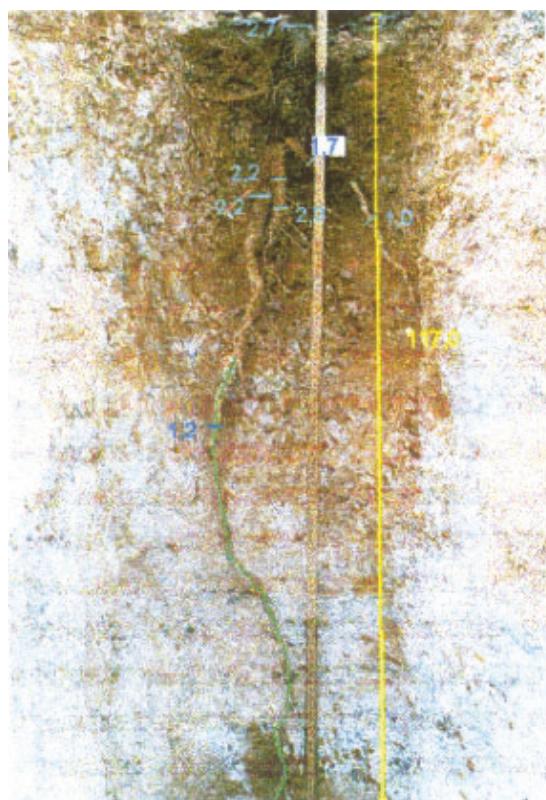


Figura 47 – Borrachudo saco/cova.



Figura 49 - Borrachudo tubo/furo.



Figura 48 - Borrachudo tubete/cova.

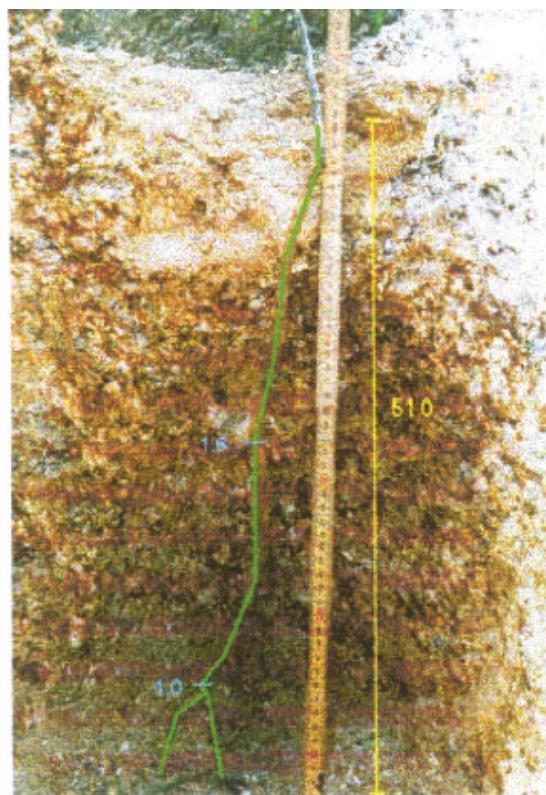


Figura 50 - Borrachudo tubete/furo.

A profundidade máxima das raízes no método convencional de plantio foi de apenas 35 cm para o sabiá, enquanto que, para o borrachudo, as raízes atingiram até 117 cm. Isso possibilita à espécie manter alta relação raiz/parte aérea mesmo no plantio em covas. Para esta espécie, as diferenças entre as profundidades máximas das raízes entre os diversos métodos de plantio parecem estar relacionadas às diferenças no desenvolvimento da planta como um todo, e não especificamente relacionadas a sua influência sobre o crescimento da raiz.

Para o sabiá, demonstrou-se que, através do plantio em furos, foi possível modificar o hábito radicular da espécie, originalmente superficial, para um sistema pivotante. Desse modo é possível aumentar o reforço mecânico proporcionado pelas raízes desta espécie, contribuindo para a estabilização de taludes.

No caso do borrachudo, os métodos de plantio devem estar voltados especificamente para proporcionar uma maior velocidade de crescimento à planta, uma vez que sua arquitetura radicular, tipicamente pivotante, foi indiferente ao sistema de plantio utilizado. Trata-se, portanto, de uma espécie de grande potencial para ancoramento de horizontes superficiais na rocha alterada.

