

2 Campo Experimental do Galeão

2.1. Problemas de Erosão em Taludes de Corte

Um grande desafio atualmente no âmbito da geotecnia tem sido a questão da expansão e manutenção da rede de transportes, onde se incluem rodovias, ferrovias e aeroportos. Nestes empreendimentos são necessárias obras de terraplenagem de grande porte (Figura 2-1), com a construção de aterros, cortes, impermeabilização do solo, modificação de linhas de drenagem, além da retirada de grande volume de vegetação, o que faz do cenário propício à erosão dos solos e à degradação das terras.



Figura 2-1 Obras de terraplenagem e aterramento para a construção do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/ Tom Jobim. Observa-se que as obras envolveram grande parte da Ilha do Governador, modificando completamente seu relevo.

Nos aeroportos brasileiros, a implantação de sistemas de drenagem de águas pluviais mal dimensionados e técnicas de revegetação de taludes inadequadas, acarretaram em sérios danos devido à erosão dos solos, conforme documentado por Embrapa (2001a, 2001b, 2001c, 2001d, 2003a, 2003b, 2003c, 2003d, entre outros). De acordo com estes relatórios, e também de acordo com estudos anteriores desenvolvidos pela OACI¹ e INFRAERO² (ver Queiroz *et al.*, 1992), os

¹ OACI – Organização de Aviação Civil Internacional.

problemas apareceram tanto durante as obras de construção dos terminais, quanto durante o funcionamento dos mesmos, sendo documentados casos importantes em Santarém, Yauaretê, Lagoa Santa e Guararapes, embora existam relatos recentes de grandes problemas em Confins, Manaus, Foz do Iguaçu e Rio de Janeiro.

Em Confins/ MG, no Aeroporto Internacional Tancredo Neves, conforme documentado em Embrapa (2003b) observa-se em exemplo de problema de erosão recorrente em taludes sob solo residual maduro revegetado com gramíneas (Latosolo Vermelho-Amarelo/Cambissolo desenvolvido a partir de cobertura detritica) em área de Cerrado Tropical Subcadulcifólio. A cobertura esparsa de gramíneas não foi suficiente nos taludes para controlar a erosão, diferentemente da área com vegetação arbustiva nativa adjacente, provavelmente devido a problemas de fixação, em função da elevada densidade dos solos, que dificulta processos de escarificação/coveamento, e da limitada disponibilidade de nutrientes, que dificulta o pegamento das mudas (Figura 2-2).



Figura 2-2 Talude do Eixo Viário no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (Confins/MG) (Andrade, A.G.; Capeche, C.L. Acervo Fotográfico/Convênio Embrapa/INFRAERO).

Problemas de erosão em aeroportos mais graves são encontrados na Região Amazônica, onde formações sedimentares constituídas por solos arenosos e pouco coesos se tornam extremamente suscetíveis à erosão quando expostas em taludes de corte (Vertamatti, 1992).

No Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (Manaus/AM), observa-se taludes de corte desprovidos de vegetação apresentando erosão em sulcos e ravinas através da exposição do solo residual maduro (Latosolos Amarelo formado a partir da cobertura sedimentar terciária Grupo Barreiras).

Acima do talude nota-se uma vegetação densa tipo contato Floresta-Cerrado, com altura média entre cinco e 10 metros, composta de elementos

² INFRAERO – Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária.

arbóreos esclerófilos, alguns decíduais, contorcidos, cujas copas se tocam. Uma vez retirada a densa cobertura vegetal presente, o ambiente apresenta uma séria limitação em relação à fixação de mudas para revegetação de taludes (Figura 2-3). No mesmo aeroporto, observam-se processos de erosão laminar, sulcos e ravinamentos em um grande talude próximo à pista de taxiamento. Neste caso, a inexistência de banquetas (bermas) ao longo do talude, gerando um grande comprimento de rampa para formação de escoamento superficial, contribuiu para intensificação de processos erosivos (Figura 2-3).



Figura 2-3 Taludes de corte desprovidos de vegetação apresentando erosão em sulcos e ravinamentos em talude do Aeroporto Internacional Eduardo Gomes (Manaus/AM) (Andrade, A.G.; Demonte, R.F.; Acervo Fotográfico/Convênio Embrapa/INFRAERO).

O comprimento de rampa e altura dos escalonamentos possui uma grande influência no processo o estabelecimento e crescimento da vegetação. Neste sentido, nesta tese, conforme visto adiante, optou-se pelo estudo de um talude com altura de escalonamento de 10 m e comprimento de rampa de 15 m, definindo uma situação bastante comum para taludes no Brasil.

Isto ocorre porque estas dimensões, apesar de muito utilizadas, dependendo dos demais parâmetros hidráulicos, podem gerar elevadas taxas de escoamento superficial e erosão, ocasionando no aparecimento de sulcos, ravinamentos e voçorocas nos taludes.

Um outro local onde a erosão em taludes aeroportuários desperta interesse é a área de empréstimo na Cabeceira 14 do Aeroporto de Foz do Iguaçu/ PR (Figura 2-4). Apesar de se situar entre fragmentos florestais que funcionam como banco de sementes e propágulos, mesmo após vários anos da implantação de projeto de revegetação nos taludes, não se qualquer cobertura vegetal nem sucessão natural, a despeito do solo em seu estado natural sustentar pujante formação florestal.



Figura 2-4 Talude no Aeroporto de Foz do Iguaçu na área de empréstimo na cabeceira 14 (Andrade, A.G., Demonte, R.F. Acervo Fotográfico/Convênio Embrapa/INFRAERO).

No Aeroporto Internacional Galeão/ Tom Jobim, no Rio de Janeiro, graves problemas de erosão em taludes foram também documentados em diversos locais (Embrapa 2001a), sendo que no morro do sistema de radares um rompimento da drenagem, somado à falta de recobrimento vegetal no local acarretaram na formação de uma grande voçoroca, conforme descrito adiante.

2.1.1. Convênio EMBRAPA/INFRAERO

Através de Contrato de Prestação de Serviços firmado com a Empresa Brasileira de Infra-Estrutura Aeroportuária - INFRAERO, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Embrapa Solos) vem desenvolvendo, desde o ano 2000, o projeto intitulado “Diagnóstico Ambiental, Elaboração de Projeto e Transferência de Tecnologias para a Conservação do Solo e Recuperação de Áreas Degradadas em Unidades Aeroportuárias”.

No projeto estão previstas atividades de levantamento de dados, elaboração de planos, projetos executivos e relatórios técnicos, de execução de serviços de recuperação de áreas degradadas (RAD), manutenção de áreas em processo de recuperação ambiental, implantação de experimentos e produção de materiais de divulgação institucional, sendo contempladas 19 unidades aeroportuárias nas diferentes regiões (e biomas) brasileiras.

Neste sentido, foram publicados resultados sobre o desempenho geral destes programas de RAD nos aeroportos brasileiros (Andrade *et al*, 2004), além de

diversos estudos de caso específicos inseridos no contrato de prestação de serviços, destacando-se dentre estes os trabalhos desenvolvidos no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/Tom Jobim.

2.1.2. Ações de RAD e Pesquisas no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/ Tom Jobim

No Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/ Tom Jobim (AIRJ) estudos envolvendo o desenvolvimento de tecnologias de recuperação de áreas degradadas, bem como manejo de resíduos orgânicos, vem sendo conduzidos, sob coordenação de Aluísio Granato de Andrade (Embrapa Solos), dentro do contexto dos seguintes projetos de pesquisa:

- PRONEX-Rio intitulado “Geotecnia Aplicada à Avaliação, Prevenção e Remediação de Problemas Ambientais”;
- MCT/CNPq/CT-HIDRO/Aperfeiçoamento de técnicas de diagnóstico e recuperação de áreas degradadas por processos erosivos: contribuição para minimização de produção de sedimentos em bacias hidrográficas.

As principais áreas de intervenção (Figura 2-5) no âmbito destes projetos são a Cava do Itacolomi, Morro do Radar, Galpão de Compostagem, Plataformas e, mais recentemente, a Área Z. As primeiras atividades de pesquisa do projeto foram desenvolvidas na Cava do Itacolomi e no Morro do Radar, onde haviam sido implantadas práticas mecânicas e vegetativas de baixo custo conjugadas a técnicas de disposição e reaproveitamento de resíduos disponíveis para RAD, produção de adubos e mitigação de processos erosivos. A Figura 5 mostra as áreas degradadas no PRAD³ elaborado pela Embrapa Solos (2003a).

³ Projeto de Recuperação de Áreas Degradadas se refere neste caso aos Projetos Executivos de Recuperação de Áreas Degradadas (Embrapa, 2003).



Figura 2-5 Vista geral das principais áreas de intervenção no contexto do Convênio Embrapa/INFRAERO no AIRJ atualmente, sobre foto do final da década de 1970.

Com relação a Cava do Itacolomi especificamente, cujo histórico de uso da área foi detalhado por Bezerra *et al.* (2006), observa-se uma grande descaracterização do relevo pela extração de material terroso para a construção do Segundo Terminal de Passageiros, formando uma área de empréstimo de aproximadamente 3 ha. Após a exploração, a superfície original do terreno foi rebaixada expondo taludes com até 10 metros de altura de escalonamento e expondo o solo residual jovem, alterando a rede de drenagem, propriedades e a biodiversidade local. Para recuperar a área foram plantadas 45 mil mudas de espécies arbóreas.

Outro problema associado ao local refere-se à sua utilização posterior ao término da exploração da Cava como depósito de entulhos, gerando pilhas de resíduos em vários pontos. Para solucionar este problema, as pilhas de entulho foram alocadas nas paredes da cava, sendo posteriormente recobertas com material terroso (SRJ) para posterior revegetação e estabilização, formando taludes com aproximadamente 5 metros de altura e inclinação⁴ 1:1 (Figura 2-6).

⁴ Inclinação: relação (V):(H) entre os catetos vertical (V) e horizontal (H) de um retângulo, cuja hipotenusa coincide com a superfície inclinada (tangente do ângulo que a superfície inclinada forma com o horizonte). Pelos termos convencionais um talude na proporção 1:4 significa 1(V):4(H). A inclinação é expressa também em graus ($\text{tg}\alpha = v/h$) ou em percentual ($1:1 = 1(V):1(H) = 45^\circ = 100\%$).

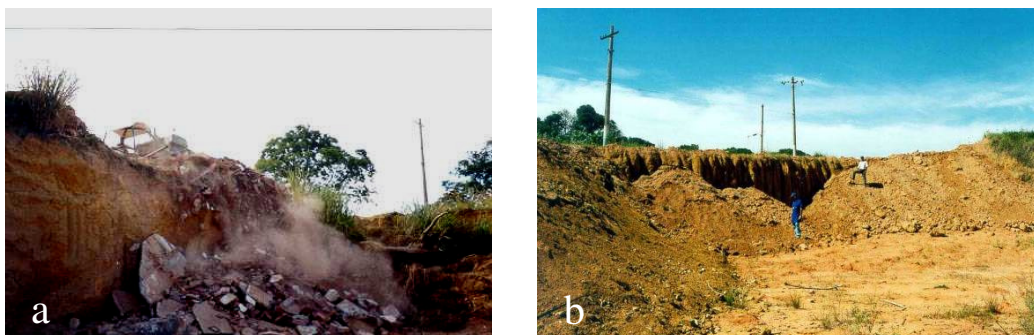


Figura 2-6 Suavização dos taludes da cava mais íngremes mediante realocação dos entulhos (a) e recobrimento com material terroso (b) no ano 2000 (Andrade, A.G. & Capeche, C.L. Acervo Fotográfico/Convênio Embrapa/INFRAERO).

Com o objetivo de verificar a viabilidade da aplicação do Lodo⁵ produzido pela Estação de Tratamento de Esgoto do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (ETAR-APOIO) no processo de revegetação da Cava do Itacolomi, Bezerra *et al.* (2004) testaram em duas espécies vegetais (*Mimosa caesalpineaeifolia* (Sabiá), *Mimosa bimucronata* (Maricá)) cinco diferentes doses. Alterações na fertilidade do solo foram avaliadas através das seguintes variáveis: valor pH, teor de matéria orgânica, capacidade de troca catiônica (CTC) e disponibilidade de macro e micronutrientes (Figura 2-7).

O comportamento das espécies vegetais mediante doses de lodo de esgoto foi avaliado através de medições da altura e do diâmetro das copas das mudas. Os resultados obtidos indicaram que o processo de revegetação empregado na recuperação de áreas degradadas pode tornar-se uma alternativa viável para a disposição final do lodo de esgoto. Observou-se também que a adição do lodo de esgoto ao solo aumentou consideravelmente os teores de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e cálcio, bem como a CTC e em menor extensão os teores de magnésio e potássio, em contrapartida houve pouca alteração no pH do solo.

⁵ Composição química parcial do lodo ETAR-APOIO (Bezerra *et al.*, 2004):

Variável	Concentração	Variável	Concentração
Umidade (g/kg ⁻¹)	135,97	Fe (g/kg ⁻¹)	22,65
pH H ₂ O (1:2,5)	5,29	Al (g/kg ⁻¹)	17,45
C org. (g/kg ⁻¹)	205,75	Mn (mg/kg ⁻¹)	290,00
N TOTAL (g/kg ⁻¹)	31,60	Cu (mg/kg ⁻¹)	453,00
P (g/kg ⁻¹)	0,05	Zn (mg/kg ⁻¹)	1820,00
K (g/kg ⁻¹)	0,84	Ni (mg/kg ⁻¹)	15,00
Mg (g/kg ⁻¹)	3,21	Cr (mg/kg ⁻¹)	76,00
Ca (g/kg ⁻¹)	13,40	Pb (mg/kg ⁻¹)	206,00
Na (g/kg ⁻¹)	0,83	Cd (mg/kg ⁻¹)	5,00



Figura 2-7 Cava do Itacolomi logo após o plantio de blocos experimentais para avaliação dos efeitos do lodo de esgoto na fertilidade do substrato e desempenho da vegetação no ano de 2001 (Capeche, C.L. Acervo Fotográfico/Convênio Embrapa/INFRAERO).

Posteriormente, no mesmo local, com o objetivo de avaliar a fertilidade e o teor de C orgânico da camada superficial dos solos após cinco anos do período anterior, em 2008, Oliveira *et al.* (2008a) e Oliveira *et al.* (2008b) coletaram amostras de solo e mediram o desenvolvimento da vegetação (produção de biomassa e estoques de carbono) e serrapilheira nos mesmos locais, tendo sido observado que o uso do lodo e o plantio das espécies tiveram efeito positivo sobre os atributos do substrato (Figura 2-8).

Os aumentos das doses de lodo favoreceram a estocagem de serrapilheira nas parcelas de sabiá, mas não no maricá. Para ambas as espécies o pH diminuiu com as doses de lodo, sendo mais significativo para o sabiá, sendo que de uma maneira geral o lodo incrementa os teores de fósforo no substrato em recuperação.



Figura 2-8 (a) Desenvolvimento da vegetação nos blocos experimentais com aplicação de diferentes doses de lodo; (b) vegetação no verão de 2004; (c) vegetação no inverno de 2007; (d) abate de leguminosas arbóreas na Cava do Itacolomi para medições de biomassa e estoques de carbono.

No Morro do Radar, um talude de corte foi executado durante a construção do aeroporto (no final década de 70) para exploração de material terroso para aterro da estrada, da via de acesso e de obras civis das instalações do radar. Foi construído um sistema de drenagem de águas pluviais, com escadas dissipadoras, sendo executado também trabalho de revegetação com o uso da técnica de hidrosemeadura. Um rompimento da canaleta de crista do talude devido à intensa erosão em grande parte do topo do talude (solo residual jovem) ocasionou a formação de uma voçoroca de aproximadamente 800 m² (Embrapa, 2001a).

O enfoque utilizado no projeto de RAD do Morro do Radar/Galeão para a estabilização das bermas centrou-se na execução de revegetação e de ordenamento e dissipação das águas pluviais superficiais, dividindo-se as linhas de ação em práticas mecânicas e vegetativas (Figura 2-9) (Andrade *et al*, 2005). Foram testadas técnicas de baixo custo para o ordenamento das águas pluviais superficiais. Para a revegetação foi priorizado o uso de espécies de leguminosas arbóreas pioneiras e herbáceas noduladas e micorrizadas, juntamente com outras

espécies arbóreas de diferentes estágios sucessionais (Franco *et al*, 1994). Foram instalados ainda cordões vegetados com o capim Vetiver (*Vetiveria zizanioides*).

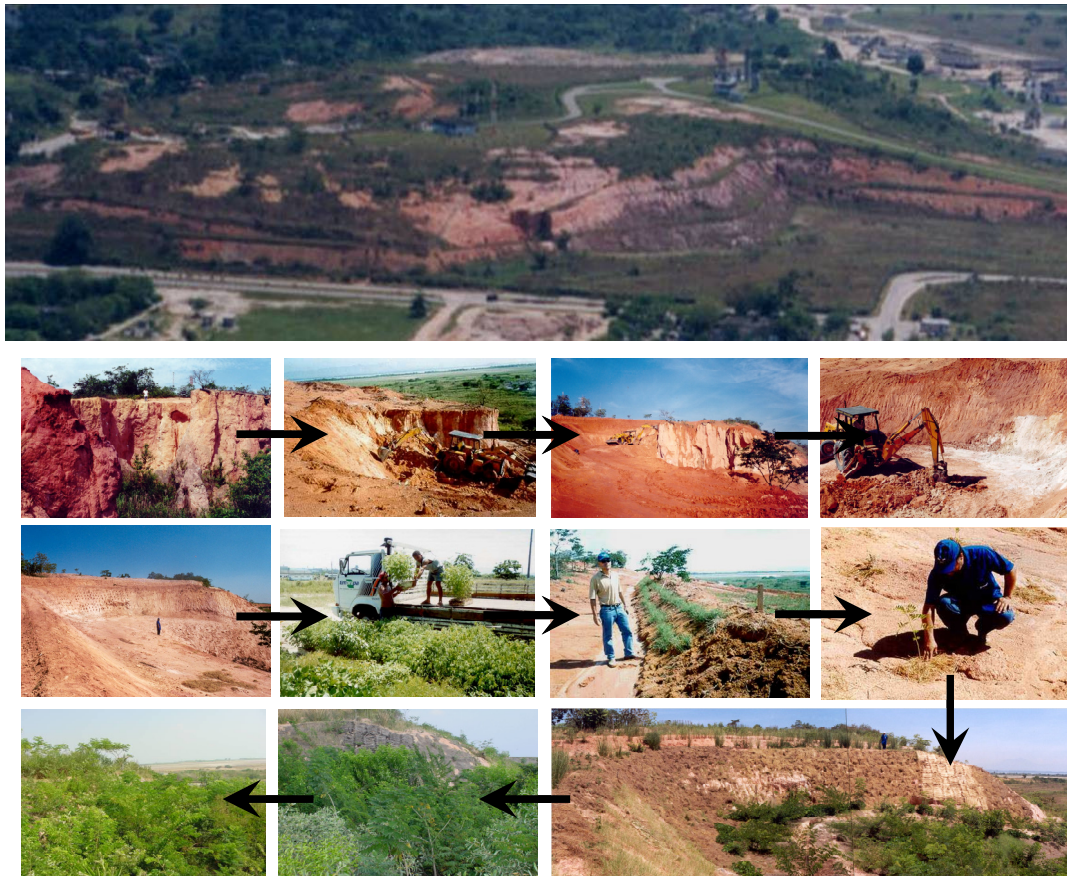


Figura 2-9 Processo de recuperação ambiental e estabilização da voçoroca do Morro do Radar, no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/ Tom Jobim. Acima, sobrevôo na área durante a década de 80, e seqüência abaixo: práticas mecânicas e vegetativas implemetadas.

Visando investigar o comportamento hidrológico desta voçoroca após o término do projeto de RAD, e tentando estabelecer relações entre as condicionantes locais e resultados das práticas de RAD, Portocarrero *et al.* (2003, 2004a, 2004b, 2006) avaliaram alterações na geometria do talude, estruturas de contenção utilizadas, propriedades físico-hídricas do solo, desenvolvimento da vegetação e a dinâmica hidrológica através da utilização de tensiômetros para medidas de sucção matricial e pluviômetros acima e abaixo do dossel da vegetação para medidas de interceptação.

Os resultados indicaram fluxos de exfiltração na base do talude recém conformado, o que, no entanto não impediu a recuperação e o desenvolvimento vegetal expressivo no talude (Figura 2-10). Portocarrero *et al* (2002), e posteriormente Mesquita (2006) efetuaram medições de desenvolvimento da

vegetação nos taludes de corte e aterro, constatando um excelente desempenho das práticas de RAD, com indivíduos chegando a 7 m.



Figura 2-10 Talude de Corte do Morro do Radar antes (a), no ano 2000 (fotode Andrade, A.G.), e após (b) os trabalhos de RAD, no ano de 2004.

Ainda em relação às plataformas, devido à existência de extensas áreas (em torno de 70 ha) apresentando erosões laminares e desprovidas de cobertura vegetal, foi desenvolvida uma atividade de pesquisa visando o diagnóstico de degradação das plataformas de pouso dos aviões, sendo avaliados tipos de preparo de solo associados cobertura vegetais específicas que terão como características básicas o rápido crescimento, boa cobertura do solo e adaptabilidade à compactação dos solos e ao estresse hídrico. O resultado desta pesquisa podem ainda dar suporte para a recomendação de espécies para a revegetação das referidas áreas degradadas.

Também no Morro do Radar, em seu reverso, nos anos de 2005 e 2006, foram implantadas parcelas de controle de erosão em uma área de encosta degradada, utilizada como área de empréstimo durante as obras de construção do aeroporto, com o intuito de estudar a viabilidade deste tipo de monitoramento para as condições de solo/vegetação avaliadas nos contexto do projeto de RAD.

As parcelas foram construídas segundo o padrão básico internacional (USDA - Wishmeier e Smith, 1958) com dimensões de 22 m por 4 m de largura (Figura 2-11).

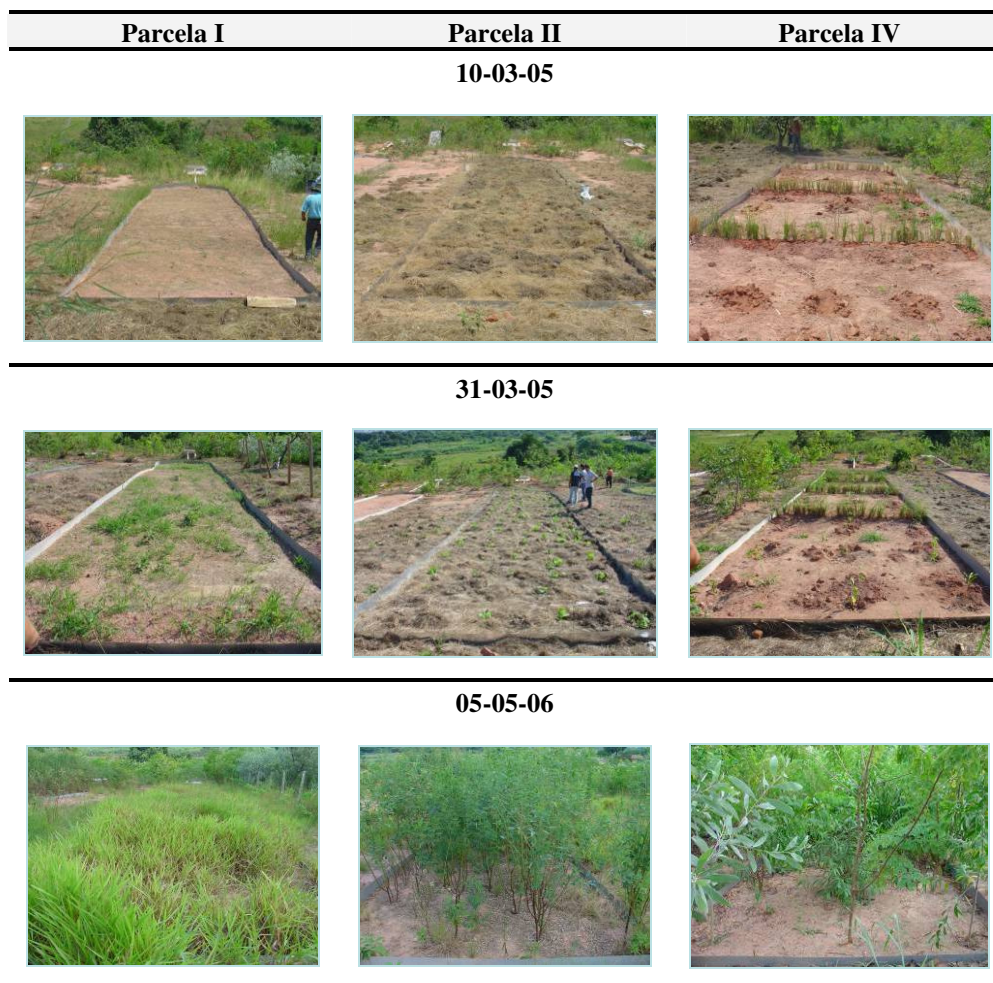


Figura 2-11 Parcelas de Controle de Erosão Implantadas no reverso do Morro do Radar.

Os tratamentos testados foram: Parcela 1 – Testemunha (parcela nua); Parcela 2 – Plantio de leguminosas arbustivas e arbóreas com mudas inoculadas, espaçamento 2x2 m e adubação orgânica e mineral (adubação padrão) no plantio (cova); Parcela 3 – Plantio de leguminosas com mudas inoculadas, com espaçamento 2x2 m, adubação orgânica e mineral (adubação padrão) no plantio (cova) associado a cordões em contorno vegetados com Capim Vetiver espaçados de 8 em 8 m (a cada 4 linhas de plantio); Parcela 4 – Hidrosemeadura (método tradicional de hidrosemeadura de gramíneas); Parcela 5 – Plantio direto – recobrimento com a palhada de grama do próprio aeroporto com sementeira de leguminosas arbustivas e herbáceas (sabiá; mucuna; guandú e feijão de porco).

Apesar de ter sido possível gerar alguns resultados preliminares, nos primeiros meses de monitoramento, o trabalho nestas parcelas teve que ser interrompido por problemas de segurança local, o que motivou a escolha posterior de um local de acesso restrito para o estabelecimento do Campo Experimental do Galeão.

Outra ação envolvida nestes projetos de pesquisa desenvolvidos no Aeroporto Galeão de grande importância no contexto das técnicas de bioengenharia é a compostagem⁶ dos resíduos orgânicos da manutenção da área gramada. Segundo Benites *et al.* (2004), cerca de duas toneladas deste material são obtidas por dia oriundas da manutenção das áreas gramadas da pista de pouso e adjacências, significando um potencial para a produção mensal de cerca de 60 toneladas de composto⁷.

Anteriormente estes resíduos tinham como destino o aterro sanitário ou áreas marginais dentro do próprio aeroporto, e atualmente estes valores representam à auto-suficiência da INFRAERO em relação a adubos orgânicos para fins de recuperação de áreas degradadas, sendo utilizado na produção de mudas (tendo sido montado um viveiro (Figura 2-12) dentro do próprio Galpão de Compostagem (Figura 2-12), na manutenção dos parques e jardins e utilização em programas sociais, como hortas comunitárias e programas de agricultura urbana e periurbana (*op cit*, 2004).

Neste sentido, no próprio Galpão de Compostagem foi montada uma horta gerando alimento para os funcionários (e também para os funcionários do programa de coleta seletiva e reciclagem dos resíduos gerados no aeroporto (Figura 12e)). Ultimamente tem sido também incluído neste projeto o processamento de compostagem de resíduos do Haras do Exército de Deodoro, serragem, excedentes de comercialização e restos de pré-preparo (*food waste*) das Comissarias.

⁶ Técnica que utiliza a atividade de microrganismos para a transformação de resíduos orgânicos, em especial aqueles compostos por material de origem vegetal, em adubos. A aparca de grama é um resíduo com características apropriadas para a compostagem, em função do seu alto conteúdo de matéria orgânica, e dos baixos teores de metais pesados e outros contaminantes (Benites *et al.*, 2004).

⁷ Detalhes dos atributos químicos e teores de elementos totais são descritos em detalhe no Subitem 2.5.



Figura 2-12 Galpão de Compostagem: a – parte do viveiro coberta com sombrite com mudas de pinhão manso em estágio inicial; b – mudas de Capim de Vetiver e arbóreas; b1 e b2 – *Abizia Guachapelle* e *Acacia auriculiformis* em rustificação na parte descoberta do viveiro; d1 e d2 – *Acacia mangium* e *Albizia lebbek*; e – horta comunitária; peneira rotativa; f – pilhas em processo de compostagem; g – triturador.

2.1.3. Ações de RAD e Pesquisa no Talude da Área Z

Em novembro de 2006, dentro do contexto específico do desenvolvimento desta tese, com o objetivo de estabelecer um campo experimental para avaliação do efeito de técnicas de bioengenharia no controle da erosão em taludes de corte,

foi selecionada uma vertente explorada como área de empréstimo para construção do Aeroporto Galeão durante a década de 1970. Atualmente o local constitui uma área degradada cuja recuperação vem sendo conduzida desde maio de 2007 sob supervisão técnica da Embrapa Solos.

Paralelamente à execução do talude de corte, para instalação de parcelas de erosão e implantação de diferentes técnicas de bioengenharia e de monitoramento automatizado das parcelas de erosão, foram desenvolvidas no entorno do talude ações de ordenamento dos fluxos superficiais e recuperação de áreas degradadas, totalizando em uma área de atuação de 2.8 ha.

O impacto deste conjunto de ações de ordenamento e proteção no entorno sobre o talude de corte, e principalmente os resultados de monitoramento deste último, constituem objetos de análise nesta tese. Nos subcapítulos adiante são discutidos aspectos gerais da área de estudos (a Área Z onde se insere o Talude), um diagnóstico do estado de degradação, elaboração de estratégias de recuperação das áreas degradadas no local específico de execução do talude e seu entorno, sendo também descritos aspectos da conformação do talude, implantação das parcelas de erosão, técnicas de bioengenharia e parâmetros para modelagem de processos erosivos. Mais adiante, no desenvolvimento da tese, são discutidos aspectos da caracterização dos solos (Capítulo III), Técnicas de Monitoramento das Parcelas de Erosão (Capítulo IV), e Resultados de Monitoramento (Capítulo V).

2.2. Aspectos Gerais da Área de Estudo

2.2.1. Localização

O Campo Experimental do Galeão situa-se dentro da área patrimonial do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/ Antônio Carlos Jobim, atualmente denominado também Aeroporto Internacional Tom Jobim, localizado na Ilha do Governador/ Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, situada dentro da Baía de Guanabara.

Para a conformação do talude de corte foi selecionada uma vertente voltada para as pistas de pouso e decolagem (NNW-SSE), no morro ao lado direito do Galpão da *TAP* (anteriormente pertencente à *VARIG* e *VEM*), onde se constatava a presença de ravinas e uma voçoroca (Figura 2-13). A classificação da Área Z como zona de acesso restrito representa uma vantagem para a implantação do campo experimental, favorecendo a segurança de equipamentos.



Figura 2-13 Vertente onde foi executado o talude anteriormente às obras, localizada no morro do lado direito do Galpão da TAP.

O local específico para execução do talude de corte, denominado Área Z, abrange uma área de 304.500 m² e situa-se nas coordenadas 22°47'53" S, 43°13'16" O, ao lado direito da pista de pouso e decolagem, sentido Cabeceira 10–28, entre a pista e o muro de divisa com a Estrada das Canárias visível do topo da colina (Figura 2-14).

2.2.2. Aspectos Climáticos

Neste subitem são apresentados sinteticamente alguns aspectos do comportamento de fatores de ordem estática e de natureza dinâmica responsáveis pelas características apresentadas pelo clima da área de estudos.

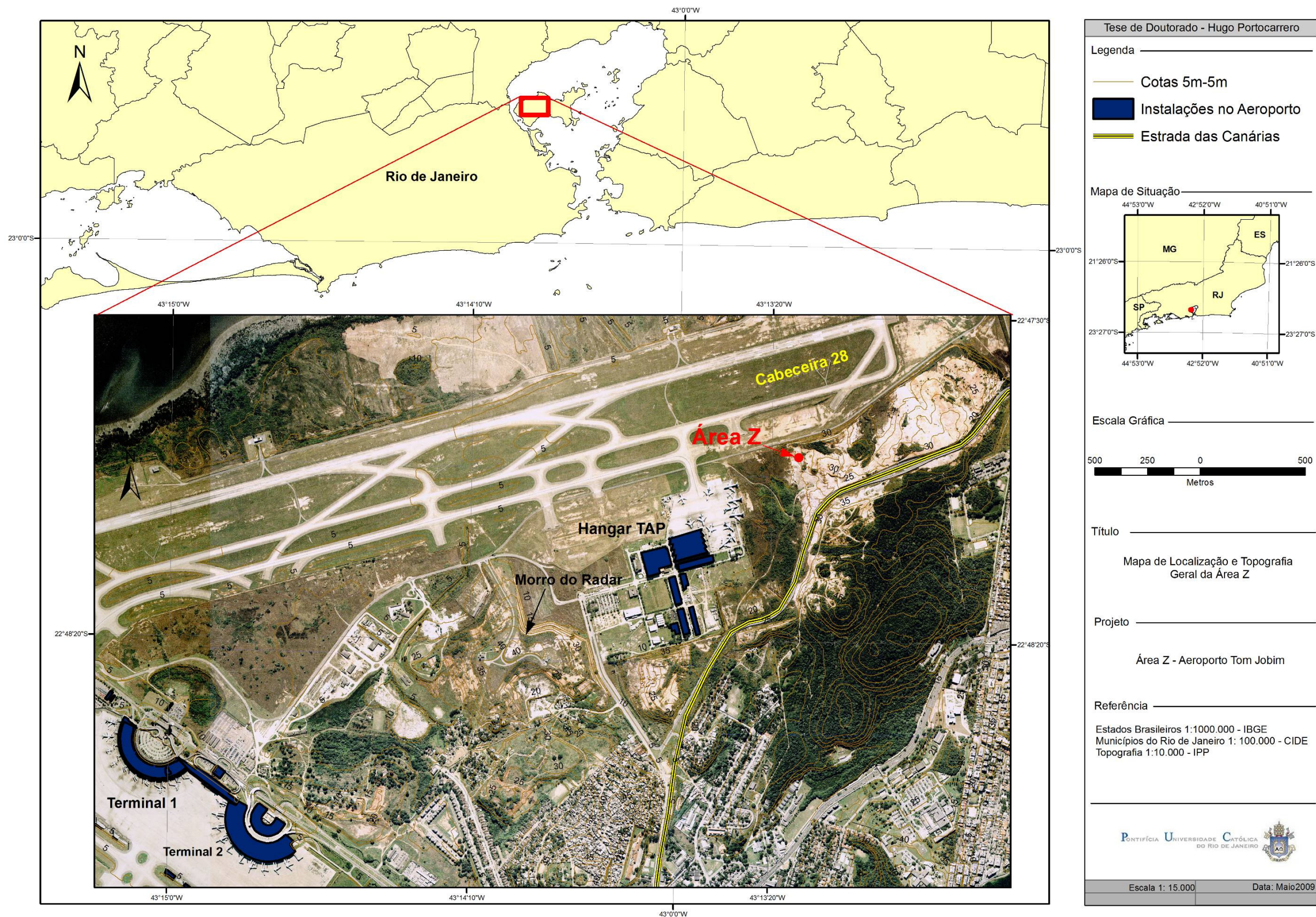


Figura 2-14 Localização da Área Z, próximo ao Galpão da TAP, no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro na Ilha do Governador.

Em relação aos aspectos metodológicos da aquisição de dados micrometeorológicos em campo, discussões de aspectos climáticos, confrontando os dados da Estação Meteorológica da Ilha do Governador (GEORIO) com dados da Estação do Campo Experimental do Galeão, estes se encontram mais adiante nos Capítulos IV e V, respectivamente.

Com relação à informação disponível em termos climatológicos para a região, destacam-se as descrições de Nimer (1971, 1972), Bernardes (1953), Gallego (1971), etc. Segundo este primeiro dentre os aspectos de ordem estática, observa-se na Baía de Guanabara dois que parecem se sobressair: a posição geográfica e a topografia. A posição geográfica da Baía de Guanabara entre as latitudes médias de $23^{\circ}05'$ e $22^{\circ}15'$ S, longitudes de $42^{\circ}30'$ e $43^{\circ}30'$ W, onde a radiação solar recebida é intensa, aproximadamente 0.39 a 0.37 cal/cm³/m (R_{ns})⁸ e 0.3 cal/cm³/m (R_{nl})⁹, de acordo com Nimer (1979). A radiação solar cria melhores condições para a evaporação, sendo mais ativa quanto maior for o calor disponível. Intensa evaporação e condensação, são de qualquer forma, asseguradas pela proximidade da imensa superfície líquida do Oceano Atlântico, e em menor escala pelo espelho d'água da própria Baía (Amador, 1997).