#### 4.3.3 - CONCLUSÕES

- *Mimosa caesalpiniifolia* (sabiá) superou a *Machaerium hirtum* (borrachudo) em biomassa da parte aérea, enquanto *M. hirtum* apresentou maior relação raiz/parte aérea.
- O borrachudo apresentou hábito radicular pivotante, independentemente do método de plantio utilizado.
- O sabiá apresentou diferentes hábitos radiculares, variando em função do método de plantio utilizado. O plantio em covas deu origem a plantas com raízes superficiais, enquanto o plantio em furos possibilitou a formação de raízes pivotantes.
- Com base nos altos valores de biomassa total e profundidade máxima das raízes, o plantio de borrachudo em covas é indicado para taludes.
- Visando um maior aprofundamento do sistema radicular, o plantio de sabiá deve ser realizado em furos.

## 5 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABE, K.; ZIEMER, RR. Effect of tree roots on a shear zone: modeling reinforced shear stress. *Can. J. For. Res.* v.21, p. 1012-1019, 1991a.
- ABE, K.; ZIEMER, R.R. Effect of tree roots on shallow-seated landslides. 1991. Forest Service Gen. Tech. Rep., USDA, PSW-GTR-130, p. 11-20, 1991b.
- ALLEMÃO, A.V.; NUNES,V.M.; JANSEN, R.C.; COELHO NETTO, A.L. Distribuição espacial dos sistemas radiculares em ambiente montanhoso florestal. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA, 5, 1995, Goiânia. Anais... Goiânia-UFG, 1995. p. 296-301.
- ANDRADE, A.G. Ciclagem de nutrientes e arquitetura radicular de leguminosas arbóreas de interesse para revegetação de solos degradados e estabilização de encostas. Seropédica:UFRRJ, 1997. 168 p. Tese de Doutorado.
- ANDRADE, A.G., FARIA, S.M. de. Arquitetura e biomassa de raízes de *Mimosa caesalpiniifolia*, *Acacia mangium*, e *Acacia holosericea* com seis anos de idade em planossolo. In: SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3. Anais . . . Ouro Preto, 1997. p. 144-149.
- BALISTIERI, P.R.M.N., AUMOND, J.J . 1997. Recuperação ambiental em minas de argila, Doutor Pedrinho - SC. In: SIMPGÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3. Anais . . . Ouro Preto, 1997. p. 42-51.
- BARROSO, L.V.; BARBOSA, A.L.; MOÇO, C.; MATTOS, R; ANDRADE, D.C. Recomposição florestal de encostas com instabilidade geotécnica na Praia das Flexas, em Niterói, Rio de Janeiro. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. Foz do Iguaçu, 1994 . Anais... Curitiba: FUPEF, 1994a. p.634.
- BARROSO, L.V.; CORREA, K.S.S.; BARBOSA, A.L.; SILVA, J.C.L.; SOUZA, C.J.M. Uso de leguminosas arbóreas inoculadas para revegetação de talude de corte de estrada e saibreiras no município de Niterói. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. Foz do Iguaçu, 1994. Anais... Curitiba: FUPEF, 1994b. p.631.
- BARTH., R.C. Avaliação da recuperação de áreas mineradas no Brasil. SIF-Boletim Técnico n. 1, 1989.
- BERTONI, J., LOMBARD1 NETO, F. Conservação do Solo. Ed. Livroceres, Piracicaba, 1985. 329 p.

- CARNEIRO, J.G.A. Produção e controle de qualidade de mudas florestais. Ed. Folha de Viçosa, Viçosa - MG, 1995. 451 p.
- CARPANEZZI, A.A.; COSTA, L.G.S; KAGEYAMA, P.Y.; CASTRO, C.F.A. Espécies pioneiras para a recuperação de áreas degradadas: observação de laboratórios naturais. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 6. Anais... Campos do Jordão: SBS, 1990. p. 216-21.
- CARVALHO, P.E.R. Espécies florestais brasileiras: recomendações silviculturais, potencialidades e uso da madeira. EMBRAPA-SPI, Brasília, 1994. 640 p.
- COPPIN, N.J.; BRADSHAW, D. Quarry Reclamation: The establishment of vegetation in quarries and open pit non-metal mines. Ed. Mining Journal Books, London, 1982. 107 p.
- CORRÊA, RS., LEITE L.L. Desmatamento e mineração em unidade de conservação. In: CORREA, R.S. & MELO FILHO,B. de. Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado. Ed. Paralelo 15, Brasília, 1998. p.29-48.
- CORREA, R. S.; LEITE, L.L.; BASTOS, E.K. Dinâmica da degradação e da regeneração. In: CORREA, R.S. & MELO FILHO, B. de. Ecologia e recuperação de áreas degradadas no cerrado. Ed. Paralelo 15, Brasília, 1998. p. 49-64.
- COSTA, C.S.; SANTOS, C.J.F.; PEREIRA FILHO, L.P. Efeito de diferentes adubações no desenvolvimento de três espécies florestais em reflorestamento de encosta no município de Rio de Janeiro. : SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3. Anais... Ouro Preto, 1997. p. 423-428.
- COSTA, M.B.B da. Adubação verde no sul do Brasil. Rio de Janeiro: ASPTA, 1992. p. 264-266.
- COUTTS, M.P. Root arqhitecture and tree stability. Plant and Soil, The Hague, v.71, p.171-188, 1983.
- CRUZ, R.; SUAREZ, S.; FERGUSON, J.E. The contribution of *Arachis pintoi* as a ground coverin some farming systems of tropical America. In: KERRIDGE, P.C.; HARDY, B., ed. Biology and agronomy of forage Arachis. CIAT Publication nº 240. Turrialba: CIAT. 209 p. 1994. p. 102-108.
- D'ALTÉRIO, C.F.V., VALCARCEL, R. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas: avaliação das modificações edáficas e fitossociológicas. No prelo.
- DANIELS, W.L. Restoration principals of disturbed lands. I SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, I SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. Foz do Iguaçu, 1994. Anais... Curitiba: FUPEF, 1994. p. 3-18.

DARMER G. Landscape and surface mining: ecological guidelines for reclamation. Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1992. 155 p.

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

DIAS, L.E. O papel das leguminosas arbóreas noduladas e micorrizadas na recuperação de áreas degradadas - Parte II. Apostila do III Curso de Atualização em Recuperação de Áreas Degradadas. Curitiba: UFPR, 1996. p. 17-28.

DÖBEREINER, J. Efeito da inoculação de sementes de sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*) no estabelecimento e desenvolvimento de mudas no campo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.2, p.301-305, 1967.

EINLOFT, R., SOUZA, M.G. de, COSTA, M.M., GRIFITH, J.J. Seleção de gramíneas e leguminosas utilizadas para a revegetação de taludes em sacos de aniagem e plantio em covas. In: SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3. Anais... Ouro Preto, 1997. p.329-338.

ESPINDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; ALMEIDA, D.L.; TEIXEIRA, M.G.; URQUIAGA, S. Avaliação de algumas leguminosas submetidas a fontes e doses de fósforo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro, 1997. Resumos . . . SBCS, 1997. p. 198. CD-ROM.

FARIA, S.M. de; FRANCO, A.A. Espécies leguminosas fixadoras de nitrogênio para revegetação de áreas degradadas. 1994. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. Foz do Iguaçu, 1994. Anais... Curitiba: FUPEF, 1994. p. 653.

FARIA, S.M. de ; SILVA, M.G.; COSTA, L.P.; CAMPOLLO, E.F.; BORDALLO, M.A.; FRANCO, A.A. Cobertura vegetal de pilhas de escória de siderurgia com leguminosas associadas a microorganismos. In: SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3. Anais... Ouro Preto, 1997.

FELDMAN, L.J. Regulation of root development. Annual Review Plant Physiology, v.35, p.223-242, 1984.

FELDMAN, L.J. The habits of roots - What's up down under? Bioscience, v.38, n.9, p.612-618, 1988.