Observa-se, entretanto, nas normais climatológicas¹⁰ da Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, que a evaporação tende a reduzir-se em praticamente toda a Baía de Guanabara, nos seis primeiros meses do ano, até o inverno (Tabela 2-1). Neste período observa-se por outro lado uma elevação da umidade relativa do ar, o que indica que nem sempre este último parâmetro representa uma função de índices de evaporação, o que ocorre devido ao comportamento das correntes de circulação e ventos.

⁸ (R_{ns}) - Radiação Solar de Ondas Curtas (discutido no capítulo IV).

⁹ (R_{nl}) - Radiação Solar de Ondas Longas (discutido no capítulo IV).

¹⁰ Obtidas através do cálculo das médias de parâmetros meteorológicos obedecendo a critérios recomendados pela Organização Meteorológica Mundial. As médias referem-se a períodos de 30 trinta anos. Como no Brasil somente a partir de 1910 a atividade de observação meteorológica passou a ser feita de forma sistemática, o primeiro período possível de ser calculado foi o de 1931 a 1960. O segundo período, que corresponde aos valores apresentados, foi de 1960 a 1990.

Tabela 2-1 Normais Climatológicas do Estado do Rio de Janeiro (INMET).

DADO	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Temp.méd. (°C)	26.2	26.5	26	24.5	23	21.5	21.4	21.8	21.8	22.8	24.3	25.3
Temp.máx (°C)	29.6	30.2	29.4	27.8	26.3	25.2	25.3	25.6	25	26	27.4	28.6
Temp.min (°C)	23.3	23.5	23.4	21.9	20.4	18.7	18.5	18.8	19.2	20.2	21.4	22.3
T. Máx Abs. (°C)	38	37.2	37.3	37.1	36.3	32.5	33.1	35.9	37.2	36.8	38.3	37.2
T. Min Abs. (°C)	18.5	19	18.5	17.2	11	11.5	13.2	13.5	13.7	15.5	16.5	18.5
Precipitação (mm)	110	105	100	140	85	80	55	50	87	90	95	170
P.Máx (mm/24h)	70	128	125	155	127	100	100	45	55	65	55	160
Evaporação (mm)	112	104	105	92	91	84	104	103	97	98	104	107
Umid.rel. (%)	79	79	80	80	80	79	77	77	79	80	79	80
Pressão (hPa)	1011	1012	1012	1015	1016	1019	1020	1018	1017	1014	1012	1011
Insolação (h)	195	207	194	165	171	157	183	178	135	158	168	160

Quanto aos fatores de ordem dinâmica, ligados aos grandes padrões de circulação atmosférica do continente sul-americano e bacias oceânicas periféricas, observa-se que toda a região Sudeste do Brasil encontra-se sob a influência de quatro principais massas de ar: Massa Tropical Atlântica, Depressão do Chaco, Massa Polar Atlântica e Massa Polar Reflexa.

- Massa Tropical Atlântica: forma-se no domínio tropical sobre o Oceano Atlântico, apresentando temperatura e umidade elevadas.
- Depressão do Chaco: é uma baixa térmica normalmente localizada na parte central do continente sul-americano. Sua expansão tende a provocar calmarias ou correntes de noroeste no Estado do Rio de Janeiro, especialmente durante os meses de verão.
- Massa Polar Atlântica: tem sua origem na borda do Anticiclone Polar. Observa-se que a cordilheira andina secciona a massa polar em duas unidades, a Massa Polar Atlântica e a Massa Polar Pacífica, que tem sua atuação mais destacada no sudeste do Brasil durante o inverno.
- Massa Polar Reflexa: é uma massa polar modificada, através do aquecimento de um anticiclone migratório polar que se aquece. Quando há carência de reforço continuado de ar frio da Patagônia, o eixo principal entra em frontólises (dissipação): o seu eixo reflexo, situado entre a massa polar velha e a Massa Tropical Atlântica entra em frontogênese (intensificação da frente). Em decorrência forma-se uma frente secundária que se oscila entre São Paulo e Espírito Santo provocando precipitações no litoral, pois a frontogênese é acelerada

pela presença dos relevos escarpados próximos à costa. Sua ação é pouco duradoura, dissipando-se em resposta ao avanço da Massa Tropical Atlântica.

A área de estudos está inserida, no contexto da Baía de Guanabara, na região da baixada, que se encontra sob domínio quase permanente da Massa Tropical Atlântica, particularmente exposta à influência do mar. Com temperaturas superiores a 22°C e umidade relativa do ar superior a 78% na maior parte do ano, a área apresenta um pluviosidade média anual de 1200 mm, concentradas nos meses de verão.

Localmente, os valores registrados podem ser considerados um pouco inferiores (média de 1092 mm anuais) nos dez anos anteriores ao período de monitoramento, de acordo com os registros da Estação Meteorológica da Ilha do Governador (da GEORIO, localizada a 2350 m de distância da área de estudos, nas coordenadas 22°49'03"S, 43°12'36" O – na Figura 2-15 o gráfico e na Figura 2-16 Localização da Área Z em relação à Estação Meteorológica da GEORIO na Ilha do Governador, destacando-se a distância entre os dois pontos de 2.230 metros.).

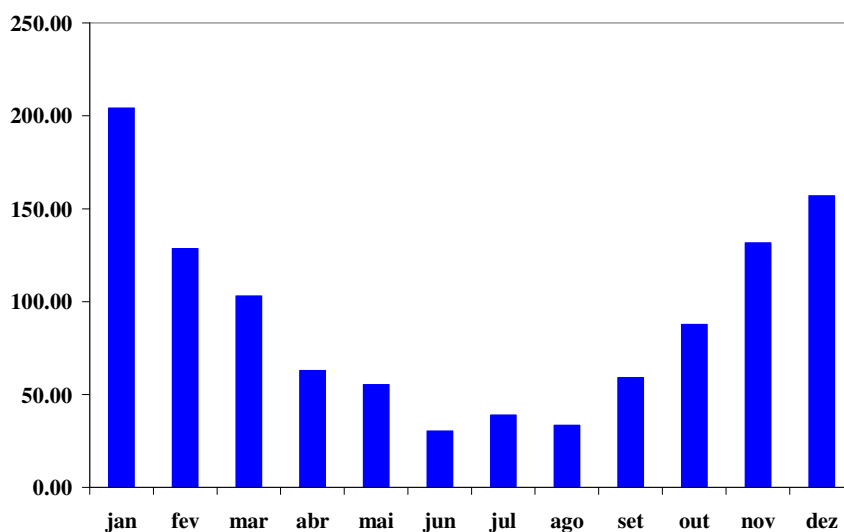


Figura 2-15 Valores de precipitação média mensal (mm) na estação meteorológica da Ilha do Governador (GEORIO) durante o período de 1997 a 2008.

Destaca-se que este caráter da distribuição das precipitações (concentradas no verão e com precipitações podendo chegar a 200 mm/24hs) é um dos fatores responsáveis pelas inundações, instabilidade de taludes e grandes eventos erosivos.

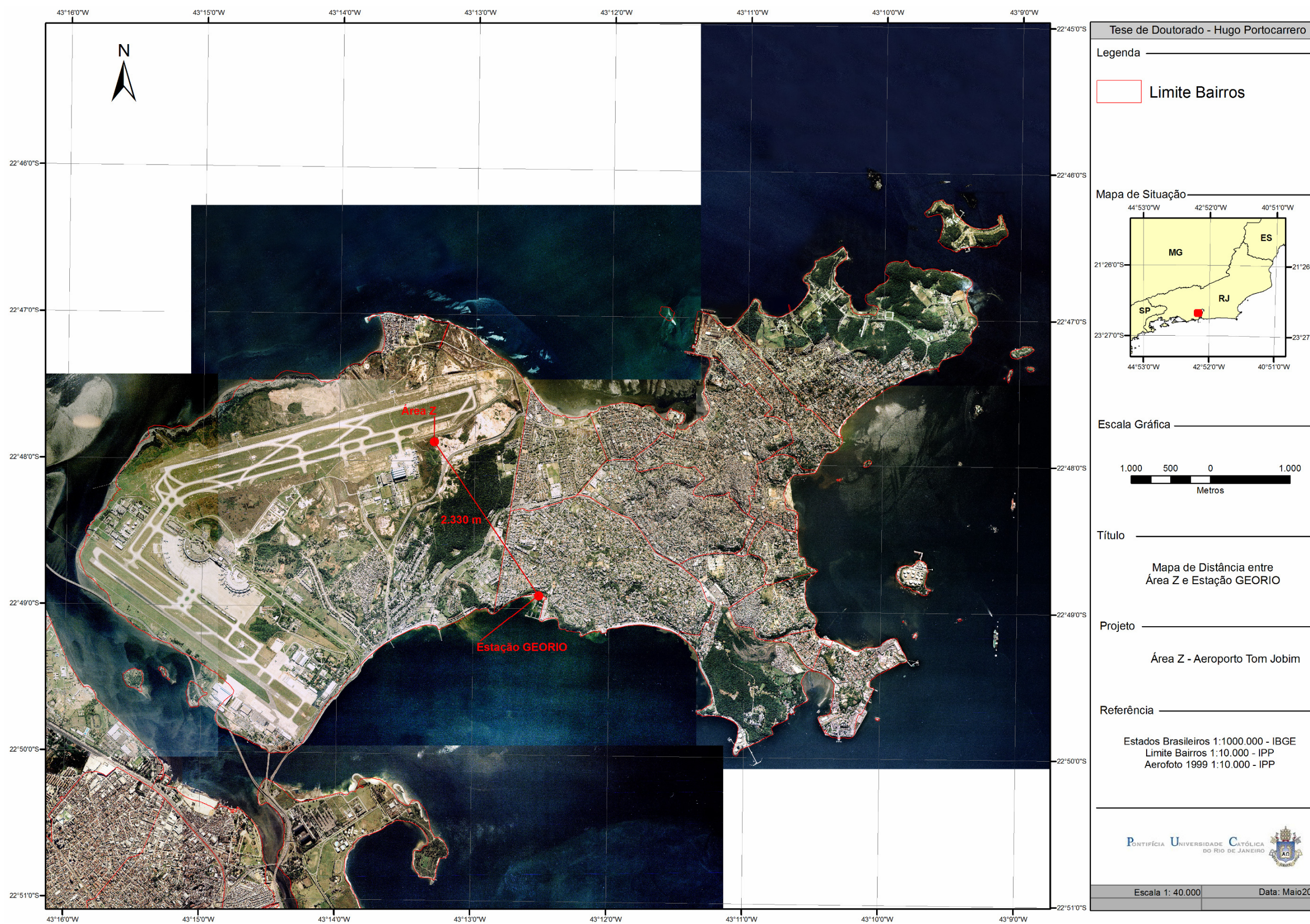


Figura 2-16 Localização da Área Z em relação à Estação Meteorológica da GEORIO na Ilha do Governador, destacando-se a distância entre os dois pontos de 2.230 metros.

2.2.2.1. Classificação Climática da Área de Estudo

O comportamento das normais levou a que se enquadrasse a referida área dentro do tipo climático Aw de Köppen (savana), que teoricamente não possui estação seca notória: há chuvas de primavera-verão causadas por fenômenos de convecção local e pela Frente Intertropical sucedem-se precipitações relativamente elevadas nos meses de outono e mais fracas no inverno (ver normais climatológicas). As chuvas de outono devem-se às penetrações da Massa Polar Atlântica, quando, no fim do verão, a Massa Tropical Atlântica Recua para o Norte. No inverno, apesar do domínio da Massa Polar Atlântica fresca e estável, as investidas polares provocam ainda alguma precipitação, impedindo a existência de uma estação seca rigorosa.

De acordo com Nimer, entretanto, o local é classificado como de clima Tropical Quente do Tipo Sub-úmido, definindo 1 a 2 meses secos no inverno. Tal classificação climática ocorreria na região da Bacia da Guanabara, num amplo corredor, que corresponde à baixada, com cotas altimétricas abaixo de 100 m, passando pela Penha, Bangu, Ilha do Governador e Paquetá (Amador, 1997).

2.2.3. Geologia

O substrato geológico local se insere na Formação Macacu, correspondente aos depósitos sedimentares Terciários do Grupo Barreiras na região da Baía de Guanabara. Sua ocorrência na região é bastante significativa, com uma abrangência que inclui os municípios de Itaboraí, Cachoeiras de Macacu, Duque de Caxias, São Gonçalo e Rio de Janeiro. Existem diversos pontos documentados com exposições desta formação (conhecidas como barreiros), dentre os mais conhecidos (Ferrari, 2001): Barreiro Santa Isabel e Colonial (Itambi), Barreiro São João Batista (Itaboraí), Barreiro Portuense (Porto de Caixas) e um barreiro pertencente à prefeitura de Duque de Caxias no Distrito de Saracuruna.

Os depósitos sedimentares continentais cenozóicos são conhecidos em áreas adjacentes à Baía de Guanabara desde o século 19, quando foram correlacionados ao Grupo Barreiras (Hartt 1870). Tal correlação persistiu até o final da década de 70 e início da de 80, com os primeiros trabalhos sistemáticos de Meis & Amador (1972, 1974, 1977) e Dalcolmo *et al.* (1982).

Nos trabalhos de Meis & Amador (1972, 1977) os depósitos continentais cenozóicos que ocorrem no recôncavo da Baía de Guanabara foram divididos em Camadas Pré-Macacu, tidos como do Terciário Médio, e Formação Macacu, considerada plio-pleistocênica e correlata ao Grupo Barreiras. Ambas teriam sido formadas em ambiente de leques aluviais, com melhor preservação dos feldspatos na primeira e maior participação fluvial na última.

A partir de aspectos estruturais e litológicos especificamente da Formação Macacu, estes autores a interpretam como tendo sido formada por processo de deposição fluvial torrencial, provavelmente do tipo anastomosante, em condição climática mais seca que a atual, resultando em materiais com baixa seleção, atribuída à reduzida competência do agente de deposição em termos de selecionamento e a distorções devido à alteração pós-deposicional.

Segundo Araújo (2000), na Ilha do Governador, Itaboraí, Porto das Caixas e em Magé, os afloramentos apresentam como destaque depósitos relacionados a processo fluvial, em ambiente de “bajada” (acúmulo de sedimentos originados do aplainamento de uma zona de lençol de detritos formada pela ação dos rios), no qual a energia é média, com as estruturas sedimentares estando bem desenvolvidas. Já em Itambi ocorreria o ambiente de “playa” (depressão, lago ou mesmo pântano que algumas vezes aparecem em “bajada”) no qual se verificam afloramentos da fácies mais fina, de baixa energia e característica de centro de baci.

Em 1997 Amador descreveu sinteticamente a Formação Macacu como “uma sucessão de lentes e camadas pouco espessas de sedimentos arenosos, areno-argilosos, argilo-arenosos e argilo-sílticos, pouco consolidados e afossilíferos”.

De acordo com Ferrari (2001), que estudou detalhadamente a Formação Macacu, estes depósitos se caracterizam pela alternância de lamitos seixosos maciços com arenitos estratificados, localmente conglomeráticos, e lamitos laminados. O autor constatou em suas pesquisas evidências de uma tectônica deformadora visível em quase todos os afloramentos, caracterizada por falhas normais mesoscópicas identificadas a partir de parâmetros estratigráficos.

Quanto à mineralogia dos materiais, estes são “constituídos predominantemente por quartzo, seguidos pelos cristais opacos e semi-alterados de feldspato e, secundariamente, pelas palhetas de micas muscovitas”. As cores

dos materiais são avermelhadas, amareladas e esbranquiçadas e, quando mais preservadas, possuem cor verde clara a verde escura e cinza.

As estruturas sedimentares são, muitas vezes, parcial a totalmente obliteradas pela alteração intempérica, denunciada pelo aspecto friável e pela incipiente laterização dos sedimentos. As palhetas de muscovita, até centimétricas, e as pintas brancas de pseudomorfos de feldspato caulinzado, tanto nos lamitos maciços como nos arenitos arcoseanos, são bastante comuns.

As cores variegadas (amarelados, arroxeados, avermelhados), com freqüentes mosqueamentos por óxidos de ferro, presentes na área, constituem ainda um aspecto condizente com a descrição de Amador (1997), onde “muito provavelmente as cores oxidantes não sejam primárias, e sim produzidas por alteração pós-deposicional”.

Os minerais pesados apresentam-se em pequenos percentuais e são constituídos quase exclusivamente pelo grupo dos ultra-estáveis, ocorrendo zircão, turmalina e ilmenita. Quando submetidas à difração por raios X e análises térmicas diferenciais, as argilas da Formação Macacu mostraram predomínio de minerais do grupo da caulinita, podendo eventualmente haver minerais do grupo da esmectita.

Descrições pormenorizadas de aspectos mineralógicos destes materiais, baseadas em coletas de amostras e análises em laboratórios dentro do âmbito desta tese, encontram-se no Capítulo IV.

Quanto a resultados experimentais de análises geotécnicas específicas para a Formação Macacu, merece destaque a pesquisa de mestrado desenvolvida na PUC-Rio por Araújo (2001). Nesta pesquisa, com o objetivo de estudar os solos da Formação Macacu, foram realizados ensaios de caracterização convencional, análises mineralógicas, análises químicas, caracterização MCT, determinação de curva característica, ensaios de resistência à tração, ensaios de desagregação e ensaios de penetração de cone (modificado). Estes resultados foram utilizados para análises comparativas dos respectivos parâmetros geotécnicos determinados no Capítulo III, dedicado à caracterização geotécnica dos solos.

2.2.3.1. Interpretação Geológica dos Depósitos da Formação Macacu

Para análise e interpretação de depósitos sedimentares e seus processos geradores em termos geológicos normalmente utiliza-se o conceito de fácies,

entendida como o conjunto de características descritivas de um corpo sedimentar que permitem interpretá-lo como o produto de determinado tipo de processo deposicional¹¹ (Riccomini *et al.*, 2003).

O método baseia-se na comparação de perfis verticais e seções em afloramentos com modelos de fácies, sucessões e associações de fácies. O objetivo central é o mapeamento dos diferentes sistemas deposicionais envolvidos. Atualmente, como ferramenta para interpretação destes depósitos, alguns programas computacionais específicos (como os da *Rockware Inc.*) vêm sendo desenvolvidos e aprimorados para auxiliar nestes procedimentos, desde a simulação de formas deposicionais até o estabelecimento do arranjo tridimensional de fácies em depósitos de diferentes naturezas (Riccomini *et al.*, 2003).

Para a análise de Fácies Sedimentares da Formação Macacu, Ferrari (2001) empregou uma metodologia adaptada do sistema proposto por Miall (1977), baseado em códigos de litofácies, compostos por uma letra inicial maiúscula, que representa a granulação do material, seguida por uma ou duas letras minúsculas, que indicam as estruturas presentes.

Neste estudo foram reconhecidas doze fácies sedimentares na Formação Macacu, geneticamente relacionadas a quatro associações de fácies: lacustre, de lobos de fluxo de detritos/lama e fluxo em lençol; de canal fluvial entrelaçado, com afogamentos episódicos (Tabela 2-2):

¹¹ Fácies - corpo rochoso caracterizado por uma combinação particular de litologia, estruturas físicas e biológicas, as quais lhe conferem um aspecto diferente dos corpos de rocha adjacentes; Associação de fácies - grupo de fácies geneticamente relacionada entre si e que possuem significado ambiental; Sucessão de fácies - mudança vertical progressiva em um ou mais parâmetros, como granulação e estruturas sedimentares; Sistema deposicional - assembléia tridimensional de fácies geneticamente relacionada em termos de processos e ambientes (Riccomini *et al.*, 2003).

Tabela 2-2 Associações de Fácies Sedimentares da Formação Macacu (de Ferrari, 2001).

Associações de Fácies	Litofácies	Litologias
Associação D <i>Fluvial</i> <i>Entrelaçado</i>	<i>Ap, Cmp</i>	Arenitos grossos com níveis conglomeráticos e conglomerados quartzosos com clastos de até 30 cm de eixo maior.
Associação C <i>Fluvial</i> <i>Entrelaçado</i> <i>Com</i> <i>afogamentos</i> <i>episódicos</i>	<i>Llm, LAc,</i> <i>LAm,</i> <i>Amp, ACpb,</i> <i>Aca</i>	Arenitos feldspáticos de granulometria grossa, localmente conglomeráticos, com estratificação cruzada acanalada, laminação cruzada e plano-paralela. Intraclastos e megaintraclastos de lamito; lamitos laminados a maciços, localmente bioturbados e com presença de <i>Taenidium</i> ; lamitos maciços com grãos de areia, com intensa bioturbação e níveis arenosos maciços e pouco espessos intercalados. Camadas com laterização e concreções de gibsita.
Associação B <i>Leques</i> <i>Aluviais</i>	<i>LSm, Llm, Ap,</i> <i>Cm, Cmp</i>	Lamitos seixosos maciços com feldspato e muscovita; paraconglomerados polimíticos, com matações de até 70 cm de eixo maior; arenitos grossos com níveis conglomeráticos, com litoclastos e estratificação plano-paralela; lamitos argilosos maciços a laminados.
Associação A <i>Lacustre</i>	<i>LII, Llm, Am</i>	Lamitos laminados, com níveis de linhito decimétricos e de arenito argiloso maciço.
<p>Litofácies: <i>LII</i> Linhito com fragmentos de vegetais; <i>Llm</i> Lamito puro com raros níveis ricos em matéria orgânica, localmente com grãos de areia; <i>Lac</i> Lamito e arenito fino intercalados; <i>LSm</i> Lamito e arenito lamoso, com grãos, grânulos e seixos de quartzo e feldspato; <i>LAm</i> Lamito com até 20 % de grãos de quartzo; <i>ACpb</i> Arenito feldspático/caulínico, de granulação média a grossa, localmente conglomerático; <i>Am</i> Arenito feldspático/caulínico, com matriz lamosa escassa a abundante; <i>Amp</i> Arenito fino com grãos de feldspato caulinizado; <i>Ap</i> Arenito grosso com grânulos, seixos e calhaus esporádicos de quartzo, por vezes constituindo níveis conglomeráticos. Localmente pode ser feldspático; <i>Aca</i> Arenito feldspático/caulínico, conglomerático na base, com seixos e clastos de lamito e de quartzo. Localmente possui clastos e megaclastos angulosos de lamito, na base, constituindo brecha; <i>Cm</i> Paraconglomerado pobremente selecionado, com seixos e blocos de quartzo, rochas alcalinas, gnaisse e calcedônia; <i>Cmp</i> Ortoconglomerado quartzoso a, mais raramente, polimítico.</p>		

Nos afloramentos de depósitos da Formação Macacu na Ilha do Governador, tem sido observada a exposição da Associação de Fácies C, que possui uma ampla distribuição na Bacia do Macacu, abrangendo Duque de Caxias, Ilha do Governador e alguns pontos isolados em Magé, relacionada a processos de deposição do tipo canal fluvial entrelaçado com afogamentos episódicos.

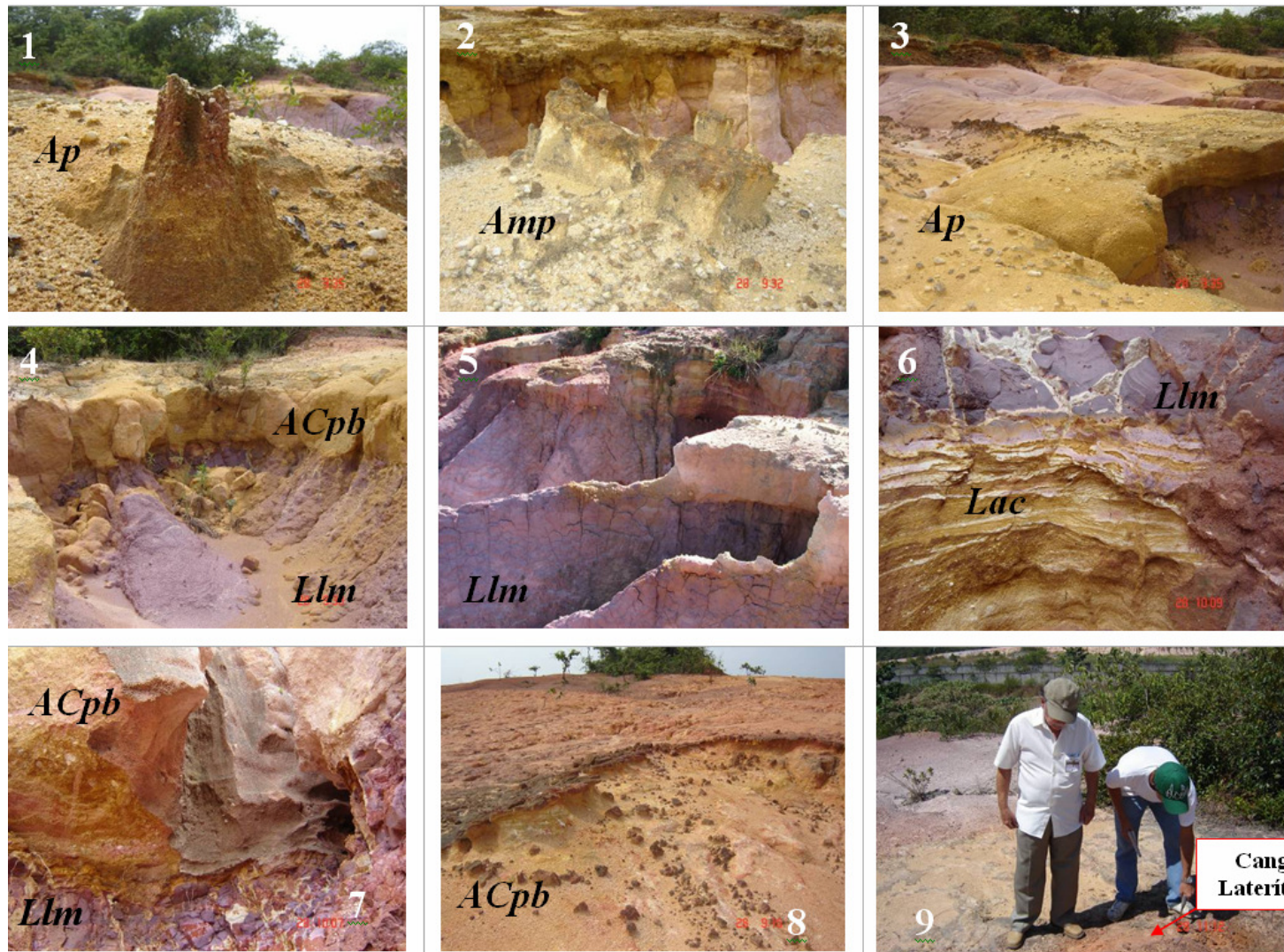


Figura 2-17 Depósitos da Formação Macacu na Área Z. 1 (identificação das litofácies reconhecidas por Ferrari 2000 em preto): (1) *Ap*; (2) *Amp*; (3) *Ap*; (4) *Llm*, *ACpb*; (5) *Llm*; (6) *Lac* sobrejacente à *Llm*; (7) *ACpb* sobrejacente à *Llm*; (8) *ACpb* evidenciando a presença de canga laterítica ou crosta gipsítica (9).

A Associação de Fácies C inclui predominantemente os arenitos grossos, com níveis conglomeráticos, das Fácies *ACpb* e *ACa*, e os conglomerados da fácies *Cmp*. Os materiais organizam-se em ciclos granodecrescentes, com as fácies *Ap*, *Amp*, *Llm* e *LAc*. Os arenitos com estratificação cruzada acanalada das fácies *ACa* e *ACpb*, representam a migração de dunas subaquosas em canais (Walker & Cant 1984).

Os arenitos finos e lamitos laminados a maciços das Fácies *Amp* e *Llm*, e os arenitos grossos com níveis conglomeráticos das fácies *ACpb*, *ACa*, formam ciclos que apesar de indicarem uma tendência geral regional granodecrescente ascendente, não mostram transição granulométrica, nem adelgaçamento ascendente das camadas mais grossas para as mais finas. Pelo contrário, as fácies de sedimentos mais grossos são bruscamente sobrepostos pelas fácies mais finas, em contato brusco, porém não erosivo.

Uma descrição pormenorizada das Fácies Sedimentares encontradas após a conformação do Talude, efetuada a partir de um modelo tridimensional elaborado levando-se em conta a distribuição dos depósitos ao longo da face do talude e nas faces dos taludes adjacentes, é apresentada no Capítulo III, junto à caracterização geotécnica dos materiais.

2.2.4. Cobertura Pedológica

Segundo descrições efetuadas pela equipe de pedólogos da Embrapa Solos, durante a etapa de diagnóstico do estado de conservação das terras do Aeroporto Galeão (Embrapa 2001), a cobertura pedológica original, formada a partir dos sedimentos da Formação Macacu, é formada por Latossolo Amarelo Distrófico, essencialmente caulínico.

São solos de baixa fertilidade natural, bem drenados, permeáveis e muito profundos, com horizonte C (Solo Residual Jovem) ocorrendo em torno de 4 a 5 metros de profundidade e não se observando rocha dura até a profundidade de 10 metros. Apresentam grande homogeneidade vertical, com transições graduais e difusas entre os subhorizontes. Possuem textura argilosa ou muito argilosa, sendo a fração argila de muito baixa atividade, o que lhes confere um comportamento comparável a solos de textura mais leve. No município do Rio de Janeiro, estes solos ocorrem na Ilha do Governador e Pavuna e encontram-se situados em

posição fisiográfica de colinas baixas, sob relevo suave ondulado e ondulado, em altitudes não superiores a 60 metros. Em anexo, é apresentado um perfil de solo (GB27) similar aos que ocorrem na área, (Embrapa, 1980).

Atualmente a “Área Z”, que é uma antiga área de empréstimo de onde foi retirado grande volume de solo durante os trabalhos de terraplanagem do aeroporto, quase não apresenta sinais do solo maduro, sendo possível observar somente um testemunho (SRM, ou uma seqüência com horizonte BA e Bw1) mantido no topo do morro, demarcando claramente o nível do relevo original (Figura 2-18).

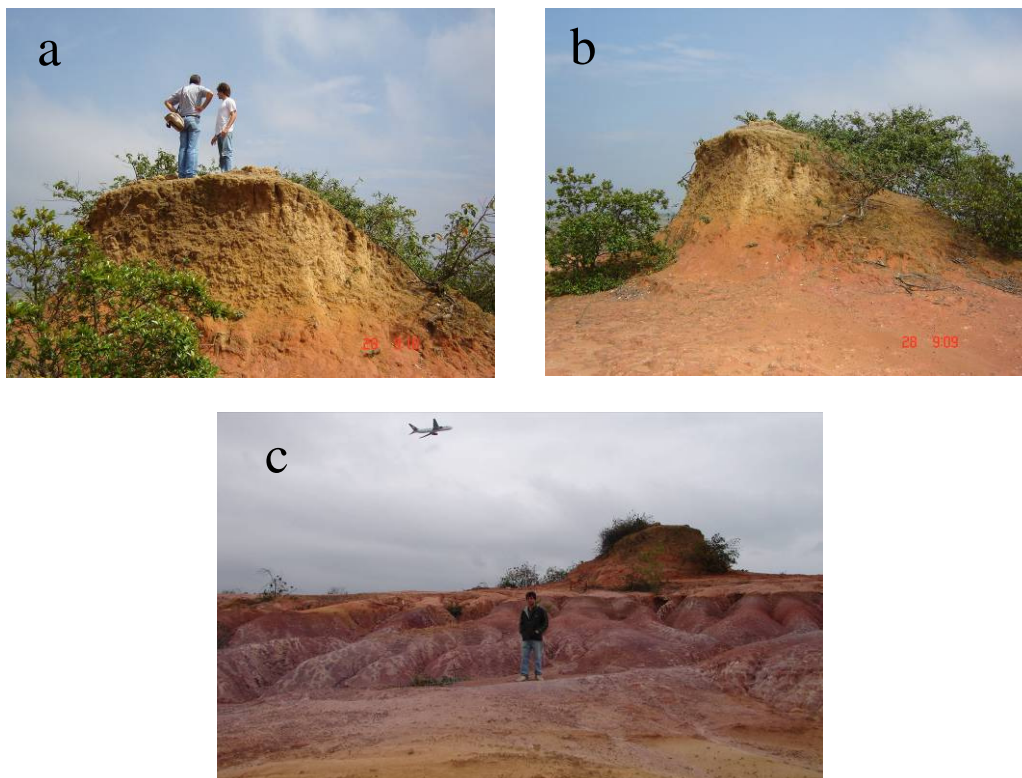


Figura 2-18 A,B - Cobertura pedológica da Área Z, podendo ser observado no remanescente do relevo original da encosta o solo residual maduro (horizonte Bw). Abaixo (C) se observa o solo residual jovem (horizonte C ou Formação a Macacu), exposto com a erosão, presente na forma de ravinas.

Descrições mais detalhadas sobre a morfologia dos horizontes encontrados no perfil formado após a abertura do talude, bem assim como as propriedades geotécnicas, químicas, mineralógicas, hidráulicas e características de erodibilidade destes materiais, serão apresentadas no Capítulo III, especificamente dedicado a este assunto.

2.2.5. Geomorfologia Regional e Vegetação Original

A superfície aplainada e parcialmente dissecada que constitui esta parte do relevo regional está contida no domínio morfo-tectônico do Vale de Afundamento Campo Grande – Guanabara – Rio Bonito (Freitas 1951), ou *Rift* da Guanabara (Almeida 1976, Ferrari 1990). Esse último foi definido por Almeida (1976), como se estendendo de Sepetiba, a oeste até Barra de São João e a leste, por mais de 200 km, formando um relevo aplainado ou levemente dissecado, em que se destacam os *inselbergs* constituídos por rochas alcalinas, contrastando com os Maciços Costeiros (Tijuca, Pedra Branca e Tinguá) e a escarpa da Serra dos Órgãos (localizada cerca de 10 km ao norte se elevando a partir dos mares de morros até pouco mais de 2000 m) (Figura 2-19).

Associados aos depósitos continentais neo-cenozóicos da Formação Macacu, que são o substrato geológico local, ocorrem níveis de pedimentos que se apresentam como tabuleiros terciários (Comissão de Solos, 1958) de topo plano e encosta suave, fruto da pedogênese dos depósitos da formação Macacu superpostos pelos sedimentos correlacionados à elaboração das rampas (Meis, 1976).

A geomorfologia local deste modo é composta por morros com formas amplas e irregulares, com topo chato e encostas suavemente convexas, que raramente ultrapassam a cota de 30 metros.

Na Área Z o relevo é fortemente aplainado, ainda não dissecado e sem morrotes em meia laranja, sugerindo superfícies de aplainamento que sofreram exumação recente e indicando uma possível atividade neotectônica. Tal característica pode ser percebida tanto na Ilha do Governador quanto junto ao limite norte da Baía da Guanabara no distrito de Mauá (Ferrari, 2001).

Anteriormente às obras do aeroporto, a Área Z constituía parte do relevo colinoso típico da região central da ilha (Strauch, 1955), caracterizado por níveis de altitudes moderadas (cota máxima de 50 m) que se apresentam de maneira geral com encostas suaves. A colina original, onde hoje se situa a Área Z, possuía encostas com inclinações bastante suaves sobre um Solo Residual profundo.

A vegetação original que recobria a área era de Mata Atlântica (Amador, 1997). Em função dos fragmentos florestais remanescentes, a fitofisionomia da cobertura vegetal primitiva é do tipo floresta tropical subcaducifólia (Floresta A).

A vegetação se espalhava por toda a região das colinas, sendo bordada por mangues, que posteriormente dificultaram a ocupação deste trecho da ilha.