FIDERJ. Indicadores climatológicos do Estado do Rio de Janeiro. Série SIPE, Rio de Janeiro, 1978. 156 p.

FISHER, M.J.; CRUZ, P. Some ecophysiological aspects of *Arachis pintoi*. In : KERRIDGE, P.C.; HARDY, B., ed. Biology and agronomy of forage *Arachis*. CIAT Publication n° 240. Turrialba : CIAT. 209 p. 1994. p. 53-70.

FRANCÊS, H.J.S. & VALCARCEL, R. Medidas físico-biológicas de recuperação de áreas degradadas : almofadas. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 4, Anais... Seropédica: UFRRJ, 1994.

FRANCO, A.A. Recuperação de áreas degradadas. A Lavoura, Rio de Janeiro, n.613. p. 34-35, 1995.

FRANCO, A.A.; CAMPOS NETO, D. ; CUNHA, C.O.; CAMPELLO, E.F.; MONTEIRO, E.S.M.; SANTOS, C.J.F.; FONTES, A.M. & FARIA, S.M. de. Revegetação de Solos Degradados. In: WORKSHOP SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1, 1991, Itaguaí. Anais... UFRRJ, 1991. p. 133-145.

FRANCO, A.A., CAMPELLO, E.F.C., DIAS, L.E., DE FARIA, S.M de. Uso de leguminosas associadas a microorganismos na revegetação de áreas de mineração de bauxita em Porto Trombetas - PA. Itaguaí: EMBRAPA-CNPAB, 1996; 69 p. (EMBRAPA-CNPAB. Documentos, 27).

FRANCO, A.A.; DIAS, L.E.; FARIA, S.M. de ; CAMPELLO, E.F. & SILVA, E. M. Uso de leguminosas florestais noduladas e micorrizadas como agentes de manutenção e recuperação da vida no solo: um modelo tecnológico. In: SIMPÓSIO SOBRE ESTRUTURA, FUNCIONAMENTO E MANEJO DE ECOSSISTEMAS, 1992, Itaguaí. Anais . . . UFRRJ, 1992.

FRANCO, A.A.; FARIA, S.M. de . The contribution of  $N_2$  fixing tree legumes to land recalamation and sustainability in the tropics. Soil Biol. Biochem., Oxford, v. 29, n. 5/6, p. 897-903, 1997.

FREITAS, W.K.; SILVA, M.C.; FARIA, S.M de. Crescimento em altura e diâmetro de *Acacia mangium*, *Acacia holocericea* e *Mimosa caesalpiniifolia* em relação a espaçamentos e tempo. In: Jornada de Iniciação Científica, 4. Resumos ... Seropédica. UFRRJ. 1996.

GOMES, J.M.; COUTO, L.; BORGES, R..C.G; FREITAS, SC. 1990. Influência do tamanho da embalagem plástica na produção de mudas de ipê (*Tabebuia serratifolia*), de copaíba (*Copaifera langsdorffii*) e de angico-vermelho (*Piptadenia peregrina*). Revista Árvore, v.14, n.1. p.26-34. 1990.

GRAY, D H.; LEISER, A.T. Role of vegetation in the stability and protection of slopes. In: Biotechnical Slope Protection and Erosion Control. Krieger Publishing Company, Malabar, Florida, 1982. p.37-64.

- GRIFFITH., J.J.; DIAS, L.E.; JUCKSCH. Novas estratégias ecológicas para revegetação de áreas mineradas no Brasil. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. Foz do Iguaçu, 1994 . Anais ... Curitiba: FUPEF, 1994. p. 31-43.
- GUIDICINI, G.; NIEBLE, C.M. Estabilidade de taludes naturais e de escavação. Ed. Edgard Blucher. São Paulo, 1983. 194 p.
- HASELWANDTER, K.; BOWEN, G.D. Mycorrhizal relations in trees for agroforestry and land rehabilitation. Forest Ecology and Management v.81. p. 1-17, 1996.
- HAWLEY J.G. & DYMOND, J.R. How much do trees reduce landslidings? Journal of Soil and Water Conservation. p. 495-499, Nov/Dec, 1988.
- HERRERA, M.A.; SALAMANCA, C.P.; BAREA, J.M. Inoculation of Woody legumes with selected arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia to recover desertified mediterranean ecosystems. Applied and Environmental Microbiology. vol.59, nº 1, p.129-133. 1993.
- JESUS, R.M. 1994. Revegetação: da teoria à prática - técnicas de implantação. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. Foz do Iguaçu, 1994. Anais... Curitiba: FUPEF, 1994. p 123-134.
- LAW, D.L. Mined-land rehabilitation. Ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1984.
- LOPES, J.A.U. Rodovias e meio ambiente, no Brasil: uma resenha crítica. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1.; SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2. Foz do Iguaçu, 1994. Anais... Curitiba: FUPEF, 1994. p.75-90.
- LORENZI, H. Plantas daninhas do Brasil: terrestres, aquáticas, parasitas, tóxicas e medicinais. Ed. Plantarum, Nova Odessa, 1991. 440 p.
- LORENZI, H. Árvores brasileiras : manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Ed. Plantarum, Nova Odessa, 1992. 352 p.
- MACDIKEN, K.G. Nitrogen Fixing Trees for wastedlands. Ed. FAO. RAPA Publication, Bangkok, 1988. 104 p.

- MONTEIRO, E.M. DA S. Resposta de leguminosas arbóreas à inoculação com rizóbio e fungos micorrízicos vesículo-arbusculares em solo ácido. Itaguaí:UFRRJ, 1990. 221p. Tese de Doutorado.
- NUNES, V.M.; ALLEMÃO, A.V.F.; MIRANDA, J.C.; CASTRO Jr.; COELHO NETTO, A.L. Sistemas radiculares e hidrologia de encostas florestadas: subsídios à análise de estabilidade. In: CONFERÊNCIA BRASILEIRA SOBRE ESTABILIDADE DE ENCOSTAS, 1. Rio de Janeiro, 1992. Anais.. Rio de Janeiro: SBMS, 1992. p. 781-797.
- ONODERA, H. 1992. Effect of degradation of forest land on erosion and infiltration capacity of soil. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE REHABILITATION OF DEGRADED FOREST LANDS IN THE TROPICS, 1992, Tsukuba, Ibaraki, Japão, 1992. p.55-63.
- PAIVA, H.N. de; GOMES, J.M. Viveiros florestais. Imprensa Universitária - UFV; Viçosa, 1993. 56 p.
- PIZARRO, E.A.; RINCON, A. Regional experience with forage Arachis in South America. In : KERRIDGE, P.C.; HARDY, B., ed. Biology and agronomy of forage *Arachis*. CIAT Publication nº 240. Turrialba : CIAT, 209 p. 1994. p. 144-158.
- POWELL, M.H.; WEBER, J.C. Selecting nitrogen fixing trees for acid soils. In: POWELL, M.H, ed. Nitrogen Fixing Trees for Acid Soils. Taiwan : NFTA, 1996. p.9-18.
- PRANDINI, F.L.; GUIDICINI, G.; BOTTURA, J.A.; PONÇANO, W.L; SANTOS, A.R. Atuação da cobertura vegetal na estabilidade de encostas: Uma resenha crítica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORESTAS TROPICAIS, 2, 1976. Mossoró, Anais . . . 1976. p. 47-72
- PRIMAVESI, A. A. A agricultura em regiões tropicais - Manejo ecológico do solo. 3<sup>a</sup> edição. Ed. Nobel, Rio de Janeiro, 1981. 541 p.
- PRINSEN, J.H. *Albizia lebbeck* - a promising fodder tree for semi-arid regions. NFTA 88-03. 1988.
- PRITCHETT, W.L. Properties and management of forest soils. Ed. John Wiley & Sons. New York, 1979. 499 p.
- SANTANA FILHO, S.; CARDOSO, I.M.; SANTOS, R.H.S. Levantamento florístico em horizonte C de taludes de estrada da região de Viçosa - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 25, 1995, Viçosa. Anais...UFV: SBCS, 1995. p.1855-1861.