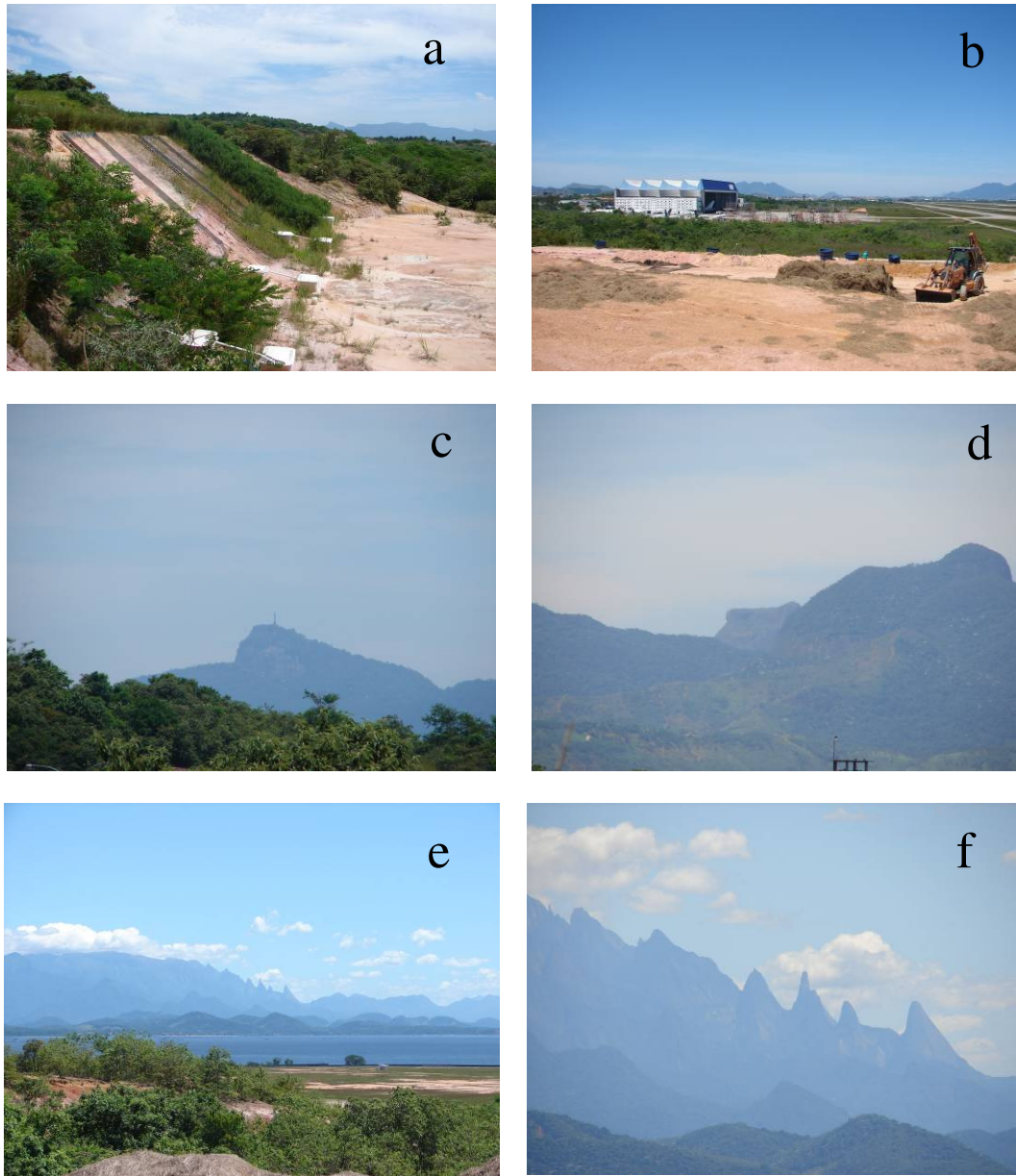


Figura 2-19 Aspectos geomorfológicos. a,b - Visão do talude no sentido S e SE, observando-se ao longe o Maciço da Tijuca. c – Detalhe do Cristo Redentor (visto do Talude). d – Detalhe da Pedra da Gávea (vista do Talude). e – vista da Serra dos Órgãos do topo do morro da Área Z. f – detalhe do Dedo de Deus visto do testemunho no topo do Morro.

Para implantação de sistemas de transmissão de dados por telemetria no Campo Experimental do Galeão, para o estabelecimento de um contato direto entre o talude e o Laboratório de Geotecnia e Meio Ambiente da PUC-Rio (localizado na Gávea), existe uma distância de 20 km (19.67) em linha reta, sendo necessário transpor o Maciço da Tijuca, conforme se observa na Figura 2-20.

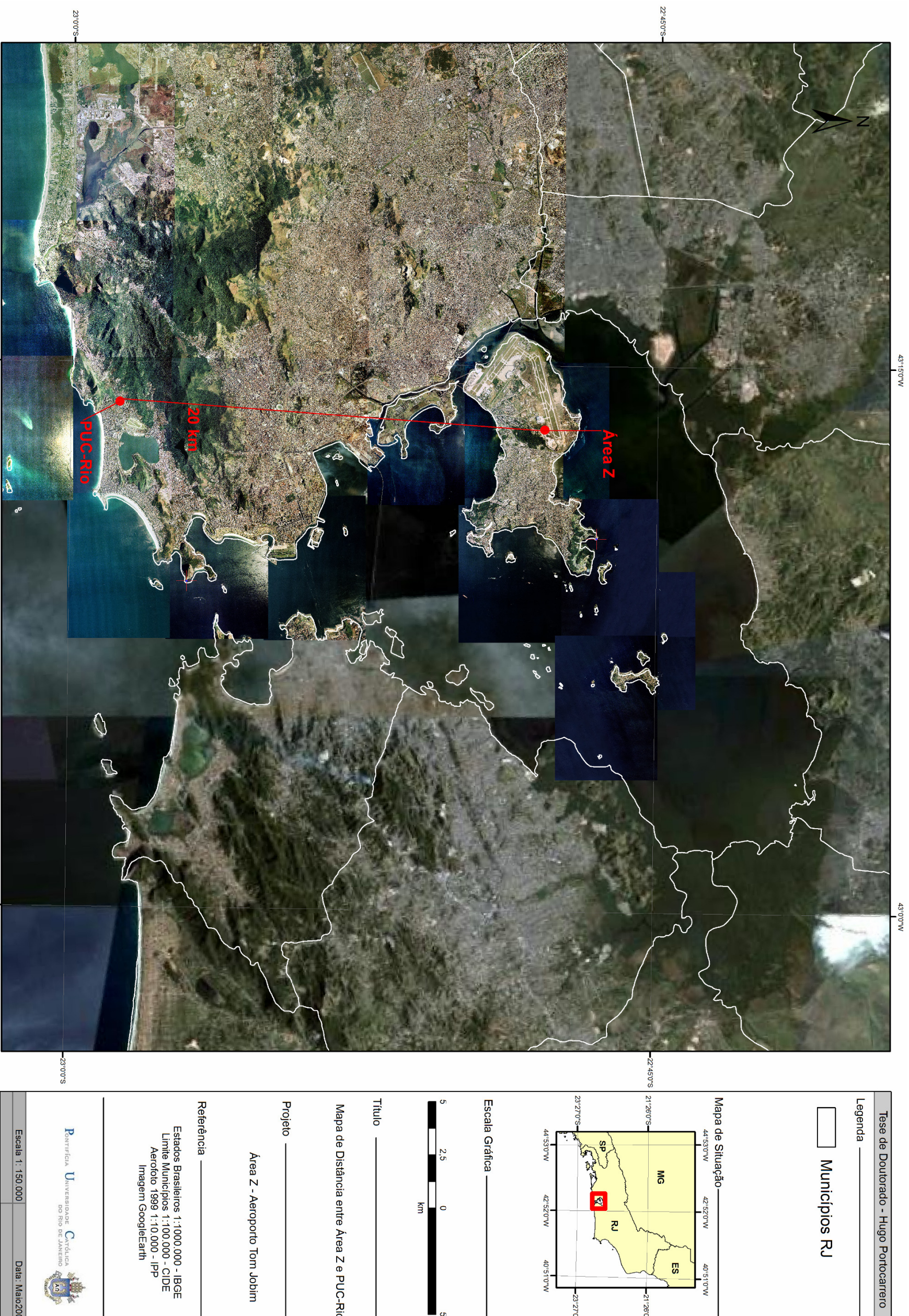


Figura 2-20 Distância entre a Área Z, na Ilha do Governador, e o Laboratório de Geotecnia da PUC-Rio, na Gávea.

2.2.6. Ocupação Anterior à Construção do Aeroporto

De acordo com Meis (1976), o solo deste trecho da ilha foi recoberto por sua vegetação natural até meados do século XVI, quando se deu a primeira fase de ocupação do recôncavo da Baía de Guanabara (que durou até meados do século XIX). Esta fase representa o período de implantação, expansão e auge da cultura da cana-de-açúcar. As regiões de topografia deprimida ou plana (a maior parte da ilha) eram mais propícias à instalação de grandes propriedades açucareiras. Em consequência, a floresta tropical foi praticamente destruída em toda a área plana da ilha, permanecendo, entretanto na encostas e elevações do terreno.

Durante uma segunda fase de ocupação do recôncavo (que durou do final do século XIX até as primeiras décadas do século XX), caracterizada pela decadência da monocultura canavieira, vários campos foram abandonados e despovoados, sendo a lavoura de cana-de-açúcar praticamente interrompida. Numa fase que foi de 1920 a meados de 1940, várias áreas abandonadas foram reconquistadas através da implantação e ampliação das culturas de banana e laranja, com o desenvolvimento das culturas de chácaras. Os laranjais desenvolveram-se principalmente em áreas já desmatadas, ocupando diversas colinas e morros da ilha. Toda a área onde hoje se situa a Área Z era, neste período, utilizada por pequenos sítiantes para a produção agrícola, sendo esta uma das áreas onde ocorria grande exploração agrícola na Ilha do Governador (Strauch, 1955). Aos poucos a atividade agrícola foi desaparecendo até que, em 1942 (com o início da construção do aeroporto e o estabelecimento da zona militar) foram desapropriados os últimos sítiantes, na estrada do Itacolomi e Tubiacanga. Muitos destes sítiantes ficaram radicados ali e suas famílias até hoje trabalham no aeroporto.

2.3. Diagnóstico do Estado de Degradação das Terras

2.3.1. Definições

Um ecossistema degradado é aquele que, após algum distúrbio, teve eliminados os seus meios de regeneração natural, levando a uma baixa resiliência e, conseqüentemente, à necessidade de intervenção antrópica para sua recuperação Carpanezzi *et al.* (1990). Apesar de serem admitidas várias definições para este termo, afirma-se que houve processo de degradação de uma área se a mesma tiver sua vegetação nativa e sua fauna destruídas, removidas ou expulsas; se a camada fértil do solo for perdida, removida ou enterrada; ou se a qualidade e o regime de vazão do sistema forem alterados.

Vários processos podem gerar a formação de áreas degradadas, desde a falta de um planejamento adequado de uso e ocupação do solo, o desmatamento de áreas com alta susceptibilidade a erosão, o uso do solo em desacordo com sua real aptidão, a adoção de práticas agrícolas inadequadas, até as operações de movimentação de terra para terraplenagem, exploração mineral ou deposição de rejeitos (Andrade, 1997).

Williams *et al.* (1990) consideraram 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. Assim, o sítio degradado deverá ter condições mínimas de estabelecer um novo equilíbrio dinâmico, desenvolvendo um novo solo e uma nova paisagem.

A generalização das palavras degradação e recuperação tem provocado alguma confusão. Tal controvérsia levou à edição do Decreto nº 97.632, de 10 de abril de 1989, que regulamenta o artigo 2º, inciso VII da lei nº 6938, de 31 de agosto de 1981. Ficou estabelecido, através deste instrumento, que:

“São considerados como degradação os processos resultantes dos danos ao meio ambiente, pelos quais se perdem ou se reduzem algumas das suas propriedades, tais como a qualidade ou a capacidade produtiva dos recursos ambientais e que a recuperação deverá ter por objetivo o retorno do sítio degradado a uma forma de utilização de acordo com um plano preestabelecido para o uso do solo, visando a uma estabilidade do meio ambiente.”

A Legislação Ambiental Brasileira é por vezes classificada como “restritiva”, “avançada” ou “protetora”. Em relação aos projetos de recuperação de áreas degradadas, a mesma oferece uma série de dispositivos que visam garantir ao cidadão o direito a um ambiente ecologicamente equilibrado, prevendo também a restauração ou recuperação de um ambiente degradado. Assim, são oferecidos instrumentos que teoricamente garantiriam a recuperação de ambientes degradados, seja pelo poder público, seja pelos responsáveis pelas atividades potencialmente causadoras de degradação ambiental.

Em relação recuperação de taludes, Griffith *et al.* (1994) apontaram como sendo o principal problema o restabelecimento de uma relação positiva entre a vegetação implantada e os substratos, o que ocorre principalmente quando da ausência de horizontes superficiais. Para estes autores, devem ser explorados os mecanismos de sucessão vegetal, em detrimento das chamadas “técnicas do tapete verde”.

Com relação aos taludes de corte, o substrato normalmente apresenta sérias restrições ao desenvolvimento vegetal. A eliminação dos horizontes superficiais dos solos faz com que o solo passe a não mais dispor de matéria orgânica, apresentando por isso baixa disponibilidade de nutrientes, baixa capacidade de retenção de umidade e características físicas indesejáveis (Santos, 1998), sendo que no processo de seleção de espécies e das técnicas de produção de mudas para fins de estabilização de taludes de corte, deve ser levada em conta a capacidade de penetração dos sistemas radiculares (Andrade, 1997).

A alta declividade dos taludes, por outro lado, favorece o aumento do escoamento superficial, e conseqüentemente o arraste de sedimentos, propágulos vegetais e de matéria orgânica depositada sobre o terreno em processo de recuperação. Além disso, em função da elevada exposição aos agentes climáticos (insolação, chuvas, ventos), as variações de temperatura e umidade diárias são extremas, o que resulta em escassa colonização vegetal (Santos, 1998).

Segundo Carpanezzi *et al.* (1990), a observação de mecanismos de regeneração natural pode auxiliar no desenvolvimento de estratégias para a revegetação de áreas degradadas. Algumas espécies vegetais conseguem se desenvolver mesmo em taludes de corte, embora em ritmo mais lento (Santana Filho *et al.*, 1995).

As estratégias de colonização variam de acordo com as espécies. O desenvolvimento das plantas altera as condições do sítio, através do aumento da área sombreada, deposição de tecidos vegetais, retenção de água e sedimentos (como visto no capítulo sobre a influência da vegetação na estabilidade dos taludes), permitindo o estabelecimento de plantas mais exigentes.

Dáí resulta o aparecimento de pequenas ilhas de vegetação contendo uma ou mais espécies, sendo que, sem a intervenção humana, o processo de regeneração pode ser extremamente lento. A partir destes modelos naturais de colonização vegetal foram idealizadas técnicas de estabilização e revegetação de taludes visando criar nichos artificiais para o crescimento de espécies nativas, principalmente através do plantio de pioneiras com elevado grau de rusticidade.

2.3.2. Exploração dos Barreiros e Impactos Ambientais

No entorno da Baía de Guanabara, os depósitos sedimentares terciários relacionados ao Grupo Barreiras, e em especial à Formação Macacu, foram amplamente explorados como matéria prima para construção civil em toda a Região Metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, formando áreas degradadas, taludes e pontos de exposição sem cobertura vegetal denominados popularmente de barreiros.

Possuindo camadas de sedimentos muito finos e plásticos, os depósitos da Formação Macacu foram muito explorados para sua utilização como matéria-prima da indústria de cerâmica e olarias, atividade esta já consolidada na região (Araújo, 2000). Dentre os barreiros mais conhecidos, em relação à Formação Macacu, têm-se: Barreiro Santa Isabel e Colonial (Itambi), Barreiro São João Batista (Itaboraí), Barreiro Portuense (Porto de Caixas, adjacente a um terreno da INFRAERO) e um barreiro pertencente à prefeitura de Duque de Caxias no Distrito de Saracuruna (Ferrari, 2001).

Saba-se que toda atividade de exploração de material terroso (inclui-se aí grandes empreendimentos e obras civis), modifica o terreno através do processo de extração mineral ou deposição de estéril e de rejeitos. Apesar de pontuais, tais intervenções acarretam em movimentação de grandes quantidades de solo em um curto espaço de tempo.

A mineração, devido à velocidade da retirada da cobertura vegetal e modificação do solo de uma determinada área, impressionam mais o observador leigo que outras atividades. Além disso, constata-se grande movimentação de terras e modificações no substrato em áreas urbanas sujeitas a empreendimentos civis como a construção de aeroportos, acarretando na formação de extensas áreas degradadas, muitas vezes negligenciadas por parte do poder público e por parte da população em geral (que toma estas áreas como perdidas em função de estarem em perímetro urbano).

A atividade de extração de material terroso acarreta diversos impactos sobre o meio ambiente. Como decorrência da exploração mineral, os principais impactos que podem afetar o solo e o meio biótico são:

- Modificação do perfil topográfico do terreno.
- Instabilização de encostas e taludes.
- Ocorrência de erosão do solo em áreas onde a cobertura vegetal foi removida.
- Alteração nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, devido à mistura ou remoção de horizontes etc. (IBRAM, 1992).
- Destruição total ou parcial da meso e micro fauna quando a cobertura vegetal e o solo são removidos, pois estes tipos de biotas mantêm relações físicas e biológicas muito estreitas e dependem diretamente dos substratos fornecidos pelo solo e pela flora.
- Deslocamento da macrofauna da área ou proximidades quer pela remoção da flora ou pelo afugentamento em consequência das atividades de movimentação dos equipamentos, detonações, instalações industriais etc. Algumas vezes, somente determinadas espécies são deslocadas, causando um desequilíbrio na cadeia alimentar. A área que também recebe a fauna deslocada também apresenta alterações, sofrendo assim um efeito indireto da mineração.

2.3.3. Processos Erosivos Resultantes da Exploração da Área Z

Após a sua exploração, durante a década de 1970, a Área Z foi completamente abandonada sem ter sido feita sua revegetação, observando-se o aparecimento de grandes sulcos e voçorocas tanto nas áreas mais planas das encostas suaves, como nos declives acentuados dos taludes de corte (Embrapa 2001a).

Durante a etapa de Implantação do Projeto Executivo de RAD, foi elaborado um zoneamento da área patrimonial para definição de prioridades de ações de RAD. De acordo com estes relatórios, a Área Z apresentava diversos locais com graves problemas de degradação ambiental, como erosão superficial do solo, assoreamento em várzeas, sulcos, ravinamentos e uma grande voçoroca.

Quanto à classificação das terras proposta pela Embrapa (2003a), o local específico para a implantação do talude situa-se na Subárea 4 - Morro ao Lado Direito do Hangar da Varig. De acordo com este relatório, a área em questão apresentava um alto grau de degradação no contexto do aeroporto, e uma área de aproximadamente 55.000 m² (Figura 2-21).



Figura 2-21 Morro ao Lado Direito do Hangar da Varig (atual TAP), fotos do primeiro diagnóstico efetuado pela Embrapa Solos. Acima – vista geral das pistas direita e o Hangar à esquerda, observando-se erosões na vertente onde foi posteriormente conformado o talude; No centro – Imagem do *Google Earth* realçando a Área Z; Abaixo – reverso da vertente do talude, uma área atualmente utilizada como bota-fora da apara de grama, observa-se o testemunho ao topo do talude.

Posteriormente a este diagnóstico foram efetuadas expedições na área de estudo durante o ano de 2007, durante a implantação do projeto de RAD, visando à obtenção de informações mais detalhadas para a implantação de um campo experimental.

2.3.3.1. Diagnóstico da Vertente para Conformação do Talude

Observando-se o morro do lado direito do hangar como um todo (uma área de 5 ha), constatou-se a presença de áreas com ravinamentos mais próximo às vias de serviço que margeiam a pista, muitos sulcos ao longo de toda a área e duas voçorocas (referenciadas com as abreviações V.1 e V.2 de agora em diante): uma destas foi recuperada e outra mantida como testemunho, sendo que a posição e detalhes destas são descritos mais adiante). Durante a delimitação e investigação do local específico para conformação do talude, bem como de seu entorno imediato anteriormente às obras, foi possível constatar a presença de algumas das litofácies da Formação Macacu, muito semelhantes as Fácies *ACpb*, *Amp* e *Llm* reconhecidas por Ferrari (2001) em local próximo conforme já comentado (Figura 2-22). Estes materiais são pormenorizadamente estudados no Capítulo III.

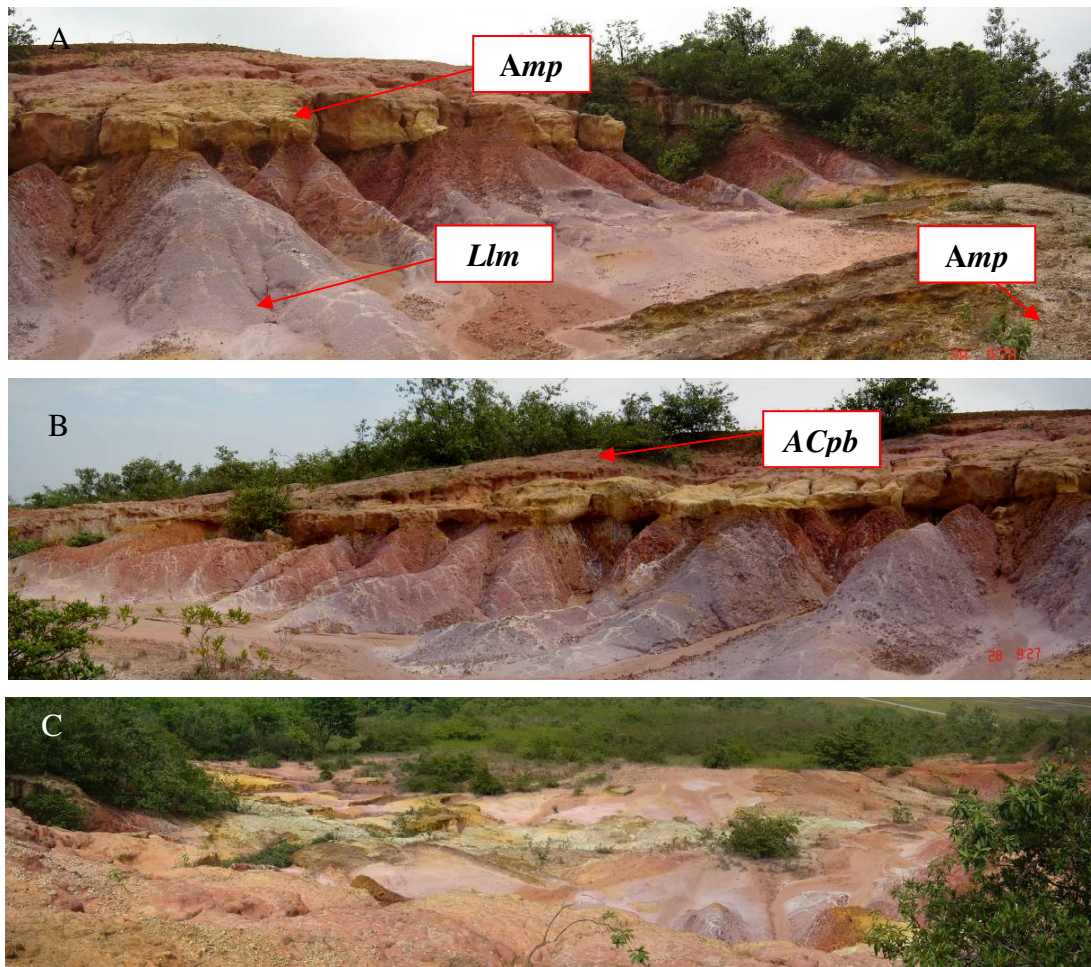


Figura 2-22 De frente para o talude: A – observador ao meio olhando para a direita; B – observador ao meio olhando para esquerda. C – de cima do talude, observando-se o piso onde foi construído posteriormente o aterro da seção mista do talude.

Foi efetuado um trabalho de topografia, sendo também determinada a área de escopo do talude (Figura 2-23). De posse na topografia da área de estudos foi gerado um Modelo Digital de Terreno (MDT) e também de mapa de declividade visando uma avaliação mais detalhada de aspectos da morfologia local de grande importância para a elaboração de estratégias de RAD (Figura 2-24). A figura Figura 2-25 mostra as áreas degradadas através de fotos nos diferentes pontos da área de estudos.

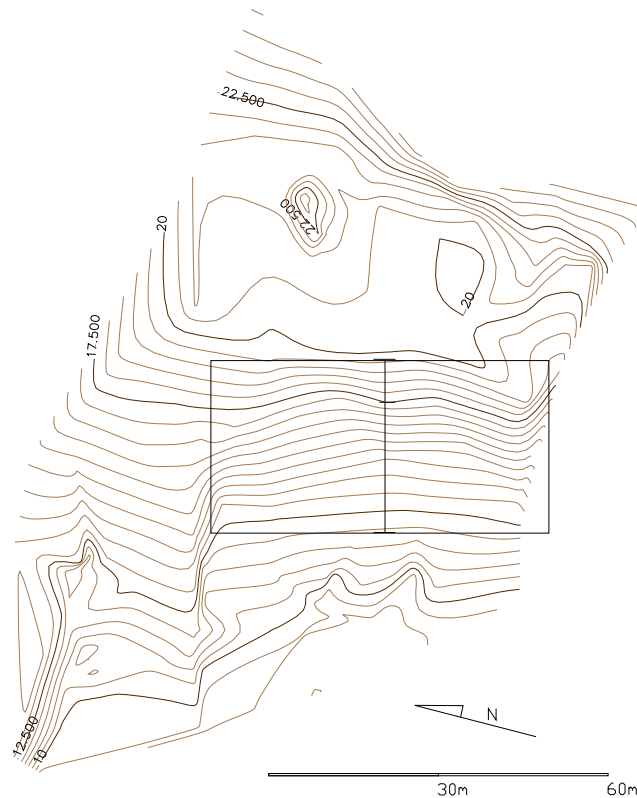


Figura 2-23 Topografia da área anteriormente à execução das obras.

De acordo com a topografia a cota máxima não chega a 30 metros de altura, com uma descida em declive suave de variando entre 5% e 15% para a área como um todo, com declives mais acentuados nas ravinas e voçorocas, especialmente na borda SSE na área da voçoroca onde ocorrem algumas paredes verticais, e também uma grande ravina cortando o terreno morro abaixo formando um desnível topográfico de em torno de 4 m. A construção do talude se deu justamente encaixada neste local, aproveitando este desnível com o objetivo de diminuir a movimentação de terras.

Em relação ao tipo de substrato exposto, foi identificado durante os trabalhos de campo que as escavações atingiram profundidades entre três e 5 m, acarretando na exposição do solo residual jovem (horizonte C, ou a Formação Macacu). Os sulcos e ravinas possuem alturas variando entre 1.5 m e 2.5 m, e as duas voçorocas presentes possuem em torno de 4 m e 5 m.

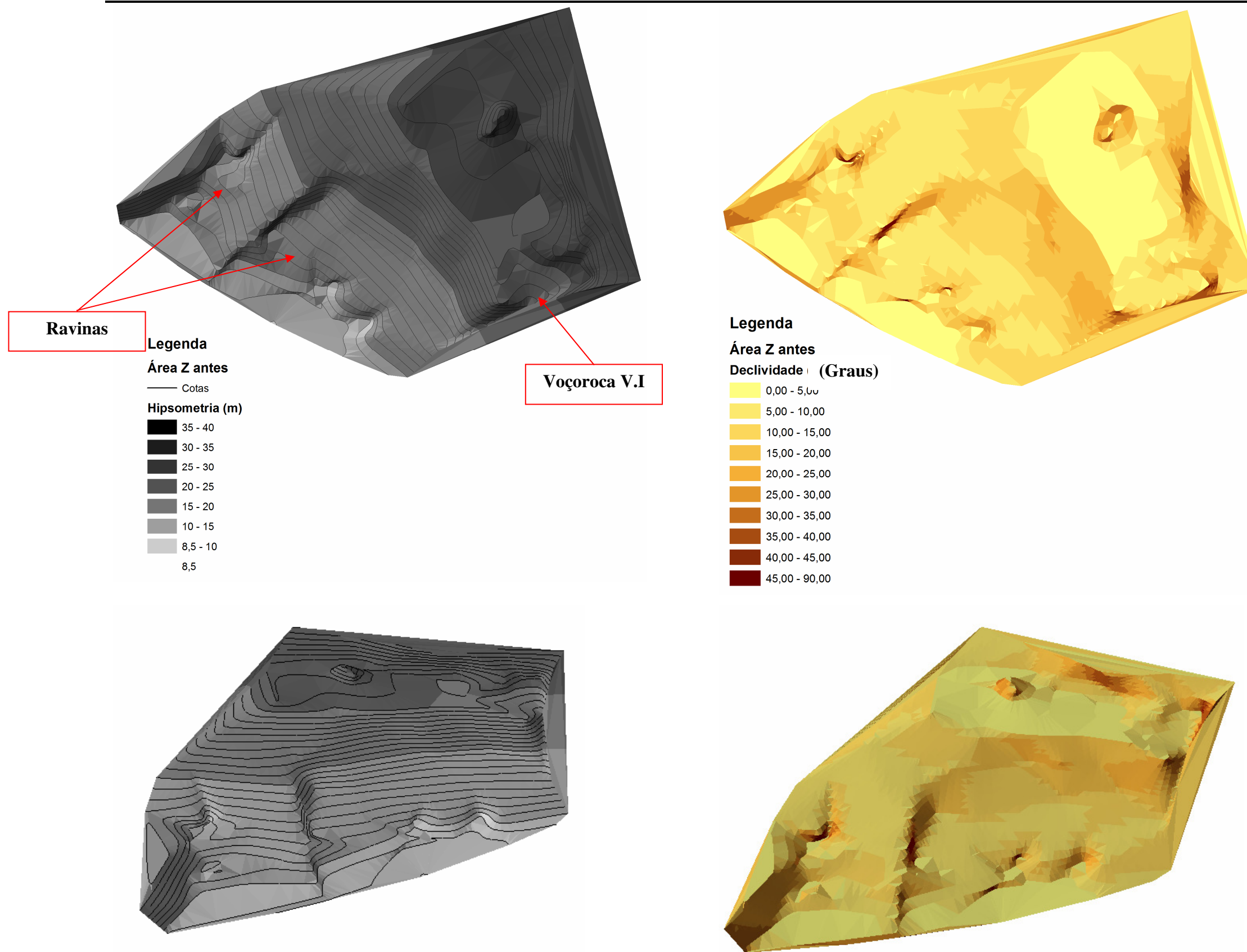


Figura 2-24 Topografia e delimitação da área de escopo para o talude e entorno.

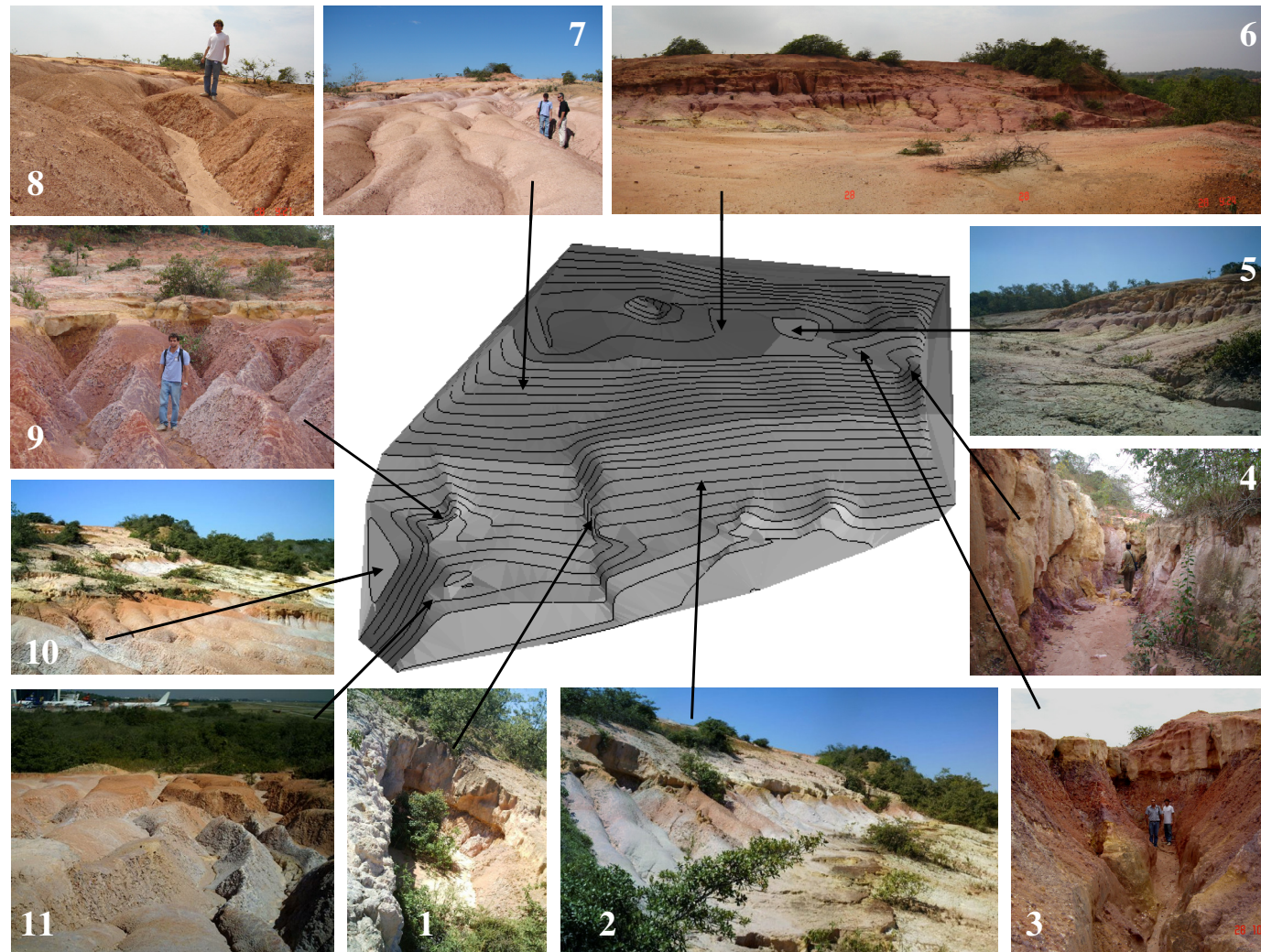


Figura 2-25 Diagnóstico da Área Z em 2007. 1-2: Visão frontal a vertente para execução do talude. 3-4: Voçorocas ao lado da vertente. 5-6: Vertente acima do local para construção do talude, observando-se o grande sulco que origina a uma das voçorocas. 7-8: área apresentando erosão em sulcos na área de contribuição da vertente. 9-10-11: Ravinas do lado esquerdo da vertente do talude.

Foi possível observar uma voçoroca, denominada de agora em diante Voçoroca V.I (Figura 2-26) detectado durante o diagnóstico da Embrapa, situada à aproximadamente 10 m à SSE da área delimitada para a conformação do talude. A feição possui 4.2 m de altura, evidenciando exfiltração na base. Para a recuperação desta feição foi necessária a execução práticas mecânicas e vegetativas específicas. O entorno do talude foi também tratado com práticas de RAD, conforme descrito adiante (ver subitem 2.5).

Foi ainda detectada a presença de mais uma voçoroca (V.II) e grandes ravinas e sulcos, não mapeados na topografia exposta anteriormente, conectados ao mesmo canal de saída, expondo diferentes fácies sedimentares da Formação Macacu (Figura 2-27). Este canal pode ser interpretado como um grande voçorocamento conectando as Voçorocas V.I e V.II, assim como as ravinas, abrangendo toda a área de contribuição degradada a sul do testemunho no topo do morro (delimitando também a subárea 4 – Morro do Lado Direito do Hangar da Varig, local dentro Área Z onde foram desenvolvidas as pesquisas).

Esta feição, que possui mais de 100 m de comprimento, foi simplesmente denominada de canal de saída das erosões, uma vez que a erosão não avança dentro deles e eles responsáveis somente pelo transporte canalizado dos sedimentos para fora da área rumo às pistas.

Mais à montante da Voçoroca V.II também é importante destacar a presença de um conjunto de ravinas que drenam para este mesmo canal, próximo ao topo do morro, tendo sido aproveitado o declive acentuado provocado pela erosão para suavização e construção do Talude III (Figura 2-28).

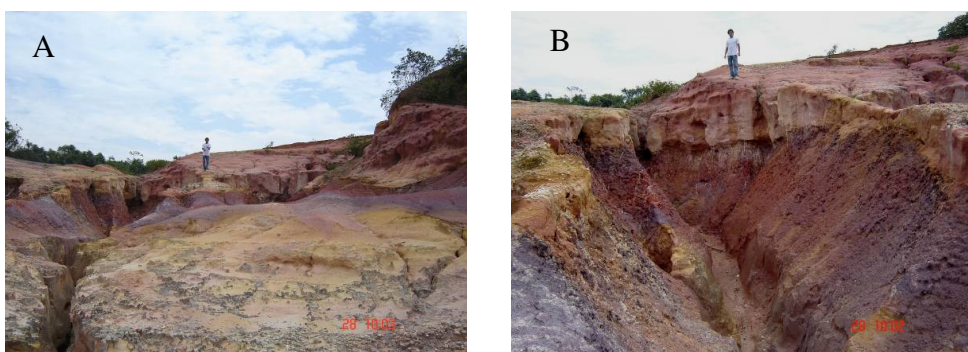


Figura 2-26 Voçoroca V.I, ao lado da vertente para construção do talude (referente aos pontos 3-4 na figura anterior). A profundidade da feição chegou a 4.2 m (medido com trena – Foto A), sendo possível observar exfiltração em sua base evidenciada pela formação de um leito no fundo bem definido (B).

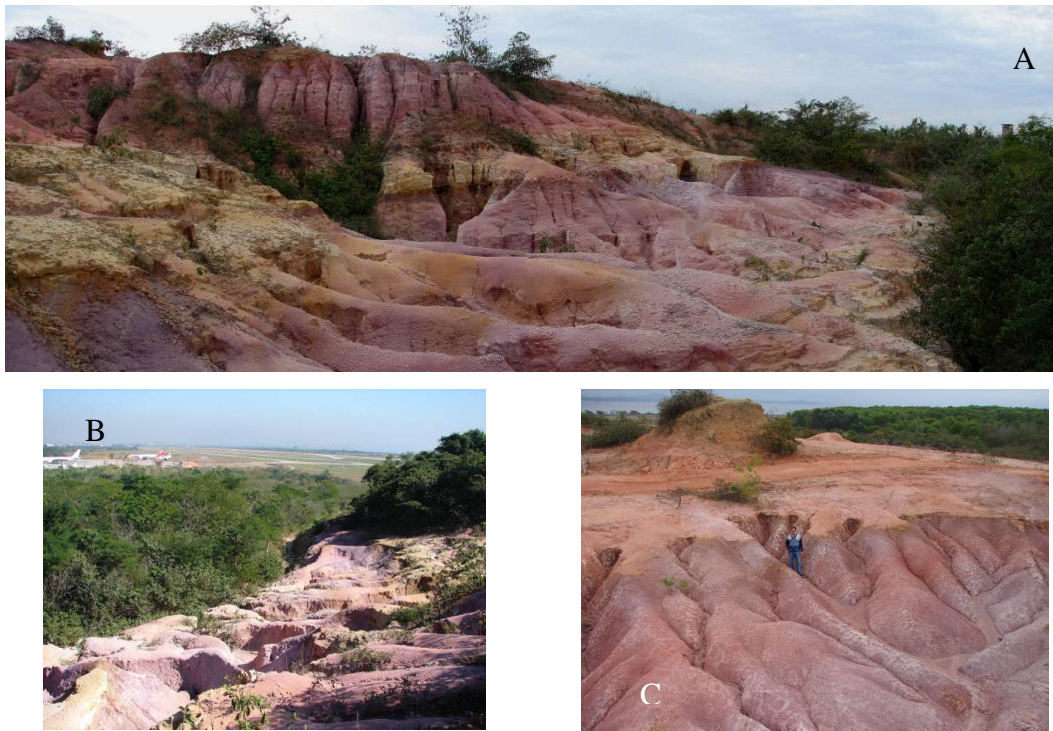


Figura 2-27 Voçoroca V.II, à montante (leste) da Voçoroca V.I, que contribui para o mesmo canal de saída à jusante. A – Visão de montante à jusante. B – Visão do alto. C – Ravinas ao lado da voçoroca que contribuem para o mesmo canal de saída, destacando-se também o testemunho no topo do morro: Observa-se nitidamente, assim como nas demais áreas, o quanto as fácies areníticas (coloração clara) são mais resistentes que os lamitos subjacentes (colorações arroxeadas).

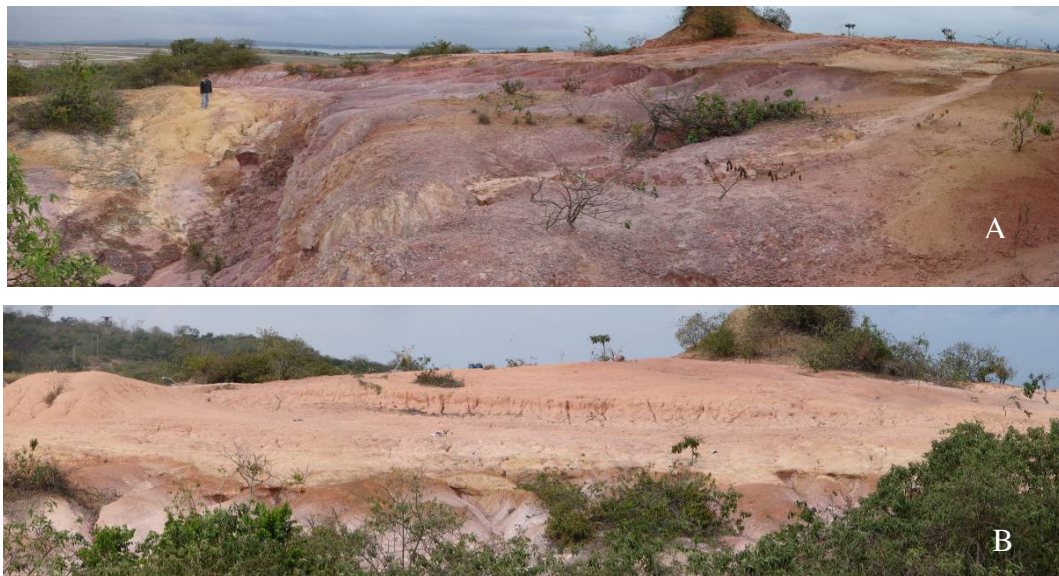


Figura 2-28 Área ao redor do testemunho no topo do morro. A – local à montante da Voçoroca II (a sul do testemunho), observando-se um declive acentuado (suavizado posteriormente revegetação formando o Talude III (ver 2.5)). B – vertente oposta, do outro lado do topo do morro, a norte do testemunho.

2.4. Conformação do Talude

Conforme discutido no subitem 2.1, empreendimentos civis tais como rodovias, ferrovias e aeroportos demandam obras de terraplenagem¹² de grande porte, sendo necessário estabelecer aterros e cortes no terreno, gerando diversos tipos de taludes de acordo com as situações específicas.

Quanto às rodovias, estas são hierarquizadas de acordo com o tráfego que suporta, desde as de mais alto nível, as vias expressas, que constituem grandes eixos rodoviários, até as vicinais e pioneiras que formam o primeiro nível de alimentação das primeiras (Santos et al, 1998). Baseado nesta hierarquia, além do custo de construção, que varia principalmente em função de aspectos geomorfológicos, são definidas as demais características técnicas, como raios mínimos de curvas, rampas máximas, larguras de pista e de acostamentos, e também o dimensionamento dos taludes.

Nas ferrovias alguns fatores adicionais de geometria viária, de caracterização do subleito, do material de lastro e de vibrações induzidas são necessários, o que acontece devido a uma maior interação com o veículo de transporte e com o maciço em que são implantadas (Stopatto, 1987). Assim, por exemplo, o aumento da velocidade das composições, das cargas transportadas e da frequência de uso do leito ferroviário pode influenciar na queda de blocos e rupturas de taludes pelas vibrações transmitidas aos maciços rochosos e terrosos.

Nos aeroportos, além dos critérios normalmente utilizados para dimensionamento de taludes de corte em rodovias, tem-se a questão da necessidade de formação de uma grande área plana, o que acaba acarretando muitas vezes na necessidade de estabelecimento de taludes de grandes dimensões, sendo projetados taludes com elevados declives e desníveis topográficos. Além disso, a drenagem das vias de acesso deve ser muito bem conduzida nos pés dos taludes, uma vez que as plataformas possuem solos com elevada compactação para viabilizar o pouso forçado nas áreas gramadas sem riscos de explosões no contato aeronave/solo.

¹² Pode ser definido como um conjunto de operações de escavação, carga, transporte, descarga, compactação e acabamento executados a fim de passar-se de um terreno em seu estado natural para uma determinada conformação topográfica desejada (Shimizu, 2002).

Atualmente o grande desafio a ser enfrentado não é mais a dificuldade em edificar rodovias, ferrovias ou aeroportos, mas sim o de construí-las e mantê-las gerando um mínimo de degradação ambiental e evitando riscos de acidentes.

Neste sentido, desconsiderando a questão da estabilidade dos taludes, que não está dentro do escopo desta tese, neste capítulo as discussões são concentradas em aspectos construtivos e relacionados a problemas de erosão recorrentes em taludes aeroportuários.

2.4.1. Dimensionamento

Para a construção do talude de corte no Campo Experimental do Galeão foram reproduzidas as especificações técnicas utilizadas durante a construção do aeroporto, com o objetivo de gerar situações semelhantes em termos de erosão às encontradas nos demais taludes.

Visando o máximo aproveitamento da área disponível para o empreendimento, foi selecionada uma faixa de cerca de 90 metros de extensão, na vertente voltada para as pistas de pouso e decolagem do Morro ao Lado Direito do Hangar da Varig (ver subitem 2.3) para conformação de um talude com 60 metros de comprimento total. Para a delimitação da área de escopo foi estabelecida uma zona retangular com 30 x 60 m, conforme descrito no subitem 2.3.

2.4.1.1. Inclinação

A inclinação de taludes depende da quantidade de terra movimentada para cada situação específica. Para pequenos desníveis normalmente são utilizadas inclinações suaves, acomodando os taludes ao terreno natural de forma contínua e sem variações bruscas de declividade. Neste caso o uso de inclinações suaves nos taludes não implica aumentos significativos no movimento de terra, mas aumenta a segurança da obra e oferece melhores condições para revegetação e paisagismo.

No Aeroporto Internacional Galeão Taludes com inclinação¹³ 1:2 ou 1:3, muitas vezes arredondados nas concordâncias com a plataforma da estrada e com o terreno natural, para desníveis de até em torno de 5 metros, como os observados na área dos terminais de passageiros (Figura 2-29 e Figura 2-30), foram uma boa

¹³ Inclinação - (V);(H), conforme convenção discutida no Subitem 2.1

solução, não tendo sido constatada presença de erosão na maior parte dos mesmos.



Figura 2-29 (Talude A) com altura de 5 m apresentando inclinação entre 1:2, arredondado nas concordâncias com a estrada.

Quando os taludes de corte são altos, o uso de inclinações suaves acarreta aumento significativo do movimento de terra e conseqüente aumento no custo de construção, sendo necessárias análises de estabilidade para escolha da inclinação adequada.

Os taludes no aeroporto apresentam basicamente dois tipos de inclinações, definidas de acordo com o dimensionamento hidráulico, alturas máximas e escalonamento de taludes executado durante as obras de construção: para desníveis de até 5 metros foram construídos taludes com inclinações de 1:4, e para os maiores desníveis foram estipuladas inclinações em torno de 1:1 a 1:1.5. As inclinações dos taludes ao longo do aeroporto variaram ainda em função da proximidade das encostas que margeiam as pistas e com a necessidade maior ou menor de movimentação de terras durante as obras.

2.4.1.2. Altura

Em relação à definição das alturas e ao escalonamento dos taludes de corte no Aeroporto Galeão como um todo, observa-se a falta de banquetas (bermas) em alguns taludes com um elevado desnível gerando danos por erosão de solos. Os taludes no AIRJ são normalmente íngremes e se encontram em sua maioria desprovidos de vegetação, apresentando sulcos, ravinas e voçorocas, expondo o solo residual jovem ao escoamento superficial e acarretando no entupimento das drenagens, podendo provocar sérios acidentes (Figura 2-30 e Figura 2-31).



Figura 2-30 A – (Talude B) próximo ao corpo de bombeiros, do outro lado da pista. B, C (Talude C) também próximo com seção expondo a Formação Macacu. D (Talude D) de corte degradado na via de serviço que margeia a cabeceira 28 próximo à Área Z.



Figura 2-31 Localização de outros taludes (A,B,C,D).

Como nas condições geotécnicas encontradas em grande parte do território brasileiro, os taludes de cortes expõem solos residuais jovens com baixa permeabilidade, o que representa um desafio em termos geotécnicos. Isto é percebido como resultado de elevados gastos com a manutenção da malha viária nacional e com a ocorrência constante de acidentes e várias situações de risco, que têm sido exploradas enfaticamente pela mídia.

No que diz respeito aos critérios para alturas máximas e escalonamento de taludes¹⁴, de acordo com o Manual de Drenagem de Rodovias (DNIT, 2006), o método atualmente empregado em obras públicas, amplamente difundido em todo o mundo (como destacado em Massad, 2005), baseia-se na utilização de expressões obtidas com a aplicação do Método Racional. Tais métodos consistem no cálculo da descarga máxima de uma superfície de projeto por uma expressão que relaciona o valor de descarga com a área de captação e a intensidade da precipitação. Simplificando, o método assume a seguinte formulação geral (Iwasa & Frendrich, 1998):

$$Q = (C * i * A) / 3.6 \quad \text{[Equação 2-1]}$$

Sendo:

Q = Vazão de Projeto (m³/s).

i = intensidade máxima de chuva.

A = área drenada (km²)

C = Coeficiente de deflúvio (adimensional)

A partir das dimensões dos projetos, bem como dos parâmetros envolvidos na definição, da velocidade de escoamento, são definidos ainda ajustes nesta formulação, como os preconizados no Manual de Drenagem de Rodovias do DNIT (DNIT, 2006). De acordo com este manual, os elementos de projeto necessários tanto no cálculo da altura máxima de taludes quanto no escalonamento de bermas são: a intensidade de precipitação, a largura da plataforma, o parâmetro definidor da declividade do talude, os coeficientes de escoamento do talude e da

¹⁴ O escalonamento de taludes define o desnível (altura) máximo a ser utilizado para o talude ou com distância vertical entre as bermas (banquetas). O objetivo é evitar que as águas precipitadas sobre a plataforma e sobre os taludes, atinjam, através do escoamento superficial, uma velocidade acima dos limites de erosão dos materiais que os compõe (*op cit*, 2006).

plataforma, o coeficiente de rugosidade de Strickler¹⁵, a declividade transversal e longitudinal da plataforma e a velocidade admissível de erosão do talude.

Como visto, apesar de sua simplicidade, o Método Racional exige a definição de um único parâmetro expressando o comportamento da área na formação do deflúvio, conseqüentemente reunindo todas as incertezas dos diversos fatores que interferem neste parâmetro.

Tal parâmetro, denominado coeficiente de deflúvio (c), representa a relação entre a vazão e a precipitação que lhe deu origem em uma superfície topográfica, envolvendo além do volume precipitado, a intensidade do evento, o tipo de cobertura vegetal a capacidade de infiltração dos solos, etc.

Uma solução para contornar estas incertezas seria desenvolver formulações e modelos a partir de análises de mecanismos e aspectos do ciclo da água nos taludes através de monitoramento automatizado, conforme discutido detalhadamente no Capítulo IV.

2.4.1.3. Comprimento da Rampa

O comprimento da rampa é a superfície lateral inclinada que resulta da conformação de uma seção de corte. Se por um lado o aumento na declividade diminui a estabilidade, por outro, com a diminuição do ângulo do talude, expande-se a também o comprimento da rampa, aumentando-se o escoamento superficial e a erosão, que por sua vez acarretam em instabilidade. O entendimento desta relação é tão importante que estes dois parâmetros (comprimento de rampa e declividade) são agrupados normalmente por um único índice em modelos de simulação de processos erosivos (Fator LS)¹⁶.

2.4.2. Processo de Construção

Independente da configuração inicial do terreno e da configuração final desejada, normalmente em obras de conformação de taludes é necessária uma

¹⁵ O coeficiente de rugosidade de Strickler é igual ao inverso do coeficiente de Manning (DNIT, 2006).

¹⁶ (Fator LS) – relação entre o comprimento da rampa e a altura de taludes – ver Subitem 2.8.

etapa de preparação de terreno dispendiosa, envolvendo processos de desmatamento, destocamento, limpeza e remoção de camada vegetal. Neste sentido, a inexistência de cobertura vegetal se mostrou bastante conveniente na área de estudos, facilitando a viabilização do projeto.

Devido a esta vantagem de projeto as obras iniciaram-se com a movimentação de terras propriamente dita. Definida a área de escopo (60 x 30 metros e 1800m² (conforme no subitem 2.3) para conformação de uma seção mista¹⁷ com um corte de inclinação de 1:1.5; 60 m de extensão e 15 m de comprimento de rampa (gerando um desnível de 10 m), o passo seguinte foi a determinação dos equipamentos a serem utilizados, tomando-se como base o tipo de material presente, visando o início do processo de conformação do talude (Figura 2-32). Os manuais técnicos de obras de terraplenagem e cortes normalmente classificam os materiais a serem escavados para fins de projeto em três categorias, conforme na Tabela 2-3 (os materiais da área de escopo são classificados como de 1ª Categoria.):

Tabela 2-3 Categorias de materiais e tipos de escavações (adaptado de Shimizu 2002 e Iwasa & Frenndrich, 1998).

Categoria	Tipo de Escavação	Materiais	Equipamentos
1ª Categoria	Escavação comum	Solos em geral, materiais decompostos, aluviões, ou materiais heterogêneos em blocos isolados de até 1m ³ , que possam ser removidos diretamente por equipamentos com porte variável.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escavadeira Hidráulica com esteiras; ▪ Caminhão Basculante; ▪ Motoniveladora.
2ª Categoria	Escavação de rocha por desagregação ou mista	Rochas mais ou menos rígidas, estratificadas, com diferentes graus de alteração, desmontadas e desagregadas por equipamentos de diversos portes, como tratores com escarificadores, rompedores etc., ou mesmo com emprego descontínuo de explosivos de baixa potência para posterior carregamento e remoção.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escavadeira Hidráulica com esteiras; ▪ Caminhão Basculante; ▪ Motoniveladora; ▪ Compressor de ar; ▪ Marteleto pneumático.
3ª Categoria	Escavação de rocha por explosivos	Rocha sã ou pouco alterada, não trabalhável por métodos “a frio”.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Escavadeira Hidráulica com esteiras; ▪ Compressor de ar; ▪ Marteleto pneumático; ▪ Perfuratriz Sobre Esteiras; ▪ Caminhão Basculante para Rochas.

¹⁷ Cortes em meia encosta ou seção mista correspondem ao encaixa apenas parcial da seção do topo estradal na topografia original, caso em que a plataforma apresenta parte em aterro.

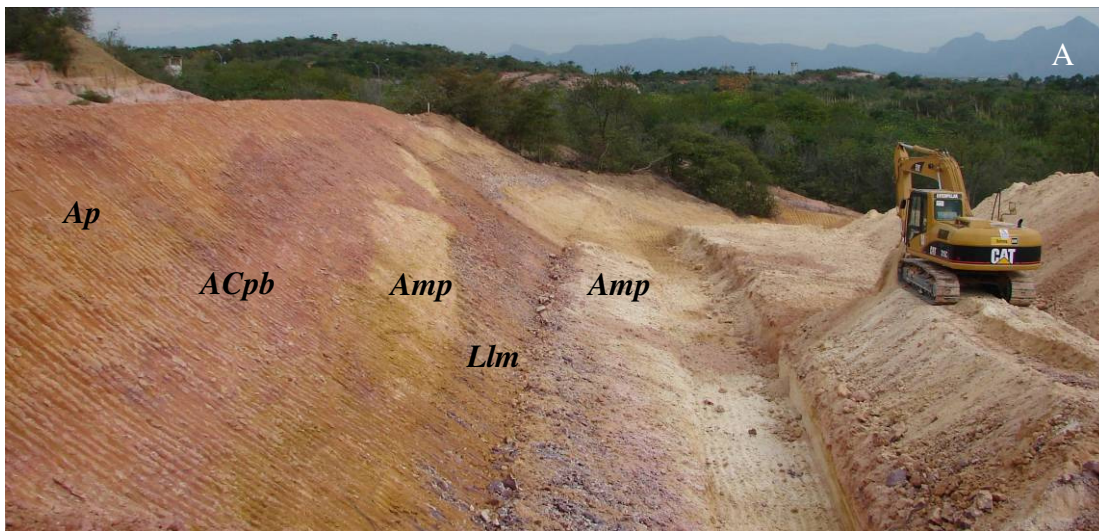


Figura 2-32 Processo de conformação do talude, podendo-se observar o desdobro dos diferentes materiais que compõem material terroso (A,B) e o resultado das diferentes fácies facilmente reconhecíveis (*Ap*, *ACpb*, *Amp* e *Llm*) durante a fase de compactação do aterro (C). Detalhes da discriminação e delimitação espacial destes materiais encontram-se no Capítulo III.

2.4.2.1. Drenagem

Segundo Santos *et al.* (1981) o número de taludes que apresentam problemas de erosão e instabilidade devido à implantação de drenagens mal dimensionadas e mal revestidas é muito grande no Brasil, geralmente em função da realização de cortes no terreno para a implantação dos sistemas aonde se chega a horizontes mais profundos, mais erodíveis.

Na avaliação e no dimensionamento de projetos de valetas ou canaletas de crista, o mais importante é desta forma é considerar a permeabilidade do terreno em que se executa a obra.

Em relação a este aspecto em especial, todos os taludes construídos no aeroporto são providos de sarjetas ou valetas¹⁸ no pé a na crista para a drenagem das águas superficiais, porém, a falta de cobertura vegetal, somada a baixa permeabilidade dos solos (da ordem de 10^{-5} cm/s) acarretaram no rompimento de grande parte destas estruturas de drenagem. No caso os problemas ocorreram devido a um subdimensionamento dos volumes de escoamento superficial na presença do solo residual jovem, e também devido à erosão dos solos em contato com as estruturas de drenagem (Figura 2-33).

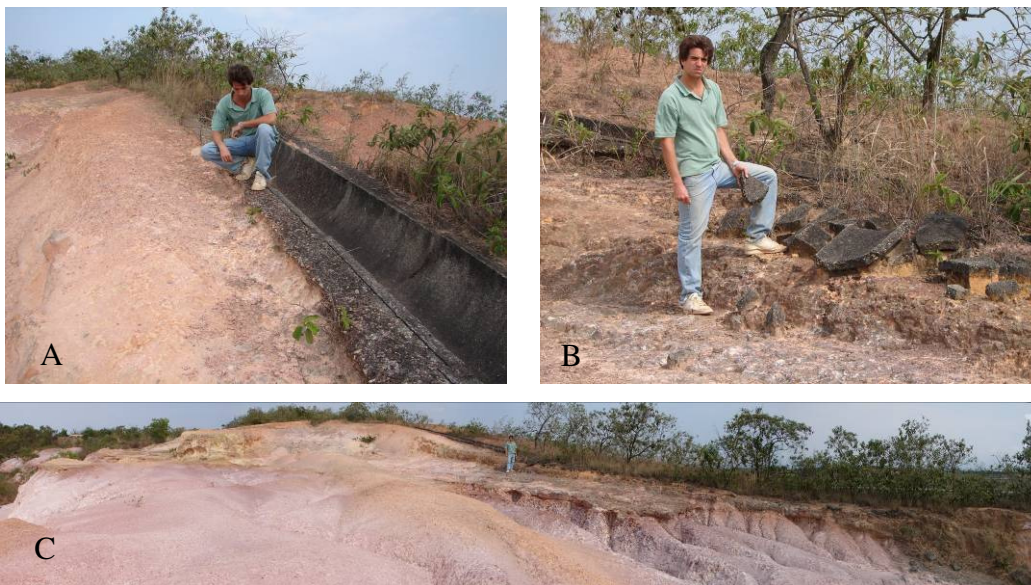


Figura 2-33 A – Canaleta de drenagem de crista com erosão nos solos ao redor. B – pedaços de canaleta destruída devido ao subdimensionamento da drenagem. C – visão

¹⁸ Utiliza-se o termo sarjeta para dispositivos de drenagem superficial revestidos, e valeta para dispositivos de drenagem sem revestimentos.

geral da área, onde este problema de drenagem ocasionou na formação de uma voçoroca.

Outro exemplo deste tipo de problemas foi descrito em Andrade *et al* (2005), ocorreu no Morro do Radar, conforme comentado anteriormente. Neste caso, a solução no projeto de recuperação da área foi o reordenamento generalizado dos fluxos no talude e o tritramento e enterramento da antiga estrutura de drenagem (Figura 2-34).

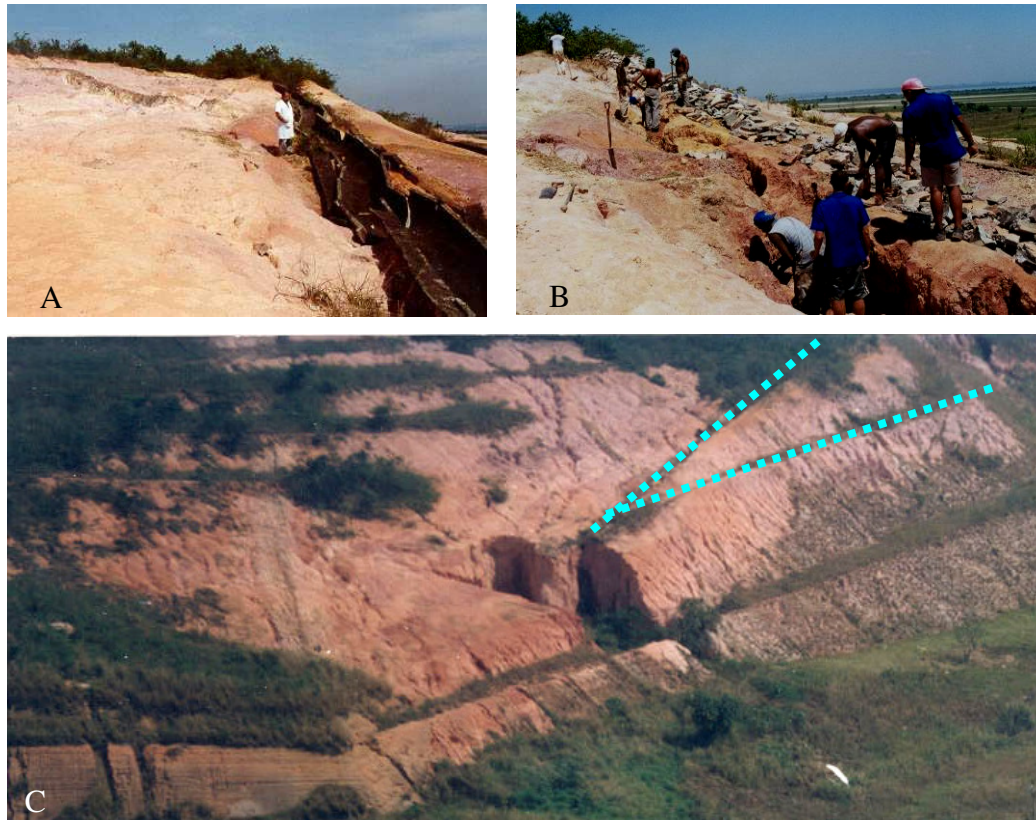


Figura 2-34 Problemas de dimensionamento de drenagens no Morro do Radar. A.B – canaleta na seção montante que foi picotada e enterrada no local visando o ordenamento este resíduo e da superfície do terreno. C – sobrevôo na voçoroca do Morro do Radar na década de 80 observando-se nitidamente que esta foi desencadeada devido a um rompimento da drenagem na junção de duas canaletas de crista.

Para ordenar os fluxos superficiais logo acima do Talude I na Área Z (objeto desta tese) foi dado um caimento ao terreno, no sentido SSE, rumo à drenagem onde havia a antiga voçoroca (2%), e um caimento para dentro na plataforma que contribui para o talude (1%) (Figura 2-35).

No talude secundário à esquerda foi definido também uma caimento para dentro do caminho de acesso (1%). Tanto os direcionamentos dos fluxos quanto os gradientes foram definidos durante a obra observando-se os mecanismos de drenagem naturais ocorridos no local anteriormente à implantação do talude,

visando estabelecer o novo mecanismo de drenagem com a menor movimentação de terras possível.

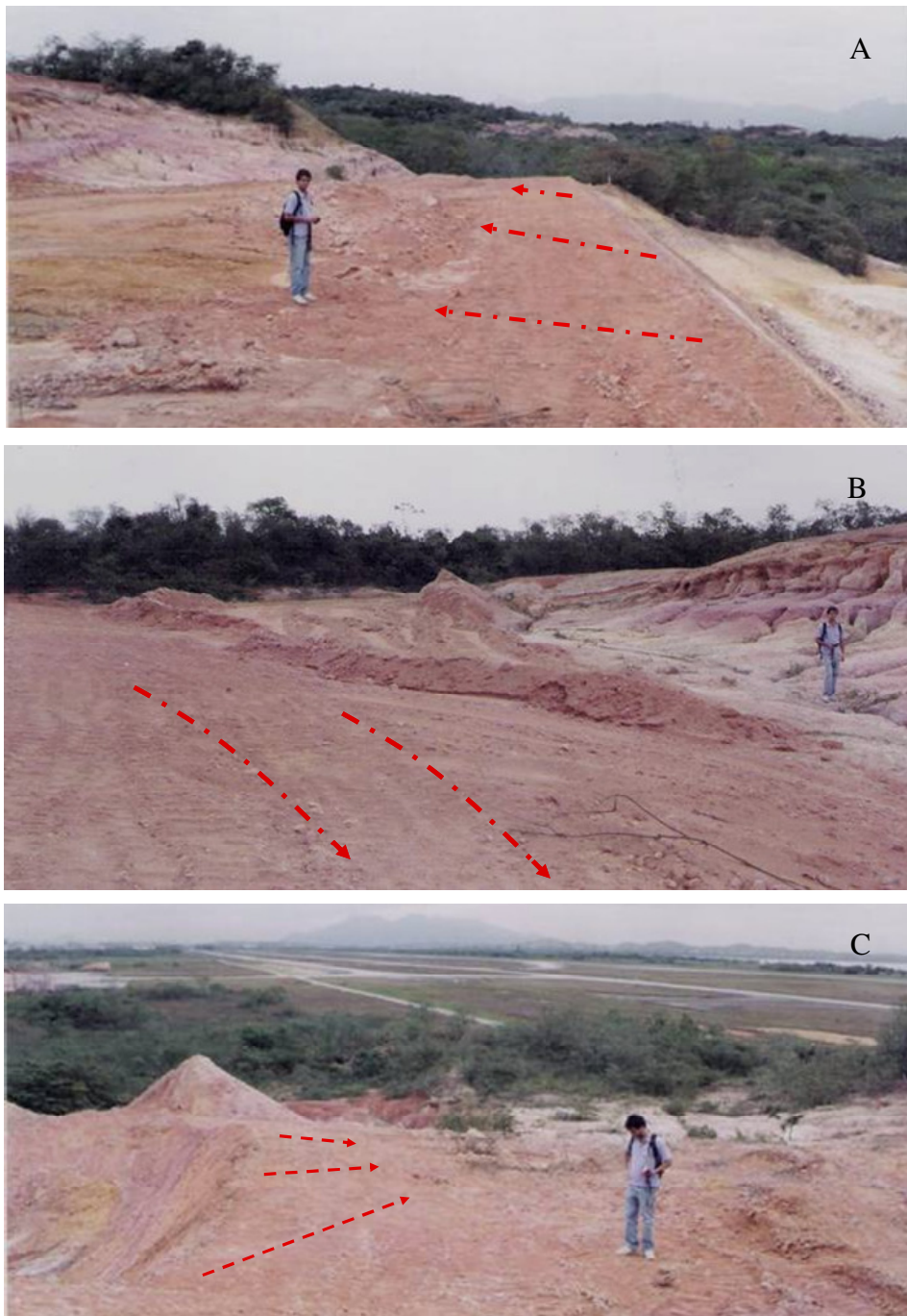


Figura 2-35 Inclinação nas plataformas na crista do talude (A,B) e no talude lateral (C) com caimento para fora de 1%.

2.4.2.2. Equipamento Utilizado

Para a construção do talude, após levantamento planialtimétrico da área de escopo e execução de um caminho de serviço, foi conformado o talude

mecanicamente com utilização da escavadeira hidráulica CAT 315C-L da *Caterpillar*, ano de fabricação 2006 (Figura 2-36). O equipamento é de uso rotineiro em obras de terraplenagem de rodovias, e na Tabela 2-4 são apresentadas especificações técnicas deste equipamento.



Figura 2-36 Escavadeira Hidráulica CAT 315C-L utilizada nas obras do Talude da Área Z.

Tabela 2-4 Especificações técnicas da escavadeira hidráulica CAT 315C-L.

Especificação	Valor	Unidade
Potência Líquida no Volante	93	kW
Potência Bruta	97	kW
Força na Barra de Tração	202	KN
Profundidade Máxima de Escavação	9.1/6.6	m
Velocidade	5.5	Km/h
Peso Operacional	19.650	kg
Largura de Transporte	3000	mm
*Motor CAT@3066T – ano de fabricação 2006		

2.4.2.3. Volume de Terra Mobilizado

Primeiramente, para os cálculos de volume de terra mobilizado definiu-se um fator de empolamento¹⁹ conforme critérios discutidos em Shimizu (2002) (Tabela 2-5).

¹⁹ Empolamento: expansão volumétrica decorrente da passagem dos materiais (solo ou rocha) do seu estado natural ou intacto ao estado fragmentado ou desagregado. Este aumento varia de 12 a 15%, em areias e cascalhos, para 20 a 25% em argilas, atingindo 34% em calcários e 45% em rochas mais duras e compactas (Redaelli & Cerello, 1998).

Tabela 2-5 Fatores médios de conversão de volumes para diferentes camadas de solos.

Solo	Condição	Convertido em solo		
		Natural	Solta	Compactada
Areia	Natural	1.00	1.11	0.95
	Solta	0.90	1.00	0.86
	Compactada	1.05	1.17	1.00
Argila	Natural	1.00	1.43	0.90
	Solta	0.70	1.00	0.63
	Compactada	1.11	1.59	1.00

Considerando que o solo possui uma granulometria bastante heterogênea (conforme abordado no Capítulo III) foi estipulado para a conversão do volume mobilizado em solo em estado natural um fator de empolamento de 1.10.

Na determinação do volume de terra mobilizado com as obras de conformação do talude foi considerada a seção transversal situada no centro do talude, multiplicada pela extensão do mesmo (60 m), que resultou em uma movimentação de terras aproximada de 5005 m³, sendo necessária a compactação de 5505 m³ de material terroso (contando o empolamento). A Figura 2-37 mostra a topografia do Talude da Área Z, e a Figura 2-38 mostra os MDT's após as obras, bem como os mapas de declives e visões em perspectiva. A Figura 2-39 mostra a Seção Transversal utilizada na construção do talude antes e após das obras, e dados para estimativas de volume de terra mobilizado, assim como uma visão em perspectivas dos dois MDT's para melhor entendimento das mudanças ocorridas na topografia.

As obras iniciaram-se no dia 5 de julho e terminaram (especificamente no talude) dia 17 de setembro de 2007. A partir da estimativa de movimentação de terras de 10.505m³ (somando-se as operações de corte e aterro), o desempenho médio da máquina girou em torno de 206m³ por dia. Tendo o equipamento sido alugado pela Empresa Ponta do Céu Jardinagem e Paisagismo LTDA (executora da obra) a um custo de R\$80.00 hora/máquina (valor informado pela contratante), por 50 dias, têm-se um custo total da operação de R\$32.000,00.

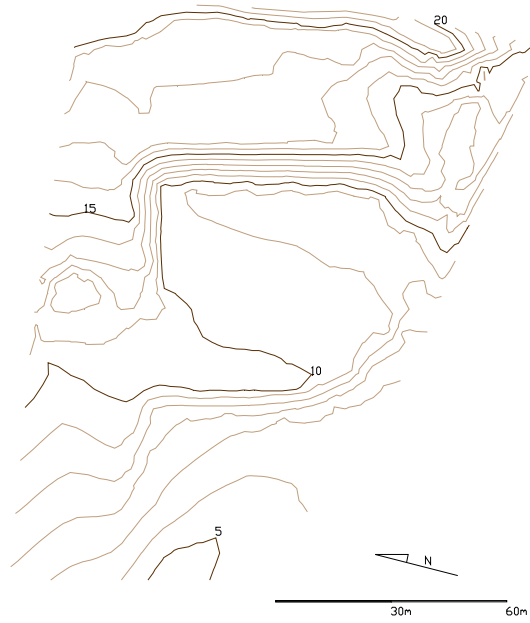


Figura 2-37 Topografia da área de estudos após a conformação do Talude I.