- SANTANA FILHO, S.; CARDOSO, I.M.; PEREIRA NETO, J.T. Utilização de composto orgânico de lixo urbano na recuperação de áreas degradadas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26. Rio de Janeiro, 1997. Resumos . . . SBCS, 1997. CD-ROM.
- SANTOS, C.J.F.; CUNHA, C.O.; CAMPOS NETO, D.; FONTES, A.M.; FRANCO, A. A. Uso de leguminosas arbóreas no reflorestamento de encosta de risco geotécnico sobre comunidade de baixa renda. In: SIMPÓSIO SUL-AMERICANO, 1; SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2, 1994, Foz do Iguaçu. Anais... Curitiba : FUPEF, 1994. p. 361-369.
- SCHIECHTL, H.M. Manual de Ordenacion de Cuencas Hidrográficas - estabilizacion de laderas con tratamientos del suelo y la vegetacion. Roma:FAO, 1986, 65 p. (GUIA FAO 13/1).
- SILVA, A.L. de O. O uso de sacos de aniagem para revegetação de taludes íngremes na Ferteco Mineração S/A. Viçosa: SIF, 1993. 8 p. (SIF. Informativo SIF, n.01).
- SILVA FILHO, N.L. Recomposição da cobertura vegetal de um trecho degradado na Serra do Mar - Cubatão. Ed. Fundação Cargil, Campinas, 1988. 53 p.
- SIQUEIRA, J.O. & FRANCO, A.A. 1988. Biotecnologia do Solo: Fundamentos e perspectivas. Brasília. MEC-ESAL-FAEPE-ABEAS, 1988. 235 p.
- SNPA. Levantamento e reconhecimento dos solos do Estado do Rio de Janeiro e Distrito Federal. Boletim do Serviço Nacional de Pesquisas Agronômicas, n.11, Distrito Federal, 1958. 350 p.
- SOUZA, F.A. de; SILVA, E.M.R. da. Micorrizas arbusculares na revegetação de áreas degradadas. In: SIQUEIRA, J.O., ed. Avanços em fundamentos e aplicação de micorrizas. Lavras : UFL, 1996. p. 255-290.
- SOUZA, M.G. de; GRIFFITH, J.J.; JUCKSCH, I.; DIAS, L.E.; RUIZ, H.A.; REZENDE, M.L. Revegetação de taludes em cavas de mina de ferro com o uso de geo-têxtil. 1997. In: SIMPÓSIO NACIONAL RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 3. Anais . . . Ouro Preto, 1997. p. 572-577.
- SWANSTON, D.N. Slope stability problems associated with timber harvesting in mountainous regions of the Western United States. Forest Service Gen. Tech. Rep., USDA, PNW-21, p. 7-14. 1975.
- TERWILLIGER, V.J. & WALDRON, L.J. Assessing the contribution of roots to the strength of undisturbed slip prone soils. CATENA - VERLAG, Alemanha, v. 17, p. 151-162, 1990.

- TINUS, R.W.; KRAMER, P.J. Physiology research made forestation with container-grown seedlings succesful. In: DURYEA, M.L.; BROWN, G.N., ed.. Seedling physiology and reforestation success. Ed. Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers. Netherlansds, 1984. p. 143-155.
- TOKY, O. P.; BISHT, R.P. Observations on the rooting patterns of some agroforestry trees in an arid region of north-western India. Agroforestry Systems, Hisar, v. 18, p. 245-263, 1992.
- USDA. Manual of revegetation techniques. Missoula, 1984. 145 p.
- VERÍSSIMO, E.W.; VALCARCEL, R. Recuperação de áreas degradadas por mineração de manganês no Morro do Urucu/MS. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 1. Anais... Curitiba: UFPR/FUPEF, 1992. p. 264-272.
- WIERSEMA, J.H.; KIRKBRIDGE Jr., J.H.; GUNN, C.R. Legume (Fabaceae) nomenclature in the USDA germoplasm system. USDA Bulletin n. 1757, 1990, 572 p.
- WILLIAMS, D.D.; BUGIN, A.; REIS, J.L.B.C. Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração: técnicas de revegetação. Brasília: IBAMA, 1990. 96 p.
- WU, W.; SIDLE, R.C.A. A distributed slope stability model for steep forested basins. Water Resources Research, v. 31, n.8, p. 2097-2110, 1995.