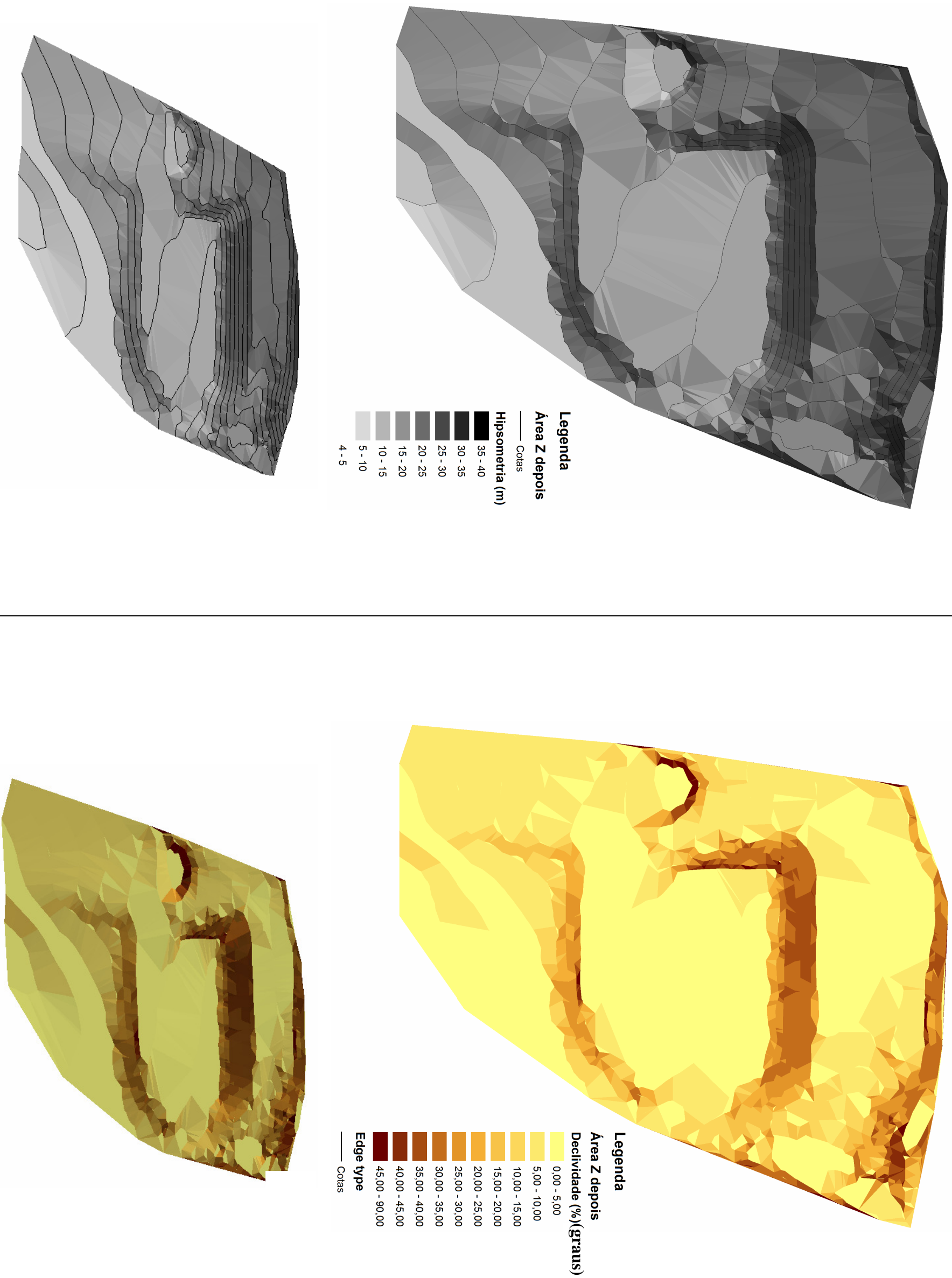


Figura 2-38 Hipsometria e declividade na área de estudos antes e depois das obras.

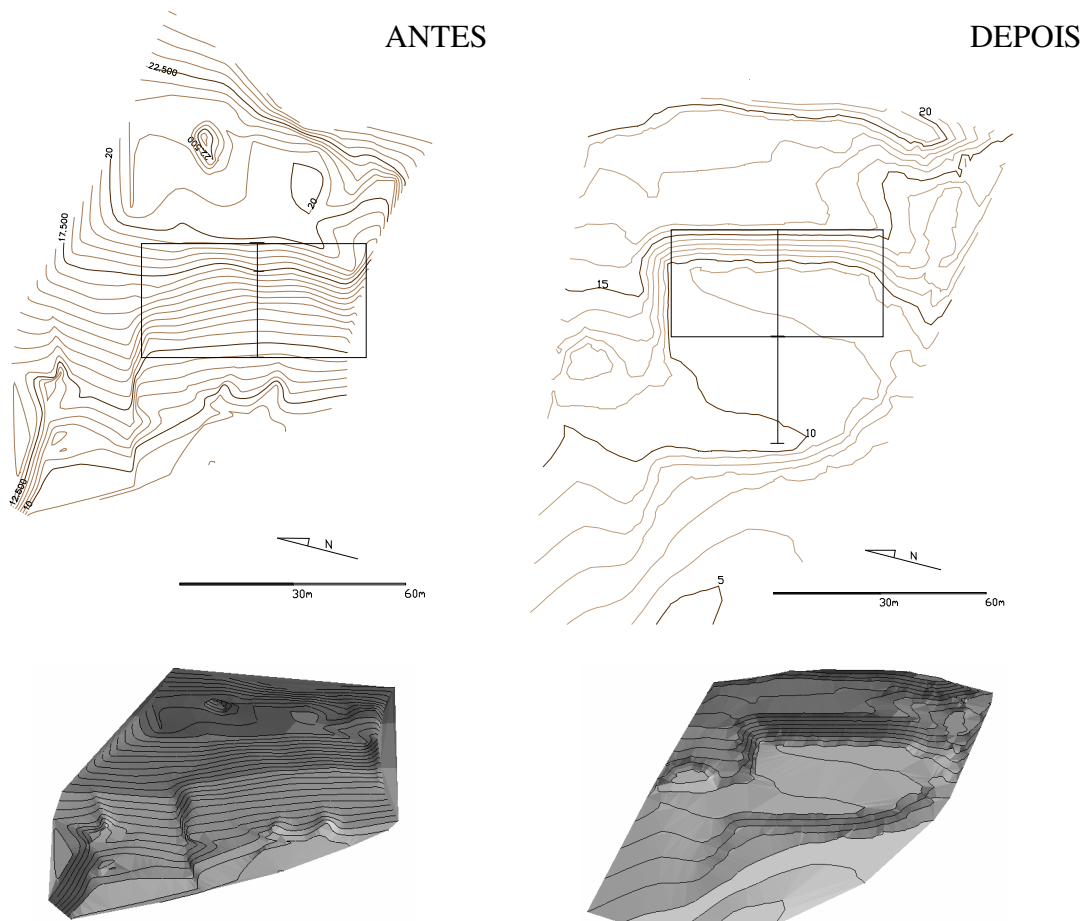
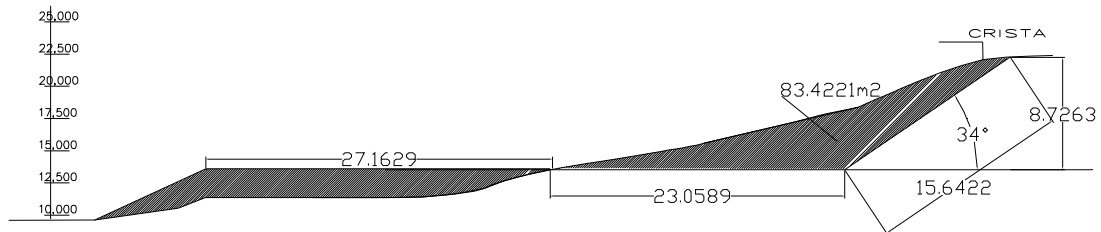


Figura 2-39. Perfil transversal utilizado para a estimativa do volume de terras mobilizado, observando-se o a topografia antes e depois da execução da seção mista. A área sombreada representa a movimentação de terras em termos de corte e aterro.

2.5. Estratégias de Recuperação de Áreas Degradadas

De acordo com a legislação atual (Decreto 97.632/89), a recuperação de uma área degradada é toda atividade cujo objetivo é retorno deste sítio a uma forma de utilização, de acordo com um plano pré-estabelecido para o uso do solo, visando à obtenção de uma estabilidade do meio ambiente.

Estratégias de recuperação de áreas degradadas podem variar desde o simples pousio da área para retorno natural da vegetação, até o uso de complexas técnicas de sucessão que permitirão o retorno da estrutura florística e fitossociológica do ecossistema original no menor espaço de tempo possível. A seleção de determinada metodologia deve levar em conta as características locais, custo e uso após a recuperação (IBRAM, 1992).

Para minimizar problemas de erosão em áreas de empréstimo, o rápido recobrimento do solo é fundamental, principalmente em taludes, onde a água atua intensivamente através do escoamento superficial e do controle da sucção do solo influenciando na erosão e na estabilidade. Em muitos casos só é possível conter os processos erosivos através da conjugação de práticas mecânicas de ordenamento dos fluxos superficiais, como terraceamento, conformação de taludes, construção de paliçadas e valetas, e práticas vegetativas com plantio de espécies rústicas, de crescimento agressivo e adaptadas a solos de baixa fertilidade.

Neste sentido, dentre as práticas mecânicas e edáficas utilizadas no projeto de recuperação de áreas degradadas do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro Galeão/ Tom Jobim, destaca-se a construção de terraços e bacias de captação de água da chuva; a construção de escadas de dissipação para o escoamento de águas pluviais em taludes de grande inclinação, utilizando resíduos de alvenaria descartados; barreiras de contenção de sedimentos em taludes (paliçadas), feitas de pneus, *pallets* ou bambu; aplicação de apra de grama para cobrir o solo exposto e ajudar a conservar a água no solo e melhorar sua disponibilidade para as plantas, aplicação de lodo de esgoto e composto gerado a partir da apra de grama.

Em função do corte no terreno resultante de sua conformação, especialmente nos taludes de corte são expostas faces de rocha sã e solo residual jovem. Os principais desafios nestas situações dizem respeito ao estabelecimento dos sistemas radiculares, devido a problemas de fertilidade química e física: a

estrutura e as propriedades físicas dos solos presentes, aliados a alta declividade, favorecem o aumento do escoamento superficial, e conseqüentemente o arraste de sedimentos, propágulos vegetais e matéria orgânica. Além disso, em função da elevada exposição aos agentes climáticos, variações de temperatura e umidade diárias são extremas, dificultando ainda mais o estabelecimento da vegetação.

Conseqüentemente, a revegetação de taludes de corte geralmente é feita com elevado investimento, muitas vezes à custa de técnicas onerosas, como a hidrosemeadura, que, como vem sendo apontado por estudos recentes, em muitos casos necessita de replantio e manutenção (IBRAM, 1992). De fato, durante muitos anos a principal técnica de recobrimento do solo utilizada consistia na semeadura, a lanço ou através de hidrossemeadura, de gramíneas exóticas com elevada capacidade de cobertura do solo. Tais técnicas vêm sendo contestadas por vários motivos: uns acham que atendem apenas os objetivos de curto prazo e em alguns casos não barrar o processo erosivo, mesmo apresentando-se verde (Barth, 1989); outros acham que atualmente seria mais indicado o uso de espécies leguminosas em virtude da sua possibilidade de fixação do nitrogênio atmosférico, o que contribuiria no processo de sucessão.

O Brasil atualmente encontra-se na vanguarda em pesquisas relacionadas às práticas agrônômicas que minimizem o passivo ambiental de atividades agropecuárias, florestais e de mineração. Um exemplo é o Sistema Plantio Direto, adotado em todo o país, e que já conta com aproximadamente 20 milhões de hectares incorporados ao sistema produtivo de grãos. O sistema diminui a exposição do solo aos processos erosivos através da incorporação dos resíduos culturais sobre o solo, mantendo-se o C no mesmo, com aumento do potencial produtivo das áreas devido ao aumento da fertilidade do solo (Machado, 2005). Além disso, o país se mantém como o maior produtor de soja do mundo devido à fixação biológica de N_2 , como fonte de N à oleaginosa.

Em relação às tecnologias de recuperação de áreas degradadas a Embrapa se destaca desde a década de 60 por seu programa de seleção de estirpes de bactérias diazotróficas com elevada eficiência pra fixação biológica de N_2 (Dobereiner, 1967; Campelo & Dobereiner, 1969; Faria *et al.*, 1989) com leguminosas rústicas e compatíveis com as mais adversas situações de revegetação, como voçorocas, rejeitos da mineração de ouro e de bauxita, subsolo exposto, pilhas de escória de siderurgia, dentre outros (Dias *et al.*, 1994; Franco &

Faria, 1997; Andrade *et al.*, 2004; Macedo, 2004; Bezerra *et al.*, 2006). Algumas pesquisas demonstram ainda que a introdução dessas plantas em solos tropicais pode aumentar o potencial de estocagem de C, em comparação com sistemas que não incorporam espécies vegetais fixadoras de N₂ (Resh, 2002; Balieiro *et al.*, 2004, Resende *et al.*, 2006), o que representa uma adicionalidade a linha de base de projetos que busquem a aprovação no mercado de C (Pearson *et al.*, 2005).

2.5.1. Seleção de Espécies para Revegetação de Taludes

A mitigação de processos erosivos, a estabilização dos solos e uma visão esteticamente aceitável são os objetivos da revegetação de taludes tanto em estradas quanto em unidades aeroportuárias. A escolha de espécies por isso é uma tarefa difícil, e cada situação possui limitações próprias, sendo que trabalhos de recentes de RAD citam algumas gramíneas e leguminosas como possuidoras de características ideais para a revegetação inicial e na estabilização de solos degradados (Schoenholz *et al.*, 1987; Reichman Neto, 1992).

Ao se programar um plano de revegetação é importante observar as características de crescimento apresentadas pelas espécies, tais como: tempo de germinação, produção de raízes, produção de material vegetal (biomassa), velocidade de recobrimento do solo, área foliar e relação raiz/parte aérea.

Uma espécie pode apresentar germinação e crescimento inicial rápidos, resultante do alongamento dos caules associados à elevação do meristema apical ou à maior capacidade de perfilhamento. Entretanto, estas variações de comportamento relativas à velocidade de crescimento inicial não implicam necessariamente em menor produção (Fonseca, 1995).

Estes fatores devem ser levados em conta no planejamento de revegetação de taludes de corte, em que a escolha das espécies deve ser o somatório de um conjunto de variáveis, como tolerância a seca, facilidade de propagação, arquitetura radicular etc.

2.5.1.1. Gramíneas

A família Gramineae (Poaceae), compreende cerca de 650 gêneros e 10 mil espécies distribuídas por todo o mundo. É a quinta família botânica em número de espécies e a maior em número de indivíduos. Considerando os vegetais utilizados

para a alimentação humana, a maioria é da família Gramineae, tais como arroz, trigo, milho, aveia, sorgo, bambu entre muitas outras. Além de alimentarem o homem, as gramíneas constituem a base das pastagens. Como plantas pioneiras, as gramíneas têm importância fundamental do ponto de vista ecológico, ajudando na recuperação, na proteção e na revitalização do solo (Pereira, 2006).

As gramíneas apresentam características que as destacam como um grupo evoluído e diversificado de plantas. Possuem desempenho fotossintético eficiente em diversas condições, são eficientes na produção e dispersão de diásporos, possuem sistema radicular fasciculado, além de produzir estolões²⁰ e/ou rizomas²¹. O conjunto destes atributos faz com que as gramíneas sejam apropriadas para projetos de RAD, atuando como pioneiras na sucessão ecológica. Se por um lado isso possibilita vantagem na ocupação de áreas em seu habitat original, de outro pode incrementar o grau de invasibilidade de uma espécie em outro ambiente.

Gramíneas têm sido indicadas ainda como eficazes na agregação dos solos, pela ação direta de suas raízes, cujo volume normalmente é maior do que o da parte aérea (Einloft, 1996). Por ser fasciculado²² e abundante, o sistema radicular das gramíneas também atua como uma rede, retendo os agregados estruturais dos solos até profundidades em torno de 1 metro (exceto para o Vetiver, que possui profundidades radiculares de até 3 metros). Além disso, em virtude de sua elevada relação C/N, as raízes de gramíneas são decompostas lentamente e, portanto, atuam como importantes agentes estabilizadores dos macroagregados, contribuindo para a melhoria das condições estruturais do solo (Silva, 1993a, 1993b).

Em trabalhos de recuperação, dentre as gramíneas, o capim-braquiária tem sido bastante difundido, além do capim-agulha, capim-búfalo, capim centenário e

²⁰ Rizomas – tipo de caules especiais que ocorre abaixo da superfície do solo, diferente das raízes por possuir nós e folhas não desenvolvidas, que se apresentam como pequenas escamas (Pereira, 2006).

²¹ Estolões – tipos de estruturas semelhantes aos rizomas que crescem na superfície do solo (*op. cit*, 2006).

²² Fasciculado – aquele onde a raiz primária não é bem desenvolvida, possuindo por sua vez normalmente raízes secundárias ramificadas e numerosas. Metodologias para análise de sistemas radiculares de plantas são discutidas no Capítulo IV, no subitem 4.7 – Caracterização da vegetação.

a aveia preta (Fonseca, 1987, Pereira, 2006). Mais recentemente tem merecido destaque o capim Vetiver, muito aplicado em cordões ou como barreiras vegetais para o ordenamento de fluxos superficiais e solução de problemas de erosão em taludes, áreas de empréstimo, minas etc., principalmente devido à capacidade de utilização de fertilhos aproveitados de áreas já revegetadas (Figura 2-40).

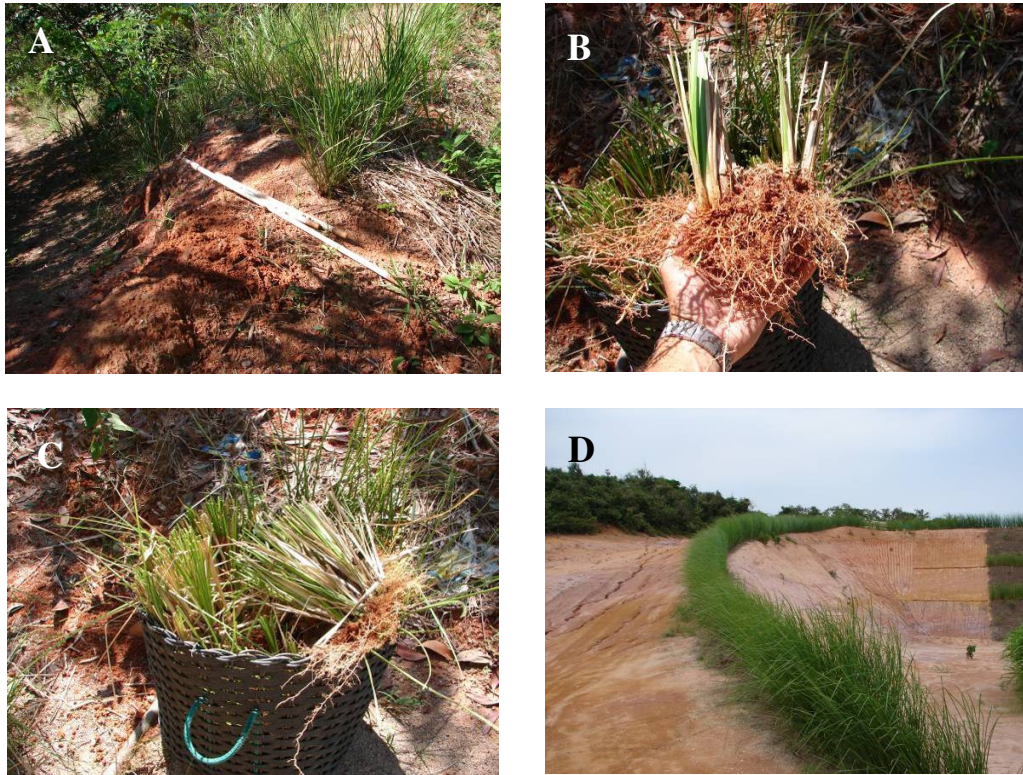


Figura 2-40 A - Retirada de Capim Vetiver dos terraços no Morro do Radar para reaproveitamento na Área Z. B – separação de dois perfilhos. C - cestos para transporte dos perfilhos. D – Resultado do plantio dos perfilhos retirados do Morro do Radar.

A Tabela 2-6 sintetiza as principais características de algumas espécies de gramíneas utilizadas em projetos de bioengenharia, recomendadas em Pereira (2006). Na área de estudos foi dada preferência à utilização de espécies leguminosas, de modo que as gramíneas foram implantadas somente através das técnicas de bioengenharia de solos testadas nos dois taludes principais, conforme descrito no subitem 2.7.

Deste modo, um maior detalhamento das espécies gramíneas utilizadas durante a revegetação dos taludes principais encontra-se no subitem 2.7, no tópico 2.7.4 – Divisão do Talude e Tratamentos Testados.

Tabela 2-6 Gramíneas utilizadas para recuperação de áreas degradadas e controle de erosão (adaptado de Pereira, 2006).

Espécie	Porte	Altitude Máx (m)	Temp (°C)	Chuvas (mm)	Solos	Propagação
<i>Avena strigosa</i> (aveia preta)	Herbáceo	600 a 1700	05 a 20	700 a 1300	Fértil, drenado e seco, tolerância à geadas.	Sementes
<i>Brachiaria brizantha</i> (brachiarão)	Herbáceo	500 a 1400	20 a 35	900 a 1200	Férteis, ligeiramente ácidos, tolerância à secas.	Sementes
<i>Brachiaria decubens</i>	Herbáceo	400 a 1500	15 a 30	800 a 1200	Pobres e ácidos, tolerância à secas.	Sementes
<i>Brachiaria humidicola</i> (capim agulha)	Herbáceo	300 a 6600	15 a 35	700 a 2000	Fertilidade mediana, ácidos, tolerância à secas.	Sementes e estacas.
<i>Brachiaria ruziziensis</i> (brachiaria peluda)	Herbáceo	400 a 1600	20 a 35	900 a 1200	Fertilidade mediana, ácidos, tolerância à secas.	Sementes e estacas.
<i>Chloris gayana</i> (capim de rodes)	Herbáceo	500 a 1400	10 a 35	900 a 1200	Drenados, tolerância a pragas e acidez elevada.	Sementes
<i>Digitaria decubens</i>	Herbáceo	0 a 800	8 a 35	700 a 1200	Fertilidade mediana e drenados, tolerância à secas, fogo e pragas.	Sementes
<i>Hyparrhenia rufa</i> (capim jaraguá)	Herbáceo	0 a 2000	20 a 30	800 a 3000	Fertilidade alta e drenados, tolerância à secas, fogo e pragas.	Sementes
<i>Melinis minutiflora</i> (capim gordura, capim meloso, capim catingueiro)	Herbáceo	400 a 2500	15 a 35	800 a 4000	Baixa fertilidade.	Sementes
<i>Melinis repens</i> (capim favorito)	Herbáceo	190 a 1800	15 a 35	300 a 1500	Fertilidade mediana e drenados, tolerância a pragas.	Sementes
<i>Panicum maximum</i> (capim sentenário)	Herbáceo	500 a 1500	15 a 35	500 a 1500	Fertilidade mediana, tolerância à secas.	Sementes
<i>Paspalum notatum</i> (grama batatais)	Herbáceo	200 a 1500	15 a 30	600 a 1200	Fertilidade mediana, ácidos, tolerância à geadas.	Sementes e mudas
<i>Paspalum sauriae</i> (pensacola)	Herbáceo	100 a 1500	15 a 30	700 a 1200	Fertilidade mediana e drenados, tolerância à secas e pragas.	Sementes
<i>Pennisetum americanum</i> (milheto)	Herbáceo	200 a 1400	20 a 25	600 a 1200	Ácidos, Drenados, úmidos, secos, tolerância a pragas.	Sementes
<i>Pennisetum purpureum</i> (capim elefante)	Herbáceo	300 a 2300	18 a 27	1000 a 3000	Fertilidade mediana, solos úmidos a secos.	Sementes e estacas
<i>Pennisetum clandestinum</i> (capim quícuio)	Rasteiro	0 a 3300	10 a 30	800 a 2000	Fertilidade mediana e drenados, tolerância a secas e fogo.	Sementes e estacas
<i>Sorghum bicolor</i> (sorgo forrageiro)	Herbáceo	2200 a 3000	10 a 20	1500 a 4000	Fertilidade mediana, solos úmidos.	Sementes
<i>Setaria sphacelata</i> (capim setária)	Herbáceo	0 a 3000	15 a 35	800 a 2500	Tolerância à secas e geadas, umidade excessiva.	Sementes
<i>Vetiveria zizanioides</i> (capim vetiver)	Herbáceo	0 a 1500	09-35	500 a 1500	Baixa fertilidade, quaisquer condições de drenagem, tolerância à secas, pragas, acidez, geadas, fogo, alagamento.	Mudas

2.5.1.2. Leguminosas

Segundo o APG, que é o mais moderno sistema de classificação, as Leguminosas, que antigamente constituíam a família Leguminosae, são chamadas de Fabaceae (Ordem Fabales) que é subdividida em subfamílias: Caesalpinioideae, Faboideae e Mimosoideae. Existem muitos tipos de leguminosas tropicais, havendo muitas espécies desconhecidas e 13 mil catalogadas que atendem a diversos propósitos, como a produção de grãos, frutos, forragem, carvão, celulose, madeira, adubação verde²³, arborização (Siqueira e Franco, 1998).

As leguminosas são recomendadas como eficientes restauradoras e da fertilidade dos solos, em razão da grande penetração radicular e produção e deposição de fitomassa. Através de melhorias nas propriedades físicas dos solos, a implantação das leguminosas aumenta a infiltração reduzindo o escoamento superficial. Em algumas pesquisas as leguminosas têm sido testadas até como um método biológico de penetração e rompimento de camadas compactadas (Einloft, 1996).

Um aspecto importante diz respeito ao fato de que Espécies leguminosas capazes de formarem simbiose com organismos diazotróficos fixadores de N₂ atmosférico e com fungos micorrízicos funcionam como colonizadoras primárias incorporando C e N com matéria orgânica com baixa relação C/N ao substrato, favorecendo o retorno da vida ao solo e intensificando a ciclagem de nutrientes.

Através do uso de ferramentas modernas de biotecnologia, a Embrapa desenvolveu um modelo para revegetação de áreas degradadas em ambientes tropicais (Franco *et al.*, 1992), envolvendo desde a identificação de espécies vegetais rústicas, capazes de se associarem a microrganismos, o isolamento e a multiplicação das bactérias diazotróficas e dos fungos micorrízicos, a produção de mudas noduladas e micorrizadas, até o plantio com adubação conforme análise do substrato e validação em diferentes ecossistemas degradados.

²³ Na agricultura é prática comum fazer a rotação de uma planta cultivada não leguminosa, como o milho, com uma leguminosa, como a alfafa, sendo que quando as leguminosas são colhidas, suas raízes ricas em nitrogênio permanecem nos solos enriquecendo-os (Pereira, 2006).

Dentro desta vertente, através da fixação biológica do nitrogênio (N_2) ocorrida nas bactérias diazotróficas, as plantas introduzidas em campo, mediante um processo de simbiose, tornam-se auto-suficientes neste elemento e, com a colonização dos fungos micorrízicos, suas raízes aumentam a área de contato com o solo, promovendo uma maior absorção de água e nutrientes (P, K, N, Ca, e Mg), principalmente o fósforo, facilitando o estabelecimento da vegetação e aumentando a produção de matéria seca da parte aérea e área foliar (detalhes na Figura 2-41). Outro fator importante observado quando as mudas estão micorrizadas é o aumento da taxa de sobrevivência no campo e a tolerância ao estresse hídrico do solo a que muitas vezes são submetidas.

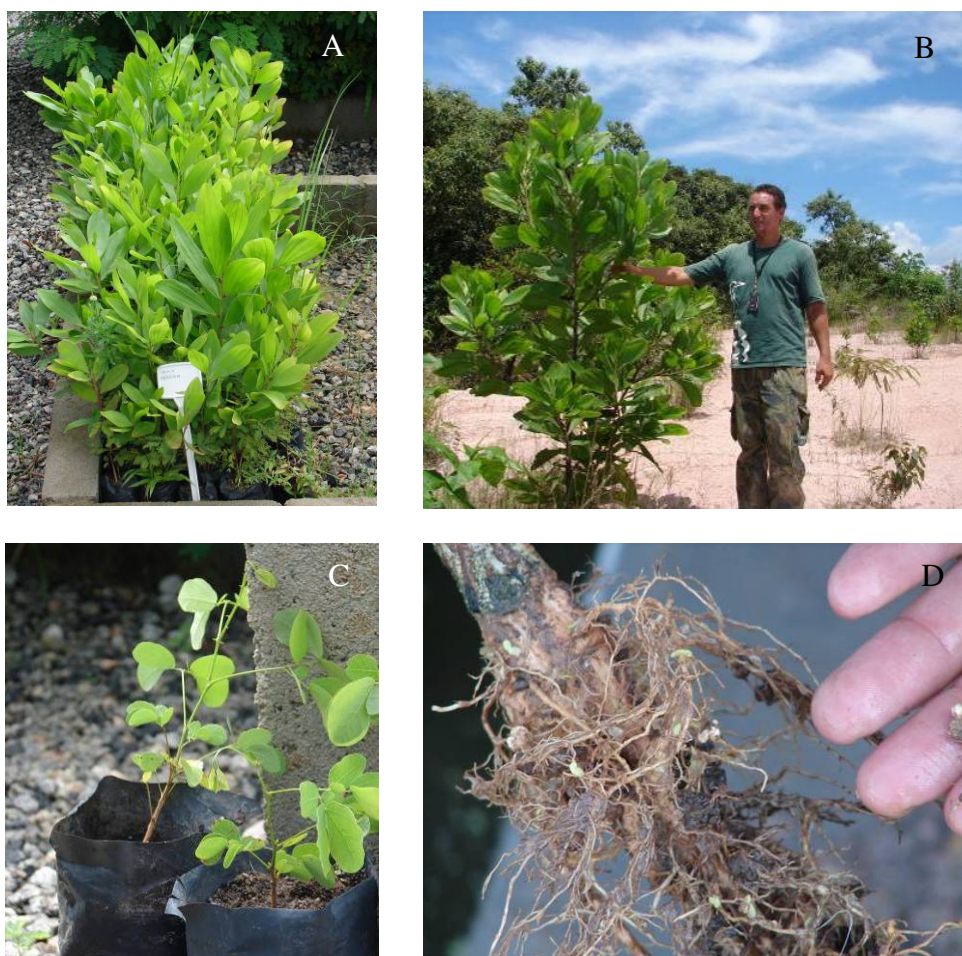


Figura 2-41. A - Mudanças noduladas e micorrizadas de *Acacia mangium*, utilizadas no projeto de revegetação da Área Z, no viveiro em processo de rustificação. B – *Acácia mangium* em campo após 12 meses de plantio. C – muda noduladas e micorrizadas de *Mimosa caesalpiniaefolia*. D – nódulos presentes no sistema radicular de *Mimosa caesalpiniaefolia* indicando a eficiência dos processos de inoculação da semente.

Franco e Faria (1997) apresentam uma relação das estirpes de rizóbio mais eficientes recomendadas para várias espécies arbóreas. Dentre algumas com elevado potencial para recuperação de áreas degradadas e em sistemas produtivos, os autores citam a *Acácia mangium*, *A. auriculiformis*, *A. holoserisea*, *Mimosa ceasalpiniaefolia*, entre outras. Devido à grande capacidade de produção de fitomassa, estas plantas normalmente cobrem o substrato superficial rapidamente, melhoram a capacidade de infiltração de água, através da malha radicular, e adicionam matéria orgânica, contribuindo para o estabelecimento de condições essenciais para o estabelecimento de vegetação em taludes de corte.

Franco *et al* (1992), em comunicado técnico sobre a revegetação de solos degradados com utilização de espécies nativas e exóticas, sugeriram árvores fixadoras de N₂ com potencial para uso em recuperação de solos degradados, estabelecendo os principais aspectos silviculturais e de adaptação ambiental destas espécies (Tabela 2-7), que posteriormente foram bastante recomendadas e plantadas em projetos de RAD no sudeste do Brasil.

Tabela 2-7 Árvores fixadoras de N₂ com potencial para uso em RAD, aspectos silviculturais e de adaptação ambiental (de Franco *et al*, 1992).

Espécie	Porte Máx (m)	Altitude Máx (m)	Temp (°C)	Chuvas (mm)	Solos	Usos
<i>Acacia auriculiformis</i>	20	600	25-30	1000-1800	Ácidos (até pH 3.0), lateríticos, areias quartzosas.	Lenha, sombra, ornamental e tanino.
<i>Acacia longifolia</i>	8	700	20-25	1000-1800	Solo arenoso, dunas, áreas de terraplenagem.	Lenha e melífera
<i>Acacia mangium</i>	30	700	20-35	1000-4500	Ácidos (até pH 4.5), solos rasos.	Lenha, celulose e construção civil.
<i>Acacia mearnsii</i> (acacia negra)	10	1100	10-25	500-1000	Neutros e ligeiramente ácidos.	Tanino e adubação verde.
<i>Albizia Guachapelle</i>	20	800	25-30	1000-2000	Ácidos.	Lenha e ornamental.
<i>Albizia lebbek</i>	25	1600	20-35	500-2000	Neutros e ácidos.	Lenha, forragem e adubação verde.
<i>Albizia saman</i>	30	800	20-30	800-2000	Ácidos.	Sombra, lenha e ornamental.
<i>Calliandra calothyrsus</i>	10	1500	20-30	1000-2000	Ácidos.	Cerca viva, lenha e ornamental.
<i>Clitoria fairchidiana</i> (sobreiro)	20	700	25-35	1000-2000	Ácidos e áreas com problemas de drenagem.	Lenha e sombra.
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	40	800	20-35	800-1600	Ligeiramente ácidos.	Lenha, cerca viva e postes.
<i>Enterolobium contortisiliquum</i> (orelha de negro)	30	800	20-30	1000-1800	Ácidos e argilosos	Lenha, cerca viva e postes.
<i>Gliricidia sepium</i>	10	500	22-30	1500-2300	Sem problemas de drenagem e ligeiramente ácidos	Forragem, moirão vivo e lenha.
<i>Ingá marginata</i>	15	500	15-25	1200-1800	Com problemas de drenagem.	Frutos e melífera.
<i>Leucaena leucocephala</i>	5/20	800	20-35	600-1700	Neutros.	Forragem, lenha e adubo verde.
<i>Mimosa bimucronata</i> (maricá)	10	800	20-30	1000-2000	Ácidos ou com problemas de drenagem.	Lenha.
<i>Mimosa Caesalpiniaefolia</i> (sabiá)	10	800	25-35	500-1800	Ácidos.	Moirões, lenha e forragem.
<i>Mimosa flocculosa</i> (bracatinga-de-campo Mourão)	7	1000	15-25	1000-2000	Ligeiramente ácidos.	Lenha.
<i>Mimosa scabrella</i> (bracatinga)	12	1600	15-25	1200-2500	Ácidos.	Lenha e melífera.
<i>Mimosa tenuiflora</i>	5	1200	20-30	800-1800	Neutros e ligeiramente ácidos.	Lenha e cerca viva.
<i>Paraserianthes falcataria</i>	40	1000	25-35	1000-4500	Ácidos.	Lenha, tanino e celulose.
<i>Pitadenia gonoacantha</i> (pau-jacaré)	20	1000	20-30	1000-2000	Ácidos.	Lenha.
<i>Prosopis juliflora</i> (algaroba)	8	1500	25-35	150-750	Arenosos e salinos.	Lenha, sobra e forragem.
<i>Sesbania grandiflora</i>	10	800	20-30	1000-2000	Ácidos ou com problemas de drenagem.	Lenha, forragem e tanino.

2.5.2. Ações de RAD na Área Z

Para o desenvolvimento de ações de RAD e ordenamento dos fluxos superficiais no entorno do talude da Área Z, foi efetuado um programa de RAD, sob supervisão técnica da Embrapa Solos, que se sucedeu de junho de 2007 a março de 2008.

A execução das obras obedeceu aos critérios estabelecidos no Caderno de Especificações Técnicas da Embrapa Solos para Projetos de RAD (Embrapa, 2003), onde são detalhados critérios técnicos, procedimentos, etapas operacionais, equipamentos, materiais e insumos para a implantação de práticas mecânicas, edáficas e vegetativas recomendadas para a conservação do solo e recuperação de áreas degradadas.

2.5.2.1. Dimensionamento

A determinação da extensão e demarcação da área a ser recuperada foi efetuada utilizando-se trena e, em alguns locais, técnicas de topografia. Foi definida uma área de intervenção envolvendo toda a área de contribuição de fluxos superficiais acima do talude principal, indicando inclusive a necessidade de execução de outro talude em um ponto acima, conforme apontado no diagnóstico (Capítulo 2.3).

Além disso, observou-se a necessidade de recuperar a voçoroca à SSE do Talude devido à excessiva proximidade da área de escopo (60 m x 30 m). Somando-se esta área aos demais locais onde foram realizadas intervenções com a construção de terraços e bacias de sedimentação totalizaram uma área de intervenção de em torno de três hectares.

2.5.2.2. Práticas Mecânicas Implantadas

Nesta etapa primeiramente procedeu-se à definição de ângulos de corte dos taludes a serem conformados. De acordo com as Especificações Técnicas da Embrapa Solos, este não deve exceder a inclinação 1:1 para viabilizar o crescimento das leguminosas arbóreas.

No local optou-se pela inclinação de 1:1.5 nos taludes principais (inclinações diferentes foram usadas somente no reverso do talude, nos taludes T3

e T4, em seções estreitas e desníveis menos significativos) padronizando este parâmetro com base no talude principal para análises comparativas.

Tendo sido conformados os taludes de corte principais (o processo de conformação do talude principal foi descrito no Subitem 2.4) foram demarcados os locais a serem sistematizados para a eliminação dos sulcos e voçorocas, bem como dos caminhos de acesso e circulação. Após a demarcação dos locais foi efetuada a sistematização através da construção dos terraços e bacias de sedimentação.

2.5.2.2.1. Terraceamento

O Terraceamento é um dos métodos de conservação do solo mais antigos e também um dos mais utilizados para redução da velocidade da água das chuvas que escorrem sobre o terreno. Trata-se de é um método mecânico que visa formar obstáculos físicos e parcelar o comprimento de rampa possibilitando, assim, a redução da velocidade e subdividindo o volume do deflúvio superficial, possibilitando sua infiltração no solo (Capeche *et al*, 2006).

O terraceamento é normalmente indicado para terrenos com declives entre 6 a 12%, podendo ser usado também com sucesso em declives maiores, como em taludes e encostas íngremes. É importante ressaltar que esta prática deve, obrigatoriamente, estar associada a outras práticas conservacionistas, como: plantio em curva de nível, plantio em faixas de retenção, rotação de culturas, cordões vegetados, alternância de capinas, manutenção da cobertura morta, etc.

De acordo com a literatura técnica, recomenda-se que os terraços sigam os seguintes padrões e acordo com a topografia local (*op cit*, 2006):

- Até 12% é indicado o uso do terraço de base larga mesmo em área que futuramente sejam transformadas em pastagens, construído com lâmina terraceadora.
- De 12 a 15% é indicado o uso do terraço do tipo base estreita construído com o arado terraceador de discos, ou com lâmina terraceadora.
- Acima de 15% recomenda-se o uso de terraços com faixa viva.

As características físicas do solo, a declividade e a intensidade da precipitação determinam se o terraço será de infiltração (em nível) ou com gradiente (em desnível). Para o sistema funcione é necessário o correto

dimensionamento, tanto no que diz respeito ao espaçamento entre terraços, como a sua seção transversal.

O espaçamento entre terraços é calculado em função da capacidade de infiltração de água, erodibilidade do solo, uso e manejo do solo, enquanto a seção transversal deve ser dimensionada em função do volume de água possível de ser escoada pela superfície do terreno situada imediatamente acima do terraço. No caso dos terraços construídos na Área Z, estes foram alocados em desnível suave de 0.1%, distribuídos em espaçamento que evitasse enxurrada expressiva entre os mesmos. Foram construídos cinco terraços (a, b, c, d, e), com dimensões variando de acordo com a área de captação, onde quanto maior este último parâmetro, maior a largura e altura da estrutura. Ao final de cada terraço foram instaladas bacias de sedimentação.

Ressalta-se que a grande quantidade de terraços para esta área de ordenamento (da ordem de 2.8 ha) se deu em função dos valores de permeabilidade e capacidade de infiltração dos solos serem muito baixos (em torno de 10^{-5} a 10^{-7} cm/s), o que representa uma infiltração quase nula durante um evento curto de chuva. Isto também foi levado em consideração no dimensionamento das bacias de sedimentação e retenção de enxurradas.

2.5.2.2.2. Bacias de Sedimentação

A bacia de sedimentação (siltagem) consiste num dispositivo que tem a finalidade de reter materiais finos do solo, que possam ser carregados para a drenagem da rodovia, talvegues, mananciais, propriedades lindeiras e para a pista de rolamento existente (DNIT, 2006). Normalmente as bacias possuem 1 metro de profundidade, porém, devido à baixa permeabilidade do solo residual jovem, para estimar o volume de acumulação mínimo para cada bacia foi utilizada a seguinte formulação, proposta por DNIT (2006):

$$V \text{ (m}^3\text{)} = 0.4 * A \text{ (m}^2\text{)} * h \text{ (m)} \quad \text{[Equação 2-2]}$$

Onde:

V = Volume mínimo de sedimentação da bacia (m³);

A = Área de Contribuição (m²);

h = altura máxima de acumulação (m).

Normalmente, os valores de altura das bacias não devem ultrapassar 1 m, porém, a partir desta formulação, levando em conta a baixa permeabilidade, tendo como base uma área de captação de aproximadamente 250m² por bacia, foram construídas quatro bacias de sedimentação (I, II, III, IV), com uma capacidade de em torno de 250m³ e altura de 1.5 m (especificações na Tabela 9), além de uma secundária entre a II e a III (denominada II*).

A plataforma de topo deverá ter um mínimo de 1,0 m de largura e os taludes inclinação 1:2, ou mais abatidos, dependendo do material de construção (DNIT, 2006), portanto foram utilizados taludes 1:2 e plataformas (saias) com em torno de 3 m. O dimensionamento foi feito levando em conta a perda do volume útil das estruturas com operações de coveamento e até o estabelecimento da vegetação. Nesta etapa foram ainda ajustadas algumas paredes íngremes que estavam desmoronando para suavização do declive, utilizando-se uma retroescavadeira do modelo *CASE 580L Séries3*, e para parte do aterro e do processo de desobstrução dos sulcos foi utilizado um trator de esteiras do modelo *New Holland D130*. Desta forma, detalhes das máquinas utilizadas nesta fase encontram-se sumarizados na Tabela 2-8.

Tabela 2-8 Especificações técnicas dos implementos utilizados durante as obras de execução das práticas mecânicas na Área Z.

Especificação	Unidade	CAT 315C L	CASE 580 L	New Holland D130
Potência Bruta	kW	97	54	89.5
Profundidade Máxima de Escavação	m	9.1/6.6	4.36	0.435
Velocidade	Km/h	5.5		3.3 – 11.5
Peso Operacional	kg	19.650	6370	13.300
Largura de Transporte	mm	3000	2310	2806:3515

2.5.3. Resultados das Práticas Mecânicas

Visando organizar e espacializar o conjunto de obras efetuadas na etapa das práticas mecânicas na Área Z, foi gerado um croqui e também a Tabela 2-9 com detalhes e localização de cada uma das feições. Posteriormente, nas Figura 2-43, Figura 2-44, Figura 2-45, são mostrados detalhes dos terraços, e nas Figura 2-46 Figura 2-47 Figura 2-48 Figura 2-49 a construção das bacias. Detalhes das máquinas listadas na Tabela 4, utilizadas nos trabalhos de RAD na Área Z, encontram-se nas Figura 2-50 e Figura 2-51.

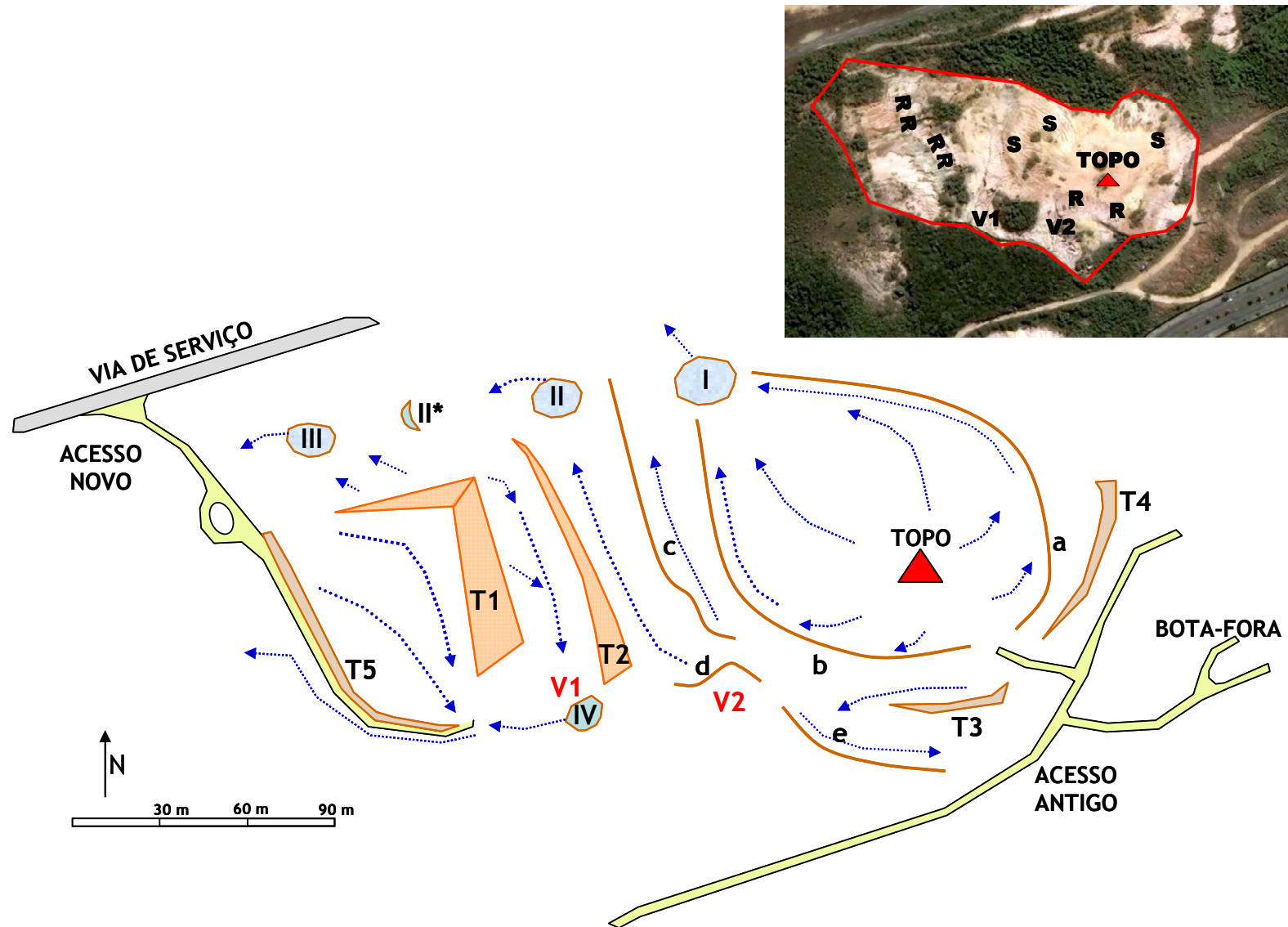


Figura 2-42 Croqui das práticas mecânicas implantadas (em vermelho Voçorocas V.1 e V.2; letras R e S na imagem no canto: ravinas e sulcos).

Tabela 2-9 Dimensões dos taludes de corte e aterro, terraços e bacias de sedimentação implantados na Área Z.

Taludes de Corte	Inclinação	Comp. Rampa (m)	Extensão (m)			
T1	1:1.5	15	60			
T2	1:1.5	3-10	90			
T3	1:1	3	30			
T4	1:1	2-4	50			
Talude de Aterro	Inclinação	Comp. Rampa (m)	Extensão (m)			
T5	1:1.5	1-5	80			
Terraços	Comp. (m)	Altura (m)	Largura (m)			
a	110	0.8	3.5			
b	74	0.8	3			
c	71	0.8	3			
d	50	1.0	3.5			
e	65	0.8	2.5			
Bacias de Sedimentação	Φ Base (m)	Φ Crista (m)	Altura (m)	Vol. (m ³)	Ladrão	
I	10	18	2	308	Altura (m)	Largura (m)
II	10	16	2.4	320	1.2	0.8
III	8	10	2	128	1.3	0.8
IV	6	8	2	77	1.2	0.8
B. Complementar	Largura (m)	Comp. (m)	Altura do Ladrão (m)			
II*	1.2	6	0.5			

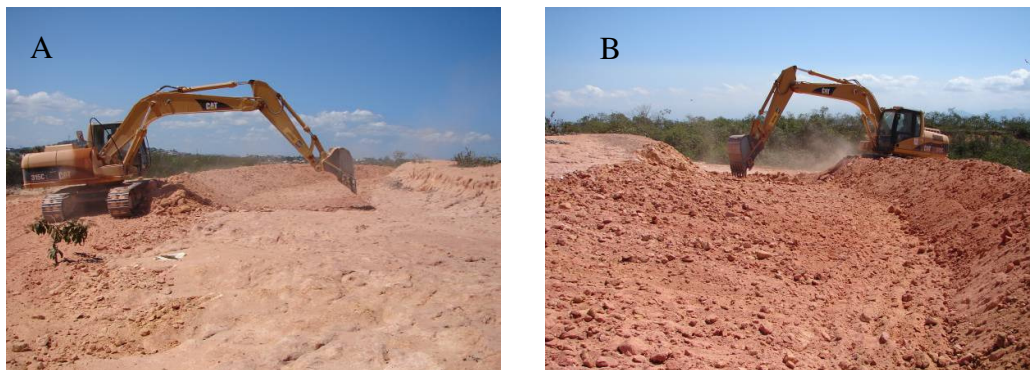


Figura 2-43 Processo de construção do Terraço a: A – vista para montante (leste); B – vista para jusante (oeste).



Figura 2-44 Processo de construção do Terraço b. A – Primeiro trecho, próximo ao testemunho. B – curvatura para norte rumo à Bacia I. C – Terraço b logo após sua construção, ainda sem vegetação e cobertura morta.

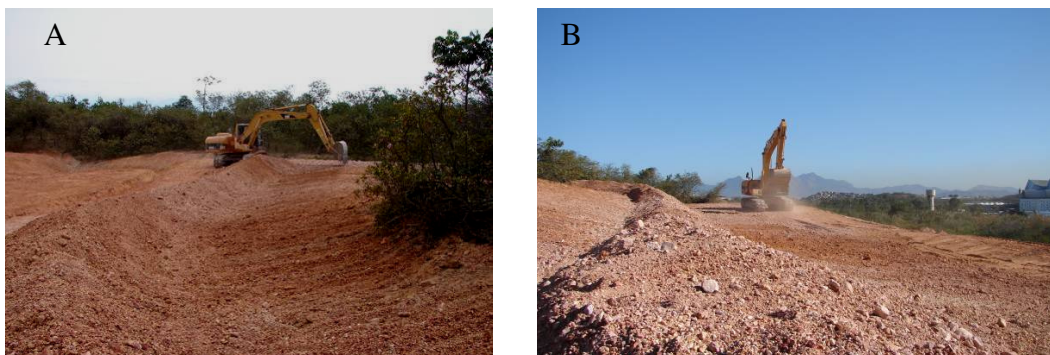


Figura 2-45 Processo de construção do Terraço c: A – vista para jusante (direção NNO), rumo à Bacia II; B - vista para montante (direção SSE), estando este terraço alinhado com a direção dos Taludes I e II.



Figura 2-46 A - Bacia I: durante no dia do término da construção, podendo-se observar a profundidade de 1.2 m, bem como sua saia com 3 m de largura (B-C). D – Bacia I após o primeiro período chuvoso (29-10-07).

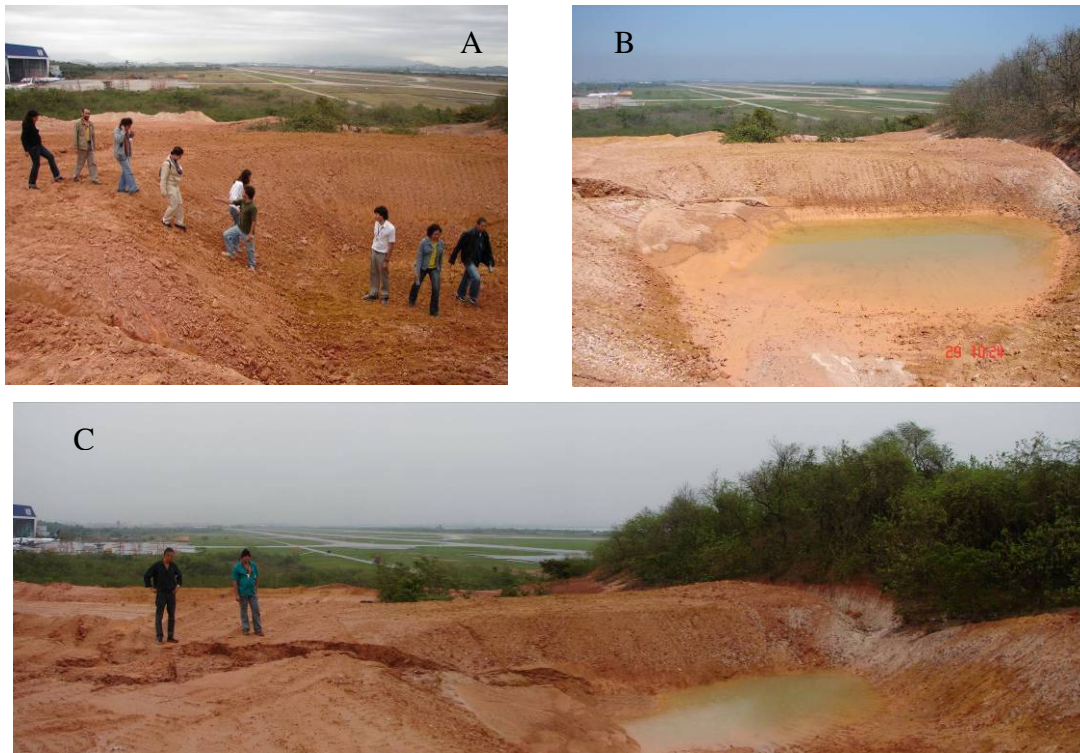


Figura 2-47 Bacia II: (A) após a conformação, (b) depois das primeiras chuvas (06-11-07), sulco à esquerda devido à falta de recobrimento vegetal (B-C). Para solução deste problema foi aplicada apra de grama.



Figura 2-48. (A) construção da Bacia II*. (B) altura de em torno de 0.8 m. (C) água escoando pelo ladrão (C) (13-11-07). (D) sedimentação após as primeiras chuvas (40 mm em 24hs).



Figura 2-49 Bacia III: (A) logo após seu término; (B) durante o processo de construção; (C) depois das primeiras chuvas (29-10-07).



Figura 2-50 Implementos utilizados nos processos de RAD na área Z. A, B, C, D, E – Case 580L. F,G,H – New Holland D130.



Figura 2-51 Outras máquinas utilizados na Área, incluindo caminhão com caçamba móvel (A, B, C), caminhão muque (D) e com caçamba fixa (E, F), utilizado no transporte de resíduos de poda no aeroporto.

2.5.3.1. Práticas Edáficas e Vegetativas

O primeiro passo na definição das práticas edáficas e vegetativas foi selecionar as espécies vegetais a serem implantadas. Neste caso as espécies foram selecionadas de acordo com a experiência acumulada em relação à revegetação destes camadas de solos, objetos de pesquisas da Embrapa Solos e Embrapa Agrobiologia em diversos tipos de situações, como cavas, áreas de empréstimo degradadas, rodovias, ferrovias e aeroportos.

2.5.3.1.1. Aquisição de Mudas

No processo de seleção de espécies para o programa de revegetação foram priorizadas espécies arbustivas e arbóreas rústicas, inoculadas com bactérias Rizóbio hifas de fungos micorrízicos (lista das mudas adquiridas na Tabela 2-10). Para a contenção da enxurrada, na crista dos cordões e taludes, foram implantados cordões de capim vetiver (*Vetiveria zizaniodes*). Especificamente no talude principal foi utilizado um outro conjunto de espécies, comentado em maior detalhe no subitem 2.7, no tópico 2.7.4 Divisão do Talude e Tratamentos Testados.

Tabela 2-10 Lista de mudas utilizadas na revegetação da Área Z (fornecidas pelo Viveiro Ecobrand, Seropédica, RJ).

Espécie	Nome Vulgar	Tamanho (cm)	Qtde
PIONEIRAS NATIVAS			
<i>Acacia polyphila</i>	Monjoleiro	0.10	200
<i>Lonchocarpus muehlbergianus</i>	Embira de sapo	0.10	30
<i>Mimosa caesalpinaefolia</i>	Sabiá	0.15	180
<i>Schinus terebinthifolius</i>	Aroeira	0.55	55
<i>Samanea saman</i>	Samanea	0.20	25
<i>Mimosa bimucronata</i>	Maricá	0.18	200
<i>Senna macranthera</i>	Fedegoso	0.30	150
Subtotal			840
LEGUMINOSAS EXÓTICAS			
<i>Acacia mangium</i>	Acácia	0.25	80
<i>Acacia holosericea</i>	Acácia	0.30	80
<i>Albizia guachapelle</i>	Guachapele	0.25	150
<i>Acacia angustissima</i>	Acácia	0.50	180
<i>Acacia auriculiformis</i>	Acácia	0.25	200
Subtotal			690
NATIVAS SECUNDÁRIAS			
<i>Senna macranthera</i>	Fedegoso	0.30	150
<i>Genipa americana</i>	Jenipapo	0.30	100
<i>Guarea guidonia</i>	Carrapeta	0.50	60
<i>Lafoensia glyptocarpa</i>	Mirindiba	0.50	60
<i>Pouteria ramiflora</i>	Abiu amarelo	0.50	60
Subtotal			430
Total			1960

2.5.3.1.2. Adubação

Selecionadas as espécies a serem utilizadas no programa de revegetação, foram definidos posteriormente métodos de adubação e correção com fertilizantes minerais e resíduos orgânicos decompostos (húmus).

A dosagem básica por cova para as leguminosas arbustivas e arbóreas foi de 3 litros de composto, 100 g de calcário dolomítico, 100 g de Superfosfato Simples ((H₂PO₄)₂ + 2 CaSO₄), 80 g de Cloreto de Potássio (KCl), 30 g de FTE BR 12 (composição: 1.8% B; 0.80% Cu; 3% Fe; 2% Mn; 0.1% Mo; 9.0% Zn).

Para o Capim Vetiver essa dosagem foi aplicada por metro linear em sulcos de 15 cm x 15 cm, sendo ainda adicionado 80g de sulfato de amônio ((NH₄)₂SO₄), visto que a espécie não é inoculada.

As características do composto produzido no aeroporto a partir das podas de apra do gramado das plataformas foram estudadas por Benites *et al* (2004) (Tabela 2-11).

Tabela 2-11 Valores médios de variáveis químicas e teores de elementos totais para todas as pilhas após 82 dias de compostagem (Fonte: Benites *et al*, 2004).

	n	pH ¹	CE ¹ mS cm ⁻¹	AH - gC kg ⁻¹ -	AF	MO	N	P	K	S	Ca	Mg
							g kg ⁻¹					
media	24	8,3	2,46	53,4	39,2	665	22,3	10,5	15,6	4,5	24,7	3,0
desvio	24	0,1	0,19	9,0	10,7	40	2,2	7,5	2,3	0,8	14,1	0,2
CV %		1	8	17	27	6	10	71	15	17	57	7
		P sol ¹	Mn	Fe	B	Zn	Cu	Co	Cr	Cd	Pb	Na
		mg . kg ⁻¹										
media	24	14,7	404	3.802	32	161	15	0,7	15	1,8	2,0	1,7
desvio	24	2,5	67	646	11	31	1	0,7	9	0,9	3,3	0,7
CV %		17	17	17	36	19	9	99	58	48	163	40

2.5.3.1.3. Cobertura Morta

A principal prática edáfica utilizada foi o armazenamento de aparas de grama (que seriam descartadas em aterros sanitários como lixo), provenientes das “áreas verdes”, para uso como cobertura morta. Esse material foi espalhado, de forma mecânica e manual, em camadas de 40 cm em toda a extensão do terreno para cobrir o solo e proteger do impacto da chuva e escoamento superficial (Figura 2-52, Figura 2-53, Figura 2-54, Figura 2-55).



Figura 2-52 Aplicação de apara de grama na área da Voçoroca V.1 com retroescadaveira.

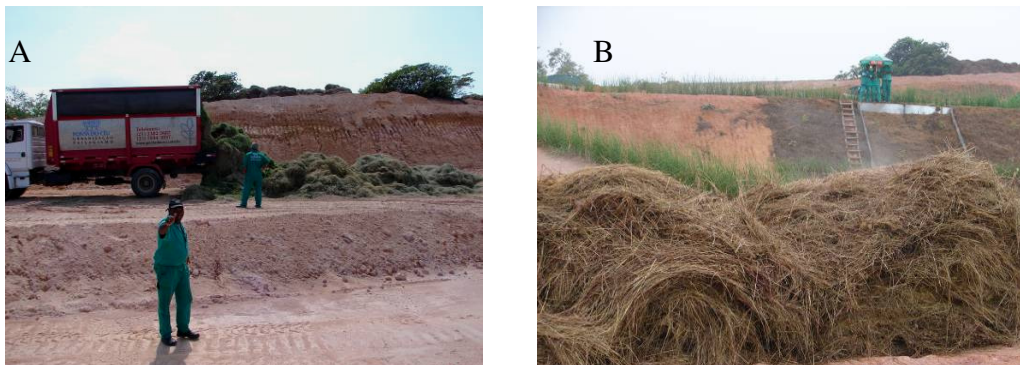


Figura 2-53 Apara de grama chegando na área (A) e em dia de chuva devido à compostagem natural do resíduo em campo elevando sua temperatura (B).



Figura 2-54 Aplicação da apara de grama no Terraço e com auxílio de caminhão (A) e com uma “mãozinha” da escavadeira hidráulica CAT 315C L (B).



Figura 2-55 Aspecto da Bacia I após o espalhamento da apara de grama no terraço acima, provocando o transporte de ácidos fúlvicos para a bacia trazendo o aspecto escuro para seu espelho d'água (22-11-07).

Benites *et al* (2004) avaliaram as características químicas da apara de grama, resultante da manutenção do gramado do AIRJ a partir de médias de 20 amostras (Tabela 2-12).

Tabela 2-12 Características químicas da apara de grama, resultante da manutenção do gramado do Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro (Fonte: *op cit*, 2004).

	MO	C	N	C:N	Ca	Mg	P	K	S
	----- g kg ⁻¹ -----								
M	920	415	11	38	4,2	1,3	0,5	10,7	1,2
Desv	20	2	2	6	0,7	0,1	0,1	0,7	0,2
	Mn	Fe	Al	Cu	Zn	Ni	Pb	Cd	Cr
	----- mg kg ⁻¹ -----								
M	258	289	520	2,9	49,6	<0,1	<0,1	0,5	2,3
Desv	82	133	325	0,3	7,9	<0,1	<0,1	0,2	0,2

2.5.3.1.4. Plantio

O plantio ocorreu em outubro de 2007 a fevereiro de 2008. Para as arbustivas e arbóreas utilizou-se um no espaçamento adensado de 2m x 2m e covas de 40 cm x 40 cm x 40 cm ou 64 litros (Figura 2-56). O capim vetiver foi plantado nas cristas dos taludes, em fileira única, no mês de novembro, no espaçamento de 10 cm entre mudas (Figura 2-57, Figura 2-58, Figura 2-59). Posteriormente ao plantio foi efetuada a aplicação de palhada, em cordões com 40 cm de espessura, na superfície exposta do solo, entre as mudas, para proteção contra chuva e sol.

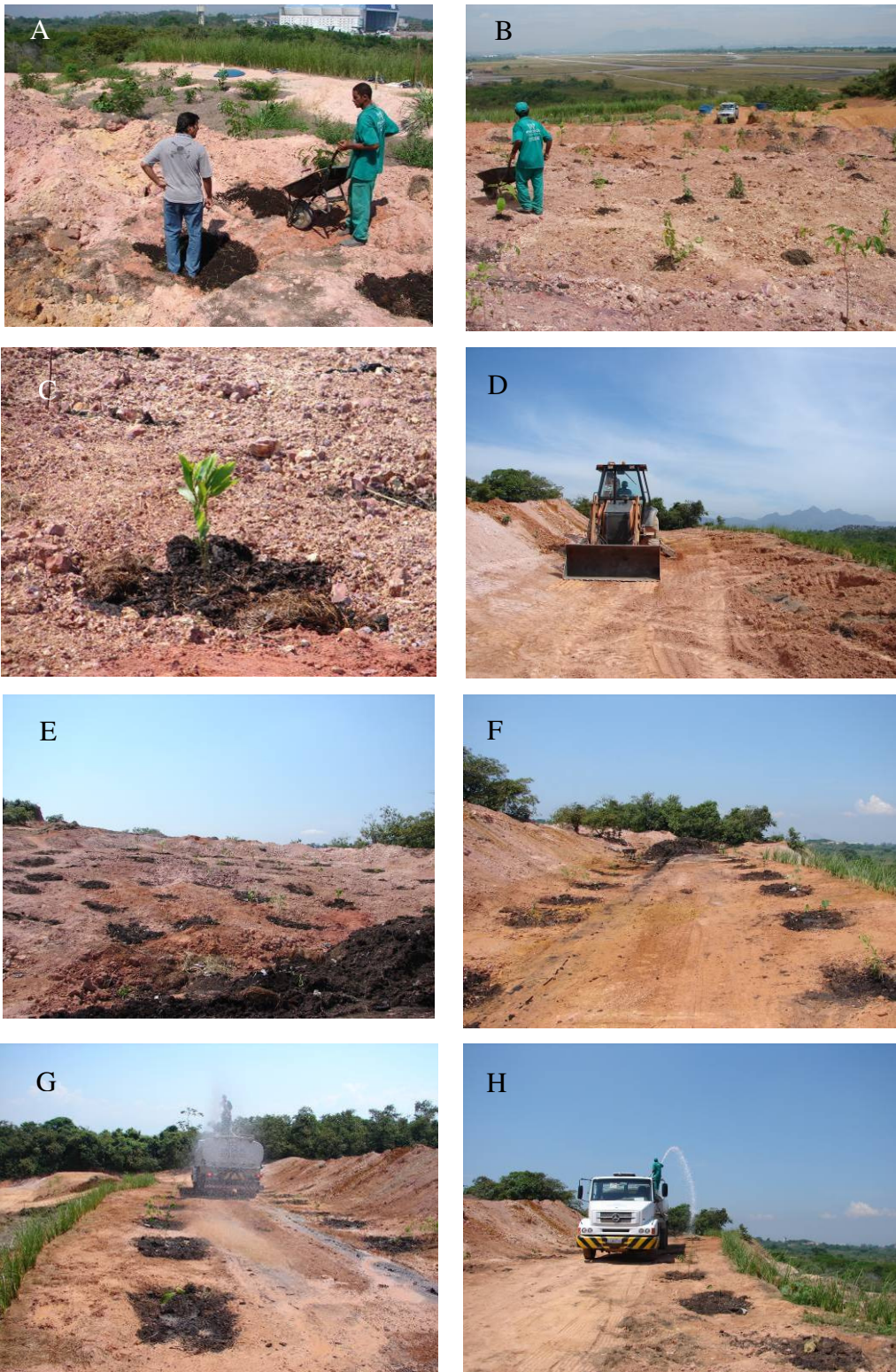


Figura 2-56. A – preenchimento de covas com composto. B – plantio de mudas. C – *Acacia Mangium*. D – coveamento com uso da retroescavadeira CASE 580L. E – aspecto da área de contribuição do Terraço c após o plantio. F – área acima do Talude II após o plantio. G,H - rega com auxílio de caminhão pipa para salvamento das mudas durante estiagem (06-03-08).

Os seguintes equipamentos foram utilizados para a sistematização do solo, aterro das voçorocas, suavização dos taludes, construção dos terraços e bacias de retenção, e para o espalhamento das aparas de grama sobre o solo: escavadeira de esteira de grande porte, trator esteira e retro-escavadeira.



Figura 2-57 Plantio do Capim Vetiver na crista do Talude I. A – poda dos perfilhos. B – plantio em linha com um único sulco. C – coroamento com apara de grama na crista do Talude I. D – talude lateral protegido com Vetiver logo após coroamento.

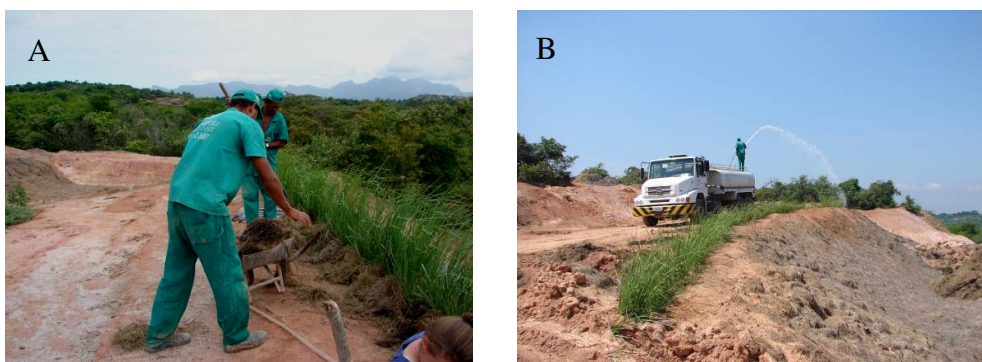


Figura 2-58. A - Coroamento do Capim Vetiver no Talude II logo após seu plantio em fevereiro de 2008. B – rega de salvamento com caminhão pipa em 06-03-08.



Figura 2-59 Coveamento para plantio do Capim Vetiver em duas linhas de cada lado do Terraço c, utilizando-se a mesma configuração implantada no Morro do Radar.

2.6. Parcelas de Controle de Erosão

O monitoramento de parcelas experimentais de perdas de solo tem como propósito estabelecer o efeito de uma cobertura vegetal, ou um tipo de manejo de cobertura do solo, sobre o escoamento superficial e as taxas de perdas de solo por erosão superficial. O objeto de estudo na maioria das pesquisas relaciona-se ao efeito de sistemas de manejo e conservação de solos agrícolas (Beutler *et al.*, 2003; Cogo *et al.*, 2003; Prochnow *et al.*, 2005; Silva *et al.*, 2005; Isidorio *et al.*, 2005; Albuquerque *et al.*, 2002; Volk *et al.*, 2004; entre muitos outros trabalhos recentes), havendo também muitos estudos atualmente em sistemas florestais (Garcia *et al.*, 2003; Martins *et al.*, 2003, entre outros), alguns sobre estradas rurais e florestais enfocando a erosão nos pavimentos (Machado *et al.*, 2003; Griebeler, 2005), erosão em função de diferentes classes de solo (Silva *et al.*, 2005; Shaefer, 2002, etc.).

Apesar das parcelas experimentais estarem sendo aplicadas em larga escala, com diversas pesquisas já realizadas e em andamento, inclusive no Estado do Rio de Janeiro, estudos deste gênero considerando as propriedades geotécnicas de solos residuais, e, em especial, estudos abordando a questão dos solos não-saturados, são ainda raros, observando-se poucas referências em relação a sistemas experimentais em taludes de corte (Rego, 1978; Coelho, 1999; Coelho *et al.*, 2001).

2.6.1. Critérios para Instalação de Parcelas

Para a instalação de parcelas, é necessário primeiramente que se esteja avaliando condições homogêneas de solo, declividade, insolação etc., histórico de manejo, pois todos estes fatores influenciam de forma marcante nas perdas de solo (Bertoni e Lombardi Neto, 1993).

As avaliações das perdas de solo, elementos nutritivos e água são executadas a partir da medição da enxurrada escoada de um talhão de área conhecida. Esta área é delimitada por folhas de zinco, arranjas de forma retangular. Na base das parcelas, o material é orientado por um adaptador e um tubo PVC para um primeiro tanque. Um quinto do excedente do primeiro tanque é orientado para um segundo, sendo o restante do material eliminado.

Uma grande polêmica gira em torno das dimensões exatas das parcelas. Conforme aponta o Serviço Norte Americano de Conservação dos Solos (USDA, 1997), a forma e o tamanho das parcelas são extremamente arbitrários, porém a mais comum deverá apresentar as dimensões de 4 m de largura por 22 m de comprimento. A justificativa da padronização se deveria unicamente à utilização dos dados em análises comparativas. Em se tratando de uma unidade métrica universal, recomenda-se a construção de parcelas com dimensões de 4 m de largura e 25 m de comprimento. Estas medidas evitam os efeitos de borda ao redor das parcelas (Mendes, 2006).

Para alguns autores, entretanto, o tamanho das parcelas interfere drasticamente na avaliação dos processos erosivos, sendo as velocidades de escoamento inferiores em parcelas de maiores proporções. Chaplot e Lê Bissonais (2000) chegaram a sugerir um tamanho mínimo de 10 m².

De fato, o tamanho das parcelas deve ser definido em função do tipo de cobertura vegetal ou manejo avaliado, regime pluviométrico local e processos erosivos atuantes.

Para efeito de padronização, nos campos experimentais existentes para estudos de perdas de solo no Estado do Rio de Janeiro, como em Paty do Alferes (estação experimental da PESAGRO Rio), no Aeroporto Internacional do Galeão (EMBRAPA/CNPS) na área do Morro do Radar, entre outros, as dimensões das parcelas são de 22.0 x 4.0 m (Mendes, 2006).

Tendo em vista o aproveitamento máximo do comprimento da rampa (15m) e da extensão (60m) do talude, foram instaladas, no desenvolvimento desta tese, quatro parcelas experimentais com dimensões de 11 m de extensão no comprimento da rampa (o máximo viável) e 4 m de largura (medida padrão), com um espaçamento de 8 metros entre cada parcela, criando zonas de amortecimento ao lado das parcelas com 4 m (Figura 2-60).

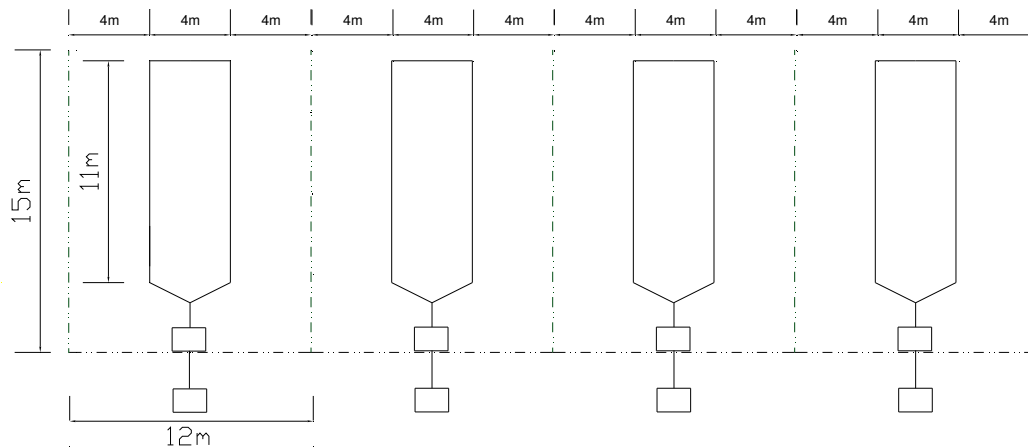


Figura 2-60 Parcelas de controle de erosão e zonas de amortecimento.

2.6.2. Processo Construtivo

Primeiramente, para a fixação das folhas de zinco (foi utilizada chapa galvanizada de 0.5mm x 0.5 m) foram escavadas valetas de em torno de 20 cm de profundidade (Figura 2). As folhas de zinco foram posicionadas nas valetas com auxílio de estacas de madeira e de ferro fabricadas a partir de vergalhões reaproveitados. Foi ainda utilizado arame para amarração das partes, sendo imposta uma sobreposição de pelo menos 20 cm entre as placas para evitar vazamentos (Figura 61).

As valetas foram posteriormente preenchidas com concreto visando o chumbamento das folhas de zinco (que ficaram com uma altura exposta de seguros 30 cm para delimitação dos fluxos d'água no talude), que foi efetuado após o posicionamento das folhas e alocação do emboque (Figura 2-61, Figura 2-62, Figura 2-63, Figura 2-64, Figura 2-65).

Posteriormente, abaixo das parcelas foram instalados pares de caixas d'água (1000L), conectados por tubos PVC (100mm), visando a coleta da água e das enxurradas. Ao final de cada tubo é colocado um joelho visando o direcionamento dos primeiros volumes de escoamento para o latão colocado dentro da 1ª caixa.

Visando uma posterior possibilidade de automatização das medições de escoamento superficial e concentração de sedimentos nas parcelas, foi mantido o mesmo posicionamento dos tubos PVC (ângulos e comprimento de cada segmento) em relação a todas as parcelas (Figura 2-66). Com isso, algumas parcelas ficaram um pouco mais “altas” em relação ao piso do pé do talude (a 4

principalmente), o que ocorre em função do caimento da plataforma de aterro, projetada para drenar pela via de acesso, sendo necessária a construção de fundações, feitas com restos de entulho reaproveitados do aeroporto (Figura 2-67 e Figura 2-68). O aspecto do conjunto na fase de acabamento pode ser visualizado na Figura 2-69.

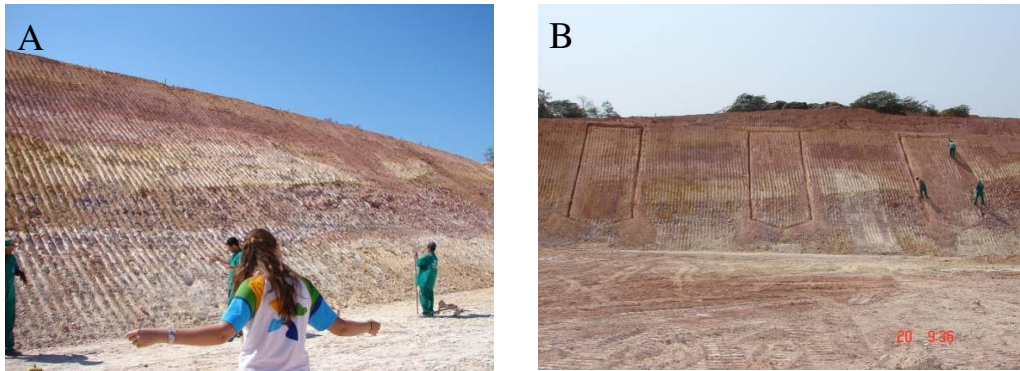


Figura 2-61 Etapas iniciais da instalação das parcelas. A – marcação das parcelas. B – escavação de sulcos.



Figura 2-62. Posicionamento das folhas de zinco.



Figura 2-63 - A - Chumbamento das folhas com concreto. B – uso de gabarito para posicionar as folhas na crista adequadamente.

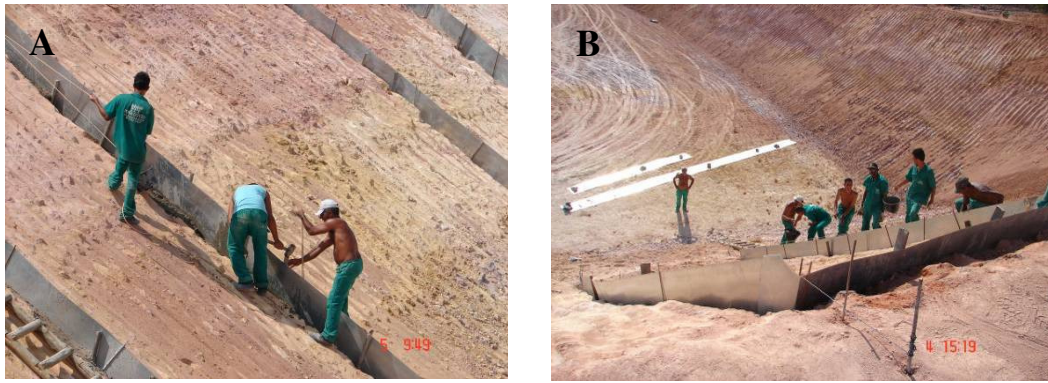


Figura 2-64. A – fixação na parede do talude. B - Aspecto das parcelas I, II e III nesta fase.



Figura 2-65. A – emboque da Parcela I visto de frente. B – vista por dentro da rampa de aproximação em concreto visando direcionar os sedimentos e evitando o entupimento.



Figura 2-66 Posicionamento dos canos. Os comprimentos e gradiente foram mantidos para todas as parcelas.



Figura 2-67 Fundação da caixa 1 da Parcela IV, observando-se os rejeitos de concreto reaproveitados de pilhas de entulhos existentes no aeroporto.



Figura 2-68 A – Selamento da base da caixa 1 da Parcela I evitando infiltrações na estrutura. B – detalhe da fundação com pedra britada formando um piso abaixo da caixa 1 da Parcela II para proteger contra a erosão provocada pela enxurrada que escoar pelos quarteadores.



Figura 2-69 Vista frontal das Parcelas na fase de acabamento final logo após uma chuva.

Durante a construção das parcelas, foram ainda instaladas quatro escadas fabricadas com moirões de eucalipto tratados, com 15 metros de comprimento, espaçamento aproximado de 0.5 m, e 0.5 m de largura (Figura 2-70). Um desenho esquemático para acompanhamento e monitoramento das parcelas posteriormente é apresentado na Figura 2-71. Na

Tabela 2-13 constam todos os materiais que foram necessários para a construção das 4 parcelas.

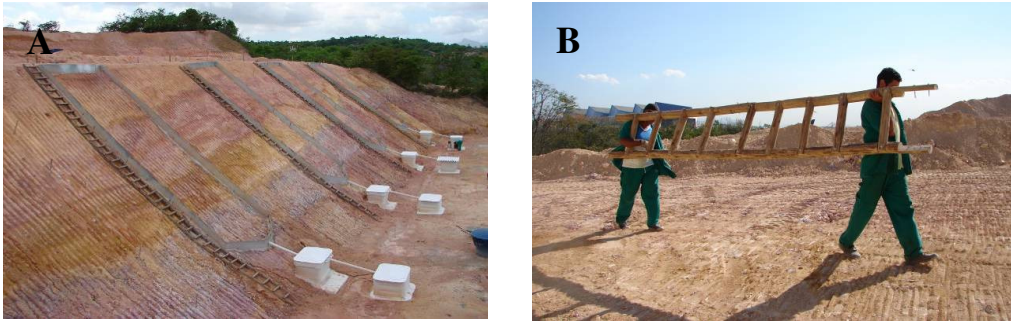


Figura 2-70 A - Aspecto geral das parcelas após o término das obras. B – peça de uma das escadas de eucalipto instaladas nas laterais das parcelas.

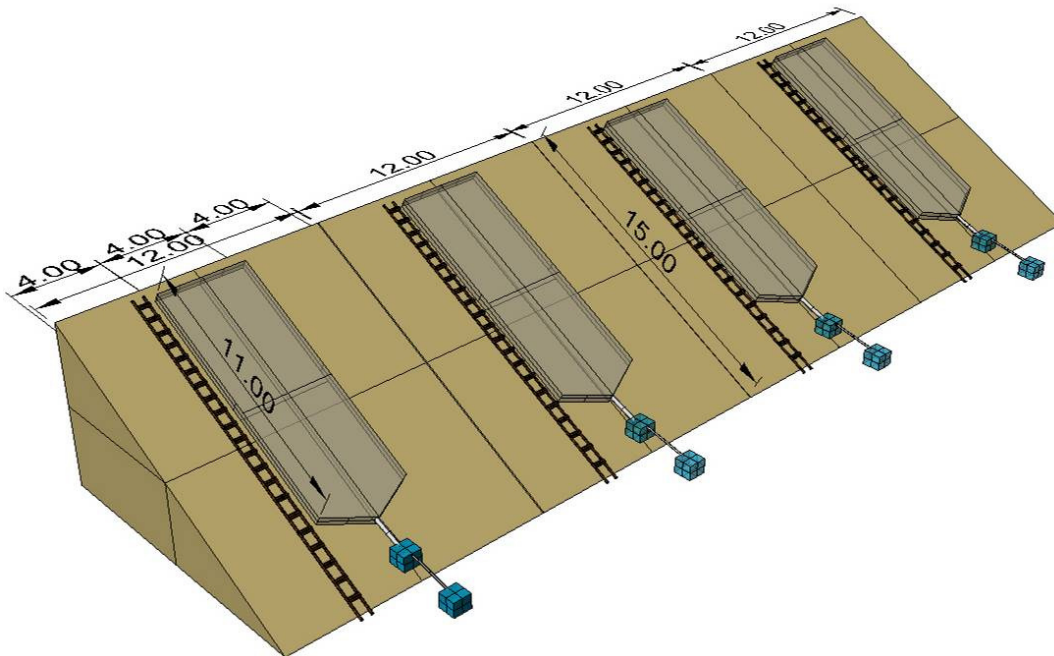


Figura 2-71 Desenho esquemático do projeto final das parcelas de controle de erosão incluindo escadas em cada uma das parcelas e as dimensões das áreas de amortecimento de 4 m entre cada parcela.

Tabela 2-13 Materiais utilizados na construção das parcelas de controle de erosão.

Material	Especificação	Qde
Caixa D'água	1000L	8 unid.
Chapa Galvanizada	Nº26 [0.5 mm x 0.5 m]	150 m
Tubo PVC	[Φ = 100 mm] x 6 m	4 unid.
Tubo PVC	[Φ = 75 mm] x 6 m	5 unid.
Tampa Rosqueadas (Flange)	¾"	8 unid.
Joelho	100 mm	4 unid.
Joelho	75 mm	4 unid.
Vergalhão	5/16" x 12 m	6 unid.
Barra Roscada	5/16" x 1 m	50 m
Corda para Varal	15 m	6 unid.
Porca	Saco (300)	1 unid.
Roela	Saco (300)	1 unid.
Tora de Eucalipto	Tratado	9 dúzias
Cimento	Saco (50kg)	Aprox. 20
Areia	(m)	Aprox. 6
Pedra Britada	(m)	Aprox. 3

* Não foi levado em conta material de uso pessoal, EPI, etc.

2.6.2.1. Determinação das perdas de solo e escoamento superficial

Em certos aspectos, a determinação das perdas de solo e dos volumes de escoamento superficial apresenta uma série de minúcias. Com o objetivo de organizar da melhor forma possível uma metodologia para coleta destes materiais dentro da situação estudada, e sem a pretensão de estabelecer um novo método de medição, neste tópico são destacados aspectos relevantes em relação aos materiais e métodos utilizados nesta tese. Uma proposta metodológica para medição automatizada destes parâmetros encontra-se no Capítulo V.

A medição das enxurradas é efetuada seguindo-se a seguinte metodologia: Após um dia de chuvas as caixas d'água são abertas na manhã seguinte, sendo verificado o volume de enxurrada: se ultrapassou o volume do latão (22L) e/ou se ficou retido na mesma. Se o volume ultrapassa o Latão, mas restringe-se a primeira caixa, o material do Latão é despejado na caixa, sendo medido assim através da trena juntamente com o extravaso do latão. No caso de volume maior que a caixa d'água, o volume da segunda caixa é multiplicado por cinco e somado ao da primeira (em função do tipo de quarteador utilizado, no qual existem cinco ladrões na caixa, sendo somente um conectado à segunda).

Para determinação dos volumes nas caixas d'água e nas latas é necessária a calibração dos mesmos para determinação da relação altura (cm) x volume (cm³) de enxurradas, o que possibilita executar medições diretas com réguas ou trenas somente dos níveis. Primeiramente são apresentados os dados da calibração, efetuada de 500 em 500mL no Latão (BR 22L). A equação de calibração que determina a relação nível x volume d'água no Latão foi determinada através de ensaio com enchimento gradual (de 100 mL por etapa):

$$Y = 645,02x - 145,1 \quad (R^2 = 0,9999) \quad \text{[Equação 2-3]}$$

A medição do volume de enxurradas nas caixas coletoras é feita seguindo o mesmo método da lata, isto é, medindo-se o nível através de uma régua ou trena. A equação de calibração que determina a relação nível x volume d'água na Caixa 1 foi determinada através de ensaio com esvaziamento gradual (de 22 L por etapa). Como as demais caixas são do mesmo modelo foi efetuada somente a calibração em uma caixa coletora, sendo possível utilizar esta calibração para a determinação dos volumes de enxurradas nas demais caixas.

$$Y = 0,0436x^2 + 12,028x + 8,1833 \quad (R^2 = 0,9998) \quad \text{[Equação 2-4]}$$

Tendo sido efetuadas as leituras de nível de enxurradas e, conseqüentemente, de volumes de escoamento superficial, o próximo passo é a coleta de materiais para determinação em laboratório da concentração de sedimentos. Para a coleta adequada das enxurradas é necessário homogeneizar o conteúdo das Caixas Coletoras/Latões, de modo que seja amostrada a concentração certa de sedimentos.

Este processo possui uma série de complicadores, podendo se destacar o local de coleta na caixa ou no latão, independente do processo de agitação (fundo, meio, próximo à superfície), além da representatividade do volume amostrado. Tais fatores têm dificultado a obtenção de valores confiáveis de taxas de erosão e escoamento superficial, indicando mais uma vez a necessidade do aprofundamento de pesquisas relacionadas ao monitoramento automatizado de parâmetros hidrosedimentológicos (escoamento superficial e perdas de solo).

Para a coleta de amostras de enxurradas foram primeiramente utilizados recipientes plásticos de 500mL, que foram posteriormente substituídos por garrafas PET, devido à grande disponibilidade do material no aeroporto, além do

maior volume e existência da tampa rosca. Deste modo é coletada uma alíquota em cada parcela, representativa de cada evento de erosão avaliado. (Figura 2-72).



Figura 2-72 A – medição do nível na caixa coletora. B, C – homogeneização do material. D - Coleta de amostras de escoamento superficial. E – abertura do flange com alicate. F – esvaziamento da caixa após a execução das medições.

Uma vez no laboratório, as amostras são secas em estufa a 105°C para determinação do peso de sólidos. Para determinação dos volumes de água e volume de solos, e também de taxas de erosão e perdas de solo, foi necessária a determinação da densidade relativa dos grãos dos solos (G_s ou ρ_s), efetuada com os sólidos obtidos com a secagem das amostras de enxurradas. Os materiais coletados e secos neste estudo apresentaram um valor médio de ρ_s de 2.661 g/cm³,

tendo sido este o valor utilizado nos cálculos posteriores, conforme indicado no modelo abaixo (Tabela 2-14, Tabela 2-15, Tabela 2-16).

Tabela 2-14 Modelo para organização dos dados volume de escoamento superficial nas parcelas de erosão, obtidos a partir das leituras de nível nos Latões e nas caixas coletoras.

Data	Latão		Caixa 1			Caixa 2		Volume Total (L)
	Altura (cm)	Volume (ml)	Altura (cm)	Volume (L)	Subtotal	Altura (cm)	Volume (L)	
4/11/2007	0	0	9.5	118.51	118.51	0	0	118.51
5/11/2007	0	0	4.5	61.43	61.43	0	0	61.43
12/11/2007	0	0	34.5	371.25	371.25	0	0	371.25
13/11/2007	0	0	1.5	26.13	26.13	0	0	26.13
16/11/2007	0	0	2.5	37.98	37.98	0	0	37.98

Tabela 2-15 Modelo para organização dos dados de concentração de sedimentos nas amostras de enxurradas das parcelas de erosão.

Data	Becker (g)	Amostra			Solo (g)	Vol. (mL)
		Becker + Solo + Água (g)	Becker + solo (g)	Solo (g)		
4/11/2007	423.75	1453.96	438.78	15.03	1000	
5/11/2007	423.84	1387.48	446.4	22.56	1000	
12/11/2007	423.7	1382.2	460.88	37.18	1000	
13/11/2007	423.68	1355.1	424.18	0.50	1000	
16/11/2007	309.37	1403.10	383.89	74.52	1000	

Tabela 2-16 Modelo para organização de dados para determinação de perdas de solo (g; g/m²; ton/ha) e água (L; ES (mm/24hs); Inf (mm/24hs)).

Data	Prec. (mm/24hs)	(g)	Perda de Solo			V _w (L)	Água	
			(g/m ²)	(ton/há)	(cm ³)		ES (mm/24hs)	Inf (mm/24hs)
4/11/2007	24.8	1781.27	38.72	0.39	669.40	117.85	2.56	22.24
5/11/2007	16.2	1385.78	30.13	0.30	520.77	60.91	1.32	14.88
12/11/2007	40.43	13803.24	300.07	3.00	5187.24	366.07	7.96	32.47
13/11/2007	11.81	13.06	0.28	0.00	4.91	26.12	0.57	11.24
16/11/2007	14.61	2830.33	61.53	0.62	1063.63	36.92	0.80	13.81

Uma vez obtidos os valores de perdas de solo, infiltração e escoamento superficial, os resultados foram discutidos à luz das transformações ocorridas após a implantação das técnicas de bioengenharia de taludes, com o objetivo principal de detectar os mecanismos atuantes após o desenvolvimento dos diferentes tipos de coberturas vegetais. Para isso foi efetuado um cronograma das atividades de revegetação e monitoramento hidrológico no talude, que se encontra juntamente o com o restante dos resultados de monitoramento, no Capítulo VI.

2.7. Técnicas de Bioengenharia de Solos

Engenharia biotécnica e bioengenharia de solos são termos constantemente encontrados atualmente, entretanto muitas vezes com definições bastante confusas (Magalhães 2005, Morgan & Rickson, 1995). A engenharia biotécnica, ou o controle biotécnico de encostas, referem-se a técnicas de combinação entre plantas e elementos inertes visando à estabilização e o controle de processos erosivos em taludes e encostas naturais, margens de rios, sistemas de trilhas, aterros sanitários, áreas mineradas etc.

Os componentes inertes incluem concreto, madeira, pedra e geotêxteis. Bioengenharia de solos, por outro lado, normalmente tem sido um termo mais utilizado para referir-se ao estudo dos efeitos de determinados tratamentos, envolvendo técnicas de plantio, adubação, cobertura morta, consórcios etc.

Em ambos os casos, os termos têm sua origem na região alpina, onde *Ingenieurbiologie* (Kruedener, 1951) foi o termo alemão originalmente utilizado para referir-se a este campo prático que agrega aspectos teóricos e práticos das engenharias geotécnica, agrônômica, florestal e ambiental. A tradução literal ao português de *Ingenieurbiologie* resulta no termo Bioengenharia.

Esse, apesar de aceito e utilizado, gera confusão por ser também empregado pela Bioengenharia médica. Por isso, no Brasil, vem se consolidando o termo Bioengenharia de Solos, a fim de diferenciarem-se os dois campos de conhecimento, da mesma maneira que se faz no termo em língua inglesa (*Soil bioengineering*).

Outros ainda, defendem a adoção de Engenharia naturalística, o que seria uma tradução direta do termo utilizado em língua italiana (*Ingegneria naturalistica*). Em Portugal chamou-se originalmente de Engenharia biofísica, existindo na Universidade de Évora um curso superior exclusivo a esse campo do conhecimento.

A partir de 2006, em Portugal, convencionou-se o termo Engenharia Natural, existindo oficialmente a Associação Portuguesa de Engenharia Natural

(APENA²⁴), filiada à Federação Europeia de Engenharia Natural (*Europäische Föderation für Ingenieurbiologie – EFIB*²⁵, no termo original).

2.7.1. Técnicas de Bioengenharia de Solos e Engenharia Tradicional

Historicamente a engenharia geotécnica limitou-se a soluções rígidas/convencionais, utilizando materiais inertes para estabilização de encostas e taludes. Dentre as estruturas mais comuns pode-se citar a cortina atirantada, solo grampeado, bloco armado, gabião, terra armada. Em termos práticos, técnicas de bioengenharia de solos têm sido selecionadas ultimamente, em detrimento de técnicas de engenharia geotécnica convencionais, para processos de recuperação de áreas degradadas, em função dos seguintes potenciais (Tabela 2-17 e Figura 2-73):

Tabela 2-17 Vantagens de técnicas de bioengenharia de solos na recuperação de áreas degradadas (adaptado de Gray & Sotir, 1996; Schieltz, 1996; Coppin & Richards, 1990).

Vantagens	
Geotécnica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Constitui um método eficaz para mitigação de processos erosivos e estabilização de taludes. ▪ Possibilita a execução de obras de contenção de processo erosivos e estabilização de taludes em locais de difícil acesso para maquinário pesado.
Ecológica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proteção contra ação de ventos e deslocamento de rochas. ▪ Modificação dos extremos de temperatura e umidade do ar junto à superfície do solo. ▪ Otimização das relações hídricas no sistema solo-planta-atmosfera. ▪ Aumento da formação de húmus. ▪ Redução dos custos de execução e de manutenções. ▪ Utilização de materiais de baixo custo, reaproveitados, naturais e locais, como madeira, pedras, composto orgânico, dentre outros, reduzindo custos de transporte e gerando serviços ambientais e benefícios locais.
Econômica	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Requer-se mais mão-de-obra, com menor utilização de máquinas, gerando um menor custo final de implantação. ▪ Possibilidade de aproveitamento de áreas recuperadas para recreação.
Estética	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Harmonização e melhoria da paisagem com obras de proteção. ▪ Aumenta a área verde/ reduz impactos visuais/ melhorias estéticas.

²⁴ APENA – Associação Portuguesa de Engenharia Natural: www.apena.pt

²⁵ EFIB – Federação Europeia de Engenharia Natural: www.efib.org



Figura 2-73 A - cortina atirantada na Rodovia Rio Juiz de Fora. B - controle biotécnico com reaproveitamento de moirões de concreto deixando a vegetação crescer dentro (na mesma rodovia). C – Controle biotécnico em talude de corte (Paqueta-RJ). D – Detalhe das jardineiras chumbadas na pedreira visando o recobrimento vegetal e trazendo um aspecto paisagístico. E - Biomanta logo após instalação em talude de corte na Rodovia Rio Santos (altura de Parati). F – vegetação brotando e atravessando as biomantas em talude próximo.

Na pesquisas sobre bioengenharia de solos em especial são considerados como parâmetros importantes as taxas de estabelecimento, crescimento e reprodução, estratégias fisiológicas e adaptativas, bem como efeitos das estruturas vegetais (raízes, caules, folhas) funcionando como elementos mecânicos de reforço (Gray & Sotir, 1996).

Em se tratando da engenharia biotécnica, deve-se levar em conta a aspectos estruturais de reforço, resistência mecânica e biodegradabilidade dos materiais inertes utilizados.

2.7.2. Breve Histórico da Bioengenharia de Solos

A seguir é descrito resumidamente o histórico da formação do conhecimento em técnicas de bioengenharia de solos, essencialmente na Europa e Estados Unidos, aonde este conhecimento vem se consolidando a mais tempo, utilizando-se como ponto de partida o texto de Lewis (2000, publicado em Guia Prático da USDA), onde é apresentado estrato da palestra: A História da Bioengenharia de Solos (proferida na Califórnia em 1993 por Kevin Finney, arquiteto e paisagista americano).

A origem do conjunto de tecnologias, aqui denominado bioengenharia de solos, remonta à Antiguidade, sendo os registros mais antigos provenientes de obras implementadas por chineses e europeus. Um dos primeiros relatos conhecidos do uso destas tecnologias data de 28 a.C quando historiadores chineses reportaram a utilização de técnicas de bioengenharia no reparo de diques. Antigos visitantes ocidentais à China fizeram relatos sobre margens de rios e barragens estabilizados com grandes cestos tecidos com salgueiros, cânhamo ou bambu, preenchidos com pedras.

Na Europa, camponeses celtas e ilirianos desenvolveram técnicas para tecer galhos de salgueiros criando cercas e paredes. Uma das técnicas mais utilizadas pela bioengenharia de solos (Parede-Krainer) encontra forte semelhança com o *murus gallicus*, método de construção usado pelos celtas na fortificação dos seus cercados (*Oppidum*). Observam-se neste sentido registros sobre propriedades técnicas da vegetação que datam do Império Romano.

Posteriormente, Leonardo da Vinci teria feito referência à importância do sistema radicular dos salseiros, na fixação das margens dos canais. Por volta do século XVI, as técnicas de bioengenharia de solos estavam sendo utilizadas e sistematizadas por toda a Europa, a partir dos Alpes em direção ao Mar Báltico e para oeste, na direção da Ilhas Britânicas. Contudo, é somente a partir do século XVII que descrições técnicas destas obras começam a aparecer na Europa.

As primeiras descrições das técnicas encontram-se nos manuais de manejo de torrentes dos países de fala alemã. A bioengenharia de solos guarda até hoje grande relação com essa última disciplina; que em alemão recebe o nome de *Wildbachverbauung* (expressão para controle de torrentes ou enxurradas). Encontram-se também ainda registros datados do século XII relatando a utilização da vegetação na estabilização encostas na China.

Um dos escritos mais antigos que levava em consideração a utilização de técnicas de bioengenharia é a publicação de Woltmann de 1791 que ilustra o uso de estacas vivas na estabilização de margens de rios (*apud*. Stilles, 1991). Mais ou menos na mesma época estavam sendo desenvolvidas na Áustria obras envolvendo construção de barreiras vivas para escoamento superficial, com plantios em linhas perpendiculares às margens de cursos d'água visando gerar estruturas de sedimentação para reforma de canais.

Grande parte da documentação sobre técnicas de bioengenharia de solos, desde a Revolução Industrial, está concentrada em trabalhos em áreas montanhosas da Áustria e no sul da Alemanha. Nestes países, o desmatamento extensivo resultou em problemas ambientais crescentes, de maneira similar ao que vem ocorrendo no Brasil atualmente. Além disso, durante os anos 30, com as restrições financeiras dos anos pré-guerra na Alemanha e na Áustria favoreceu o uso de materiais e tecnologias locais de baixo custo e métodos de construção tradicionais para projetos públicos.

A construção do sistema rodoviário alemão, o *Autobahn*, durante esta época, envolveu a aplicação extensiva de técnicas de bioengenharia de solos. A utilização de materiais nativos e métodos tradicionais também eram coerentes com a disseminação da ideologia nacionalista. Em 1936 Adolf Hitler, visando dar suporte a estas obras e incentivar o desenvolvimento técnico-científico nesta área, fundou o primeiro instituto de bioengenharia, sediado em Munique, com ações voltadas para a construção de estradas.

Embora este trabalho tenha se perdido, um engenheiro florestal chamado Arthur Von Kruedener, o chefe do instituto, continuou a trabalhar na área e é conhecido na Europa Central como o pai da Bioengenharia, sendo seu principal trabalho publicado em 1951 (denominado *Ingenieubiologie*, termo traduzido para o português como Engenharia Biológica).

Enquanto na Alemanha avançavam-se as pesquisas e era criado o Instituto de Bioengenharia, Charles Kraebel, que trabalhava para o USDA Forest Service, no EUA, utilizou uma combinação de técnicas de bioengenharia envolvendo estacas vivas, caniçadas vivas e transplântio de espécies nativas para estabilização de encostas degradadas nos parques nacionais do sul e centro da Califórnia (este trabalho é documentado na Circular nº380 do USDA, Kraebel 1936). Dois anos depois o *National Resource Conservation Service* (NRCS) iniciou um estudo de estabilização nas margens do Lago Michigan (o trabalho foi publicado em 1938).

Anos depois, durante o pós-guerra em 1950, foi formado na Alemanha, Áustria e Suíça um comitê para padronizar tecnologias emergentes em bioengenharia de solos, que foram integradas ao Sistema Nacional Alemão de Especificações na Construção (DIN).

Do ponto de vista científico e bibliográfico, pode-se dizer que a bioengenharia de solos, nasce como campo de pesquisa independente no início do século vinte na Alemanha, Suíça e principalmente na Áustria, através dos trabalhos pioneiros de Hugo Meinhard Schiechl (*1922 a †2002). Em 1980, o livro de Schiechl²⁶ *Bioengineering for Land Reclamation and Conservation* foi publicado pela primeira vez no Canadá, apresentando as contribuições de Lorenz, Hassenteufel, Hoffman, Courtorier e ele próprio. Dentre trabalhos posteriores considerados de grande relevância publicados neste contexto têm-se principalmente os de Gray & Leiser (1982), Gray & Sotyr (1996), Schiechl (1997).

2.7.3. Bioengenharia de Solos no Brasil

As principais tecnologias de bioengenharia de solos atualmente empregadas no Brasil não seguem uma padronização técnica quanto ao estabelecimento de vegetação em taludes de corte de estradas, variando de acordo com os objetivos

²⁶ Definição técnica para o termo *Bioengenharia de Solos* presente no livro: *Técnicas (biotécnicas) em que plantas, ou partes destas, são utilizadas como material vivo de construção. Sozinhas, ou combinadas com materiais inertes, tais plantas devem proporcionar estabilidade às áreas em tratamento.*

do empreendimento, que por sua vez, podem variar desde um simples embelezamento de uma área jardinada, até ao estabelecimento de uma cobertura vegetal rica em espécies capazes de prover as condições necessárias para o desenvolvimento de todo um ecossistema auto-sustentável. Destacam-se as seguintes metodologias para a proteção do solo e estabelecimento de vegetação em taludes de corte de estrada (Fernandes, 2004):

- Placa de grama em placas;
- Plantio de mudas em covas/semearura a lanço;
- Cobertura Morta/ Transposição de serrapilheira;
- Hidrossemeadura;
- Sacos de aniagem;
- Geossintéticos/ biomantas.

A evolução da bioengenharia de solos no Brasil deve ser compreendida dentro do conjunto de perspectivas e técnicas da engenharia geotécnica, agrônômica, florestal e ambiental, utilizadas para solução de problemas em taludes ao longo das últimas décadas. Distinções entre métodos biotécnicos, bioengenharia de solos ou estratégias de recuperação de áreas degradadas podem se tornar confusas, impondo a necessidade de estudar o histórico de evolução destes conhecimentos em conjunto.

Não se quer dizer aqui que os termos são equivalentes, mas sim análogos: por exemplo, em uma área degradada podem existir taludes que demandam métodos biotécnicos de estabilização, ou técnicas de bioengenharia de solos para controle de erosão, adjacentes a grandes áreas planas de aterros, sujeitas à erosão laminar, em sulcos e em voçorocas, que demandam práticas de recuperação de áreas degradadas em seu sentido mais convencional.

Pode-se dizer que a recuperação de áreas degradadas é um termo mais amplo que se refere à intervenção em maior escala, enquanto técnicas de bioengenharia de solos ou controle biotécnico ficam mais restritas a taludes e encostas naturais com declives.

Atualmente existe grande quantidade de referências relevantes especificamente sobre bioengenharia de solos no Brasil; empresas com *portfolio*

nacional e internacional²⁷, livros e publicações técnicas (Durlo & Sutili, 2005; Araújo *et al.*, 2007; Griffith, 1986, Griffith *et al.* 1994), publicações em anais de congressos e em revistas científicas (Coelho & Galvão, 1998, 2001; Souza & Kobiyama, 2003; Holanda *et al.*, 2008; Fernandes *et al.*, 2009; Rosa & Durlo, 2009), dissertações e teses (Souza, 1997, Coelho, 1999; Fortes, 2000; Magalhães, 2005; Gomes, 2005; Sutili, 2007) estão entre a grande diversidade de material técnico disponível sobre o assunto.

Dentre eventos acadêmicos de maior relevância, em âmbito nacional, destacam-se o Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas²⁸ (em 2008 na sua VII edição) e o Simpósio Nacional de Controle de Erosão (em 2008 na VIII edição).

Dentre trabalhos de recuperação de áreas degradadas onde são documentados usos de técnicas de bioengenharia de solos podem-se citar as obras executadas dentro do próprio Aeroporto Internacional Galeão/Tom Jobim, no contexto do convênio EMBRAPA/INFRAERO, onde práticas mecânicas e vegetativas (incluindo alocação de mantas, plantio em cordões, terraceamento, barreiras de pneus usados e paliçadas fabricadas com *pallets* velhos utilizados para transportes de cargas) foram implementadas. Trabalhos no Estado do Rio de

²⁷ Visando comparar os diferentes tipos de tecnologias oferecidas por empresas nacionais, foram enviadas cartas convite para os principais disponíveis no mercado atualmente. Dentre as especializadas em hidrossemeadura e biomantas foram contatados: Deflor Bioengenharia (MG), com 25 anos no mercado, possui uma fábrica de biomantas, *portfolio* internacional e extensa lista de publicações e trabalhos científicos (ver Pereira, 1999; Pereira, 2006, www.deflor.com.br); Conspizza Hidrossemeadura, fundada em desde 1971, sendo possivelmente a mais antiga do mercado (Curitiba, PR www.conspizza.com.br); Vertical Green Desenvolvimento Ambiental LTDA (Jacarepaguá, RJ, www.geogreen.com.br); Vertical Green (Goiânia, GO, www.verticalgreen.com.br); Fixa Verde Indústria de Insumos para hidrossemeadura LTDA (Betim, MG, www.fixaverde.com.br); Alcântara Comércio de Flores e Plantas LTDA, que está executando no momento o trabalho de hidrossemeadura nas obras de duplicação da Rodovia Rio Santos (Holambra, SP, alcantaraflores@terra.com.br); Agromax (Juiz de Fora, MG, agromax@uol.com.br). Dentre estas empresas a Deflor e Fixa Verde tiveram participação direta, sendo que a primeira ntreou com as biomantas e a segunda se encarregou da hidrossemeadura, conforme detalhado mais adiante.

²⁸ Evento promovido pela Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas - SOBRADE.

Janeiro em taludes e encostas íngremes foram também documentados em Andrade (2005) e Santos (1998).

2.7.4. Divisão do Talude e Tratamentos Testados

Foram estabelecidos três diferentes tipos de técnicas de revegetação nas parcelas, tendo sido deixada uma descoberta, como controle. As parcelas foram identificadas com números contados da esquerda para a direita (Parcelas I a IV), tendo sido escolhidas as localizações dos diferentes Tratamentos (1 a 3) aleatoriamente.

Como resultado, na Parcela I foi implantada o Tratamento 1 – Método Adaptado da Embrapa Solos para Taludes, a Parcela II foi mantida desprovida de vegetação como controle, na Parcela III foi aplicada hidrossemeadura (Tratamento 2) e na Parcela IV - Biomanta Anti-erosiva com semeio à lanço (Tratamento 3) (Figura 2-74).

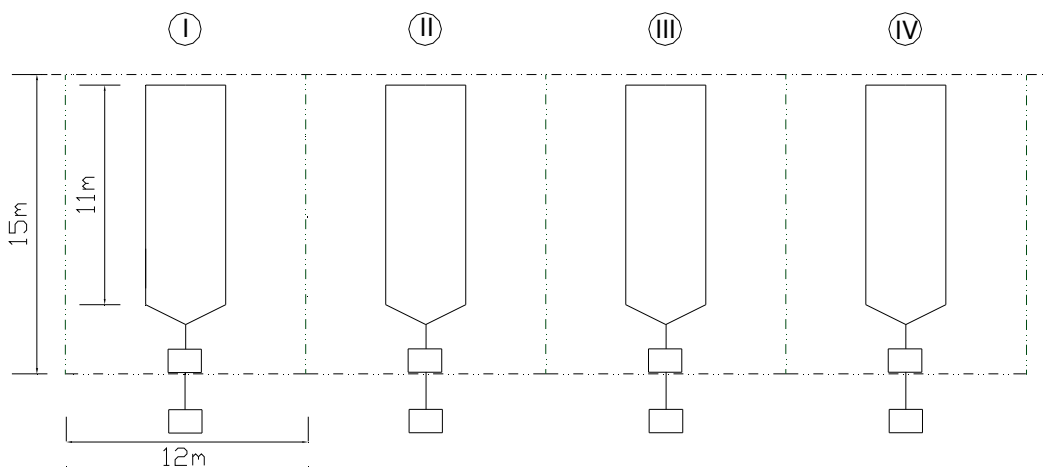


Figura 2-74 Dimensões e numeração das Parcelas experimentais (áreas de 15 x 12 m) para identificação dos tratamentos.

A seguir são discutidos aspectos teóricos dos diferentes tratamentos, suas potencialidades e limitações, bem como especificações utilizadas durante o processo de implantação, incluindo o detalhamento das diferentes espécies, materiais e equipamentos utilizados em cada parcela.

Com o objetivo de gerar um embasamento para discussões, são delineadas as principais questões teórico-metodológicas envolvidas na seleção dos tratamentos investigados, como uma introdução para o detalhamento de cada um dos tratamentos utilizados na face do talude.

O primeiro tratamento é discutido em menor detalhe, uma vez que estas técnicas já foram de uma maneira geral descritas no subitem 2.5. Este roteiro de apresentação teve como objetivo partir do geral até o detalhe, gerando dados para avaliações geotécnicas, hidrológicas, etc.

2.7.4.1. Parcela I – Método Adaptado da Embrapa Solos para Tratamento de Taludes de Corte

No subitem 2.7.3 foi discutido como a recuperação de áreas degradadas pode ser interpretada como um termo mais amplo, enquanto técnicas de bioengenharia de solos ou controle biotécnico são mais centradas em taludes e encostas naturais declivosas.

Como o conjunto de práticas mecânicas, edáficas e vegetativas discutidas até o momento (subitem 2.5) constituem alternativas viáveis para recuperação e revegetação de taludes recém conformados e degradados²⁹, nesta tese procurou-se estabelecer uma relação custo-benefício em termos de controle de erosão, aspectos hídricos e serviços ambientais, comparativamente a técnicas de bioengenharia mais correntemente utilizadas atualmente no contexto nacional da bioengenharia de solos, no caso, técnicas de hidrossemeadura e aplicação de biomantas.

Deste modo, neste tratamento foram implantadas técnicas replicando em grande parte as especificações técnicas utilizadas para revegetação dos taludes do Morro do Radar, onde estas práticas geraram excelentes resultados (conforme no subitem 2.1).

2.7.4.1.1. Detalhamento do Tratamento 1

Na Parcela I, para a implantação do Tratamento 1, foram plantadas leguminosas arbustivas e arbóreas de rápido crescimento (*Mimosa caesalpiniaefolia*, *Acacia holosericea*, *Acacia auriculiformis*, *Albizia guachapelle* e *Cratylia argentea*), inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio (Rizóbio) e

²⁹ Conforme comentado em estudos de caso e pesquisas desenvolvidas no contexto do convênio EMBRAPA-INFRAERO (subitem 2.1). Um exemplo são os taludes do Morro do Radar, onde práticas mecânicas e vegetativas de RAD, como as discutidas no subitem 2.5, foram utilizadas para revegetação, controle de erosão e estabilização geotécnica.

fungos micorrízicos arbusculares (espaçamento entre plantas em linha na horizontal de 1.5m e no comprimento do talude de 2.0 m), sendo plantado Capim Vetiver em dois cordões dividindo o talude em 3 sessões de aproximadamente 5 m na parcela (a seção média mede 4 metros e a inferior e superior 5.5 m cada, conforme Tabela 2-18).

Tabela 2-18 Mudanças utilizadas na Parcela I.

Nome Científico	Fixadora de Nitrogênio?	Nome Vernacular	Família
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Sim	Sabiá	Leguminosae Mimosoideae
<i>Acacia holocericea</i>	Sim	Acácia	Leguminosae Mimosoideae
<i>Acacia auriculiformis</i>	Sim	Acácia	Leguminosae Mimosoideae
<i>Albizia guachapelle</i>	Sim	xxx	Leguminosae Mimosoideae
<i>Cratylia argentea</i>	Sim	Camaratuba, cipó prata, Copada	Leguminosae Faboideae
<i>Vetiveria Zizanioides</i>	Não	Capim Vetiver	Gramineae Poaceae

Nome Científico	Origem	Porte	H Máx (m)
<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i>	Nativa	Arbóreo	10
<i>Acacia holocericea</i>	Nativa	Arbóreo	xxx
<i>Acacia auriculiformis</i>	Nativa	Arbóreo	20
<i>Albizia guachapelle</i>	América Central e México	Arbóreo	20
<i>Cratylia argentea</i>	Nativa	Arbustivo	xxx
<i>Vetiveria Zizanioides</i>	Índia	Herbáceo	xxx

As covas foram abertas no mês de novembro de 2007 (0.2 x 0.2 x 0.2 m), tendo sido o plantio efetuado no dia 17 de dezembro de 2007. O plantio do Capim Vetiver na parcela foi efetuado anteriormente, nos dias 11 e 12 de dezembro de 2007. No dia 6 de março foi realizado o replantio para as mudas que não sobreviveram, e desde então a configuração das plantas manteve-se inalterada até o momento dos abates para medições de biomassa em 2009. Detalhes do replantio, bem como do arranjo final das plantas, encontram-se no Capítulo V.

O coveamento do talude e a configuração das plantas durante o primeiro período de monitoramento (17 de dezembro de 2007 a 6 de março de 2008) encontram-se a seguir na Figura 2-75.

O detalhamento das espécies utilizadas nesta parcela se encontra no Quadro 2-1, Quadro 2-2, Quadro 2-3, Quadro 2-4, Quadro 2-5.

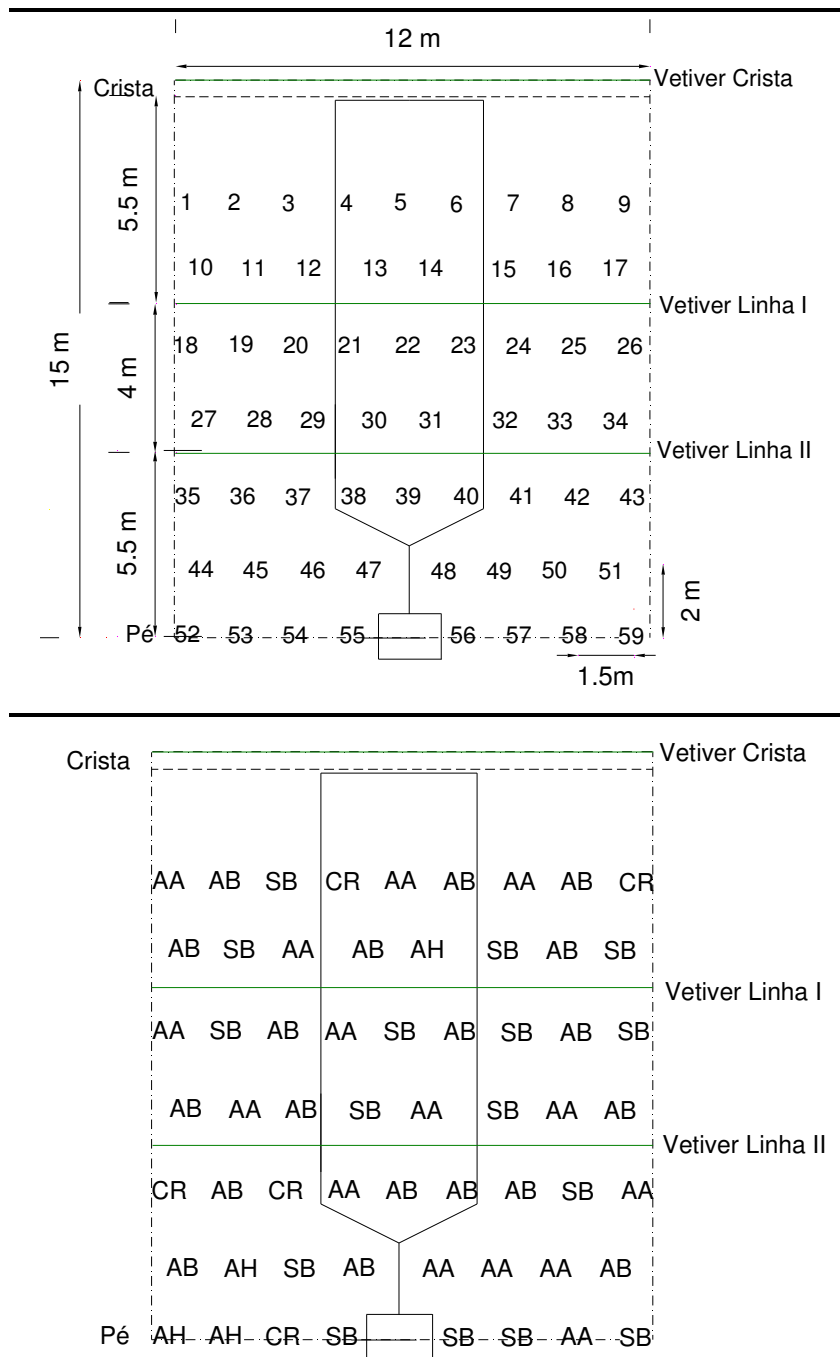


Figura 2-75 Acima - Numeração das covas e espaçamento na Parcela I. Abaixo - Identificação das mudas no período de 17 de dezembro de 2007 à 6 de março de 2008 (AA = *Acacia auriculiformis*; AH = *Acacia holocercicea*; AB = *Albizia guachapelle*; CR = *Cratylia argentea*; SB = *Mimosa caesalpiniaefolia*).

Quadro 2-1 Detalhamento da espécie *Acacia holosericea* A. Cunn. ex G. Don

<i>Acacia holosericea</i> A. Cunn. ex G. Don	Família: Leguminosae (Mimosoideae)
<p>Descrição</p> <p>Leguminosa arbórea fixadora de N₂ atmosférico, nativa Austrália e que vem sendo cultivada no Brasil já há alguns anos, pois tem mostrado boa adaptação nas condições edafoclimáticas do sudeste brasileiro. Possui uma elevada capacidade de ciclar nutrientes, via queda de serrapilheira decomposição de seus resíduos no solo.</p>	<p>Produção de biomassa</p>
<p>Exigência ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Precisa solos com boa drenagem e temperaturas elevadas, e baixa fertilidade. Poda leve após a floração pode melhorar o crescimento ▪ Temperatura: 22 a 25 °C ▪ Altitudes de 0 a 900 metros sobre o nível do mar. 	<p>Outros usos e serviços</p> <p>Árvore ornamental ou para quebra-vento, com produção de lenha.</p>
<p>Semente</p> <p>Quebra de dormência: Imersão em água a temperatura inicial de 80°C, seguida de repouso até que a água esfrie.</p>	<p>Recuperação de Áreas Degradadas</p> <p>Elevadas concentrações de matéria orgânica em substratos cultivados com <i>Acacia holosericea</i> refletem sua grande capacidade de produção de biomassa, queda de filódios e, principalmente, produção de raízes, características desejáveis para espécies a serem utilizadas na revegetação de áreas degradadas.</p>
<p>Ciclagem de nutrientes</p> <p>Via serrapilheira: 3.3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis: 45.3</p>	<p>Referências</p> <p>Reis,(2006); Souchie et al (2005); Souchie et al (2006); Piagentini <i>et al</i> (2002); Chada <i>et al</i> (2004); Costa <i>et al</i> (2004); Carrara <i>et al</i> (2005); Franco <i>et al</i> (1996).</p>



Quadro 2-2 Detalhamento da espécie *Acacia auriculiformis* A. Cunn. ex Benth.

<i>Acacia auriculiformis</i> A. Cunn. ex Benth.	Família: Leguminosae (Mimosaceae)
Descrição Leguminosa nativa da Austrália Apresenta a característica de nodular bem e fixar nitrogênio, podendo atingir até 30 m de altura em locais favoráveis. Resistentes a ventos fortes. Possui grande potencial para melhoramento genético.	Produção de biomassa <i>Parte aérea:</i> 47.8 kg árvore <i>Raízes:</i> 10.4 kg árvore <i>Total:</i> 58.2 kg árvore Plantio de 7 anos.
Exigência ambiental <ul style="list-style-type: none"> ▪ Essa espécie adapta-se a várias camadas de solo, inclusive os de baixa fertilidade, salinos ou sujeitos à encharcamento periódico. Adapta-se também a terrenos íngremes erodidos, e solos arenosos e muito ácidos. Apresenta crescimento rápido É uma espécie de clima quente úmido e quente subúmido com precipitação média anual variando de 1.000 a 2.000 mm. Temperatura: 26 a 30 °C. ▪ Altitude máxima: 600m ▪ Solos: ácidos (pH 3,0), lateritas, areias quartzosas. 	Outros usos e serviços Produção de lenha, polpa para fabricação de papel, sombreamento e ornamentação. Não é considerada forrageira, sendo impalatável para o gado. A madeira serve para mobiliário e é adequada para serviços de construção, torneamento e escultura. A madeira tem uma densidade básica alta (500-650 kg/m ³) e um teor calorífico de 4.700-4.900 kcal/kg, que a torna ideal para lenha e carvão vegetal.
Semente Quebra de dormência: Imersão em água a temperatura inicial de 80°C, seguida de repouso na mesma água, fora do aquecimento por 24 horas. Nº/kg: 60.000 Taxa de germinação com tratamento: 45 – 65% Taxa de germinação pode ser aumentada com o fogo.	Recuperação de Áreas Degradadas Devido ao seu sistema radicular espalhado, densamente emaranhado e seu crescimento inicial rápido, mesmo em locais áridos, e sua tolerância a solos ácidos e alcalinos, a tornam popular para estabilizar e revegetar terras escavada de mina.
Ciclagem de nutrientes Via serrapilheira: 3.3 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis: 45.3	Referências Andrade, A. G. (1997); Piagentini <i>et al</i> (2002); Chada <i>et al</i> (2004); Costa <i>et al</i> (2004); Carrara <i>et al</i> (2005); Franco <i>et al</i> (1992).





Quadro 2-3 Detalhamento da espécie *Albizia guachapelle* (Kunth) Dugand

<i>Albizia guachapelle</i> (Kunth) Dugand		Família: Leguminosae (Mimosaceae)
Descrição	Produção de biomassa	
Leguminosa arbórea fixadora de N ₂ atmosférico, nativa da América Central e México, que tem mostrado boa adaptação nas condições edafoclimáticas do sudeste brasileiro. Com uma elevada capacidade de ciclar nutrientes, via queda de serrapilheira decomposição de seus resíduos no solo.	Parte aérea: 47.8 kg árvore Raízes: 10.4 kg árvore Total: 58.2 kg árvore Plantio de 7 anos.	
Exigência ambiental	Outros usos e serviços	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura: 25 a 30 °C ▪ Baixa fertilidade do solo e alta demanda hídrica ▪ Altitude máxima 800m ▪ Precipitação: 1.000 a 2.000mm ▪ Solos ácidos. 	Usada também como lenha e para ornamentação.	
Semente	Recuperação de Áreas Degradadas	
Quebra de dormência: Imersão em água a temperatura inicial de 80°C, seguida de repouso até que a água esfrie.		
Ciclagem de nutrientes	Referências	
Via serrapilheira: 3.3 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis: 45.3	Andrade, A. G. (1997); Faria et al (1998); Balieiro <i>et al</i> (2005); Piagentini <i>et al</i> (2002); Chada <i>et al</i> (2004); Costa <i>et al</i> (2004); Carrara <i>et al</i> (2005); Franco <i>et al</i> (1992).	



Quadro 2-4 Detalhamento da espécie *Cratylia argentea* (Desvaux) O. Kuntze

<i>Cratylia argentea</i> (Desvaux) O. Kuntze		Família: Leguminosae (Mimosaceae)
Descrição	Produção de biomassa	
<p>Espécie nativa, arbustiva, com ocorrência no Cerrado da Região Centro-Oeste do Brasil, compreendendo também as Regiões Norte e Nordeste. Grande potencial como planta forrageira, bem adaptada a solos ácidos e alta tolerância à seca. Variabilidade genética com possibilidades de melhoramento. Possui crescimento inicial lento em relação a outras leguminosas arbustivas.</p>	<p>Parte aérea: 47.8 kg árvore Raízes: 10.4 kg árvore Total: 58.2 kg árvore Plantio de 7 anos.</p>	
Exigência ambiental	Outros usos e serviços	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Tolerância a seca e a solos ácidos e de baixa fertilidade. Porém a produção de MS é incrementada pela aplicação de doses de calcário. ▪ Apresenta boa capacidade de rebrotação após cortes, inclusive no período da seca. A aplicação de calcário pode contribuir para acelerar o estabelecimento e diminuir os requerimentos iniciais de P ▪ Altitudes entre 180 e 930 metros. ▪ Não é bem adaptada a ▪ Altitudes acima de 1.200m e necessita de solos bem drenados. ▪ Temperatura: ▪ Solo: Latossolo Vermelho-Amarelo ▪ Precipitação: 1.000 a 4.000 mm 	<p>Muito utilizada na alimentação animal, como feno ou silagem e também como cerca viva.</p>	
Semente	Recuperação de Áreas Degradadas	
<p>Possui germinação hipógea. Dificilmente são encontradas sementes dormentes, possui taxa de germinação acima de 90%. Contato com água quente (80°C) é fatal para as sementes. A escarificação mecânica ou química pode acelerar a velocidade da germinação, antecipando e uniformizando a emergência das plântulas.</p>	<p>Devido ao seu sistema radicular espalhado, densamente emaranhado e seu crescimento inicial rápido, mesmo em locais áridos, e sua tolerância a solos ácidos e alcalinos, a tornam popular para estabilizar e revegetar terras escavada de mina.</p>	
Ciclagem de nutrientes	Referências	
<p>Via serrapilheira: 3.3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis:45.3 Tempo de residência:</p>	<p>Ramos et al (2003); Oliveira et al (1998); Costa Filho et al (2006); Xavier et al (1998).</p>	
		

Quadro 2-5 Detalhamento da espécie *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth.

<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> Benth		Família: Leguminosae (Mimosaceae)	
Descrição		Produção de biomassa	
<p>Espécie arbórea de ocorrência natural do Maranhão e região Nordeste, chegado até a Bahia. Atualmente encontra-se plantada em todas as regiões do País, principalmente como cerca viva. Possui rápido crescimento em diversas condições edafoclimáticas, sendo muito usada na revegetação de áreas degradadas. Algumas plantas não possuem acúleos, embora estes estejam presentes na grande maioria das plantas existentes no campo. É uma espécie que merece ser melhorada geneticamente.</p>		<p>Parte aérea: 47,4 kg árvore (plântio 7 anos) Raízes: 4,4 kg árvore-1 (plântio de 6 anos). 6,0 kg árvore (plântio sete anos) Total: 53,4 kg árvore Serrapilheira: Em Planossolo Háptico: 10,2 Mg ha-1 ano-1 (64% de folhas, 14% estrutura reprodutiva, 17% galhos e 5% refugo)(plântio com 4 anos); Em área de empréstimo (RJ): 8,8 Mg ha-1 ano-1 (63% de folhas, 5% estrutura reprodutiva, 32% galhos e 1%refugo) (10 anos de plântio).</p>	
Exigência ambiental		Outros usos e serviços	
<p>▪ Temperatura: 20 a 30oC; altitude: até 800m; Precipitação: 600 a 1000 mm; Resistência a seca: bastante tolerante; Rebrotar: elevada capacidade, inclusive após fogo. Solo: de leves (arenosos) a pesados (argilosos); baixa fertilidade natural e ácida; alagados temporariamente e alcalinos e salinos.</p>		<p>Cerca viva; sombra; forragem para animais em épocas de estiagem no semi-árido; ornamental; conservação do solo; moirões; carvão; poste; quebra-vento; FBN; flores melíferas.</p>	
Semente		Recuperação de Áreas Degradadas	
<p>Quebra de dormência: (i) embeber em água quente por 15 minutos ou tratamento de imersão em ácido sulfúrico (ii) pode germinar sem tratamento especial. No/kg: 22.000. Taxa de germinação: 50-80% A espécie não apresenta problemas de germinação,, estabelecimento e repicagem em viveiro. Cresce bem em caixas de isopor (plantágil), embora se destaque em sacos plásticos (BR). Em áreas com elevada umidade relativa a incidência de fungos tem sido tratada com Benlate na dose de 0,7 g l-1</p>		<p>Em áreas com subsolo exposto, como áreas de empréstimo ou de voçorocas a espécie tem apresentado ótimo estabelecimento e desenvolvimento, recobrando totalmente o solo em 1 ano, em espaçamento de 1,5 m por 1,5m. A prefeitura da cidade do Rio de Janeiro utiliza amplamente a espécie em áreas de risco geotécnico. Em áreas com elevada saturação de Na, como em tanques de rejeito de bauxita e áreas com influência marítima, a espécie apresenta bom desenvolvimento, comparativamente a outras espécies. O uso de água de irrigação, associada a condicionadores como gessagem e adição de solo em superfície tem incrementado seu desenvolvimento numa relação linear. A adição de matéria orgânica em cova tem favorecido o estabelecimento e crescimento inicial em áreas com baixos teores de C orgânico.</p>	
Ciclagem de nutrientes		Referências	
<p>Via serrapilheira: 3.3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis: 45.3 Tempo de residência:</p>		<p>Andrade, A. G. (1997); Andrade et al (2000); Piagentini <i>et al</i> (2002); Barroso et al (1998); Costa <i>et al</i> (2004); Franco <i>et al</i> (1992); Franco et al (1997); Harri & Lorenzi (1992); Santos et al (2004); Martins et al (1992)</p>	



A adubação consistiu de uma mistura de 150 mg de Superfosfato Simples, 100 mg de KCl, 20 mg de FTE (BR12), utilizando-se como meio uma mistura de solo/composto orgânico (proveniente de processo de compostagem da apara de grama produzida no próprio aeroporto³⁰) na proporção 2:1. Para a adubação do Vetiver (dose de uma cova equivalente a um metro linear) foi adicionado 80 mg de sulfato de amônio. O plantio das leguminosas foi realizado através de mudas com 0.2 a 0.3 m de altura. O capim Vetiver foi plantado através de propágulos extraídos de touceiras sadias provenientes de uma área degradada já revegetada situada dentro do aeroporto (Morro do Radar) e após o plantio toda a parcela foi recoberta com apara de grama, visando reter umidade e fornecer condições para o pegamento da vegetação. (Figura 2-76 e Figura 2-77)



Figura 2-76 A – Preenchimento da cova com composto. B – Plantio. C - Mudas recém plantadas. D – Parcela I logo após o término dos plantios.

³⁰ As características deste composto estão descritas no subitem 2.5.2.3.2.

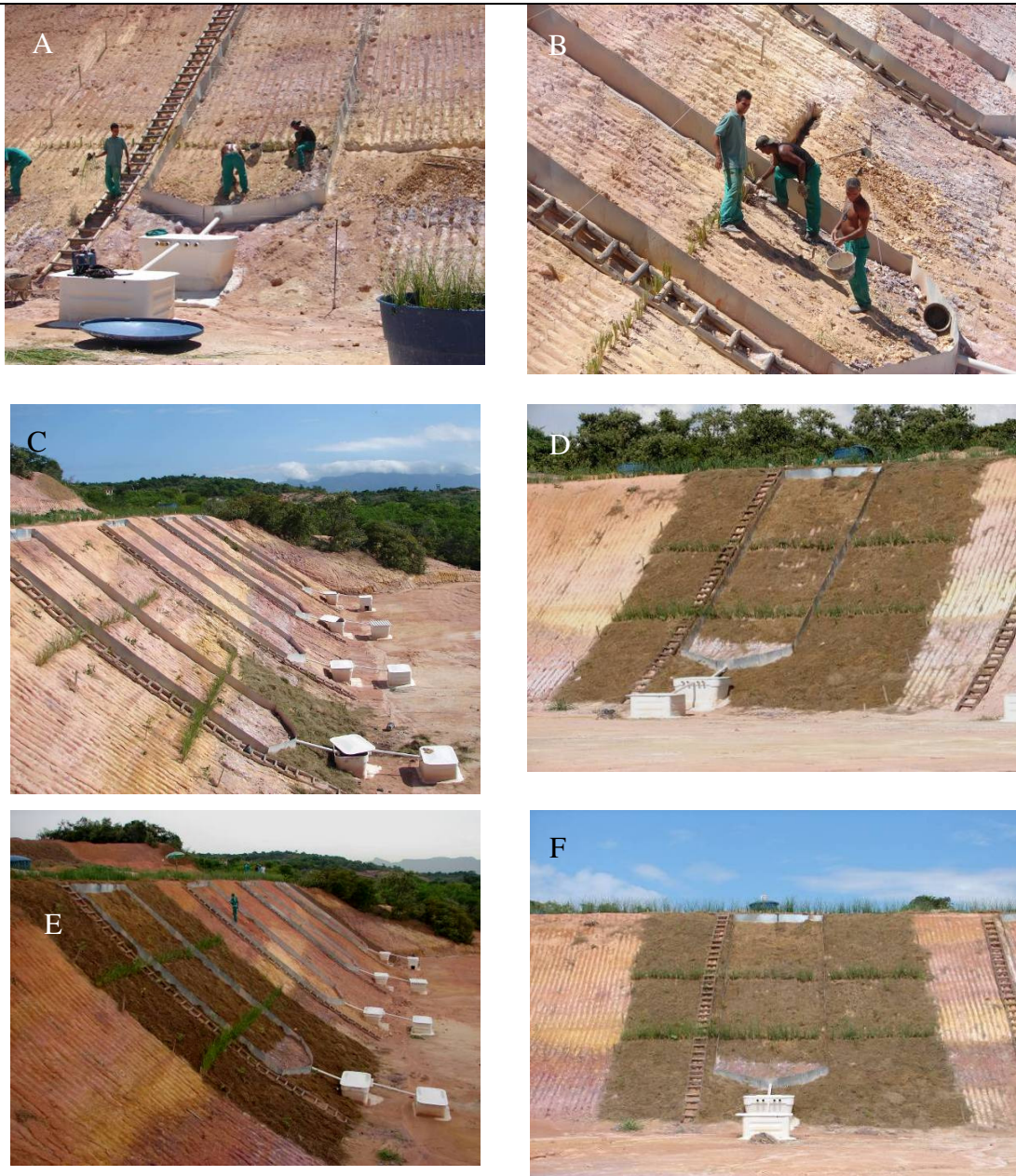


Figura 2-77 Visão frontal da Parcela I, podendo-se observar as mudas de leguminosas e os cordões de capim vetiver.

2.7.4.2. Parcela II - Controle

A segunda parcela foi deixada sem nenhum tipo de plantio, sendo utilizada como controle no experimento. Além disso, as coletas de amostras de solos foram concentradas nesta parcela visando manter as condições originais dos tratamentos.

2.7.4.3. Parcela III - Hidrossemeadura

A hidrossemeadura consiste no jateamento em alta pressão de uma solução aquosa constituída por sementes, fertilizantes químicos e orgânicos, colantes naturais, mulch, etc. (detalhes técnicos na Figura 2-78). Sua utilização é ampla e sua fórmula poderá ser diferenciada conforme o camada de solo. O desafio nesta prática é fazer essa massa aderir ao solo formando uma camada que fixe as sementes e demais componentes, funcionando como um protetor contra o impacto direto das chuvas e a erosão.



Figura 2-78 A – termômetro para monitoramento da temperatura dentro do tanque. B – sistema de agitação da massa. C – Celulose utilizada como Mulch. E – esterco de curral aplicado após o jateamento para fixação e adubação final.

A execução do processo deve obedecer às seguintes etapas:

- Análises químicas e físicas dos solos;
- Escarificação do solo (também denominado microcoveamento) para remover a camada exposta e oxidada;
- Aplicação da massa com equipamentos especiais (jateamento com bomba hidráulica);

Fertilizações de cobertura e replantes até a total formação da camada vegetal (aplicações de esterco, *mulch* etc.);

2.7.4.3.1. Potencialidades e Aplicações

A técnica de plantio por hidrossemeadura tem sido indicada para as mais diversas condições geotécnicas, sendo considerado por muitos um método rápido e eficiente de revegetação indicado principalmente para taludes amplos e providos de acesso para veículos pesados. Abaixo são listadas algumas das diversas situações onde geralmente é aplicada hidrossemeadura:

- Construção de ferrovias, rodovias, aeroportos, barragens e dutos;
- Campos de golfe, futebol, praças e condomínios residências;
- Campos de pousos de ultraleves;
- Proteção de lagoas e corpos hídricos;
- Cobertura final de aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos (ARSU);
- Recuperação de áreas degradadas, reabilitação, restauração ambiental, trabalhos de renaturalização de paisagens.

Nos projetos de revegetação com hidrossemeadura as espécies indicadas são as gramíneas e as herbáceas, dado que são consideradas eficazes na agregação dos solos, pela ação direta de suas raízes, cujo volume normalmente é maior do que o da parte aérea. A formação de agregados se faz na superfície de contato entre as raízes e o solo reduzindo sua erodibilidade (Einloft, 1996) Dentre as gramíneas mais utilizadas em programas de revegetação, têm sido citadas: capim gordura; capim braquiária; brizantha; capim colônia e capim chorão (Fox, 1984; Silva, 1993a). O uso combinado de espécie herbáceas, arbustivas e arbóreas também tem sido muito recomendado como uma alternativa recente (Silva, 1993a; Motta Neto *et al.*, 1995) para a escolha de espécies, dado que as herbáceas possuem um sistema radicular em geral frágil e pouco profundo. Este tipo de estratégia vem sendo recomendado para mineração e taludes rodoviários.

2.7.4.3.2. Limitações

Sabe-se que esta técnica da hidrossemeadura nem sempre apresenta resultados satisfatórios. De acordo com a USDA (1984), o seu uso possui algumas limitações, sendo as principais referentes a uma recorrente falta aderência da massa à superfície do solo, ocasionando da perda extensiva de sementes e insumos (que são carregados rumo às drenagens das estradas como escadas, bueiros e demais

obras de arte), ou na fixação e estabelecimento da vegetação somente nos terços inferiores das encostas deixando os terços superiores descobertos (Figura 2-79).

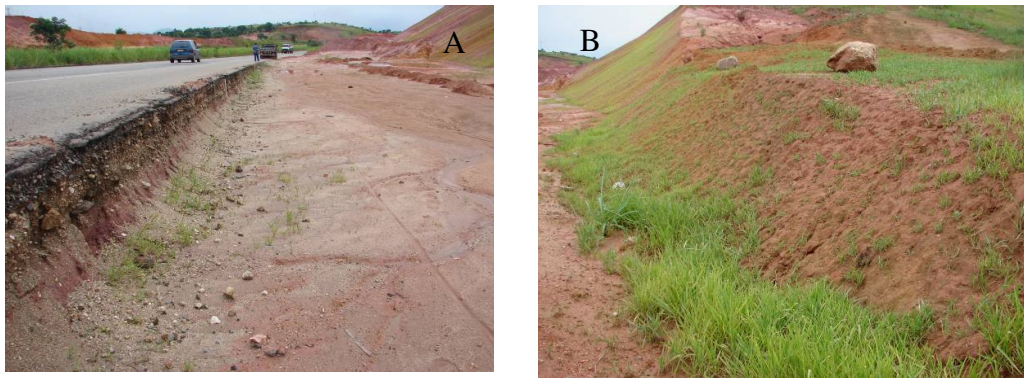


Figura 2-79 Limitações da hidrossemeadura. A – observa-se a perda de sementes e insumos e carregamento para as sarjetas das pistas e drenagens, evidenciado pelo aparecimento de brotos nestes pontos. B – Má fixação da massa de sementes/insumos pode provocar a sua descida concentrando a vegetação no terço inferior e deixando os taludes descobertos nas cristas e terços médio/superior.

Isto é, apesar de se tratar de uma prática com a qual é possível recobrir uma grande área (cada caminhão pipa pode cobrir até em torno de 1000m² de taludes a um custo médio entre R\$ 0.80 e R\$ 1.20 o m², dependendo dos insumos aplicados), possibilitando a revegetação de grandes obras em um curto espaço de tempo, têm-se a questão da manutenção destas áreas verdes, o que vem gerando sérios problemas de erosão, muitas vezes acarretando na formação de voçorocas, nas rodovias, ferrovias e demais obras aonde esta tecnologia vem sendo aplicada desde meados da década de 70.

Os problemas normalmente têm seu início no terço superior, posteriormente abrangendo o talude como um todo e possivelmente comprometendo sua estabilidade podendo desencadear movimentos de massa.

Além destes principais aspectos discutidos até o momento, tem-se ainda se seguintes limitações técnicas:

- Danos às sementes no processo de agitação e bombeamento da mistura;
- Não recomendado para solos coesos;
- Pode não funcionar em longo prazo, sendo necessária manutenção periódica;
- Tempo demasiado de contato entre o fertilizante e a semente pode ocasionar em germinação precoce.
- Para leguminosas inoculadas exige controle de pH para evitar mortalidade de bactérias.

2.7.4.3.3. Detalhamento do Tratamento 2

O Tratamento 2 envolveu um plantio através de hidrossemeadura convencional, utilizando-se de uma mistura de 4000L de água, 1 saco de Fosfato 10 kg), saco de mulch (20 kg), 1 saco de NPK 4-14-8 (20 kg), 3 sacos de composto orgânico (esterco bovino, 20 kg), 1 saco de sementes (20 kg) com sementes de feijão-guandu (*Cajanus cajan (L.) Millsp.*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), capim agulha (*Braquiaria humidicola*), crotalária (*Crotalaria juncea L.*), calopogônio (*Calopogonium mucunoides Desv.*), aveia preta (*Avena strigosa Schreb.*) e Setaria (*Setaria sphacelata Schumach.*) (em torno de 2.5 kg de sementes para cada espécie, Tabela 2-19).

Esta mistura foi utilizada para a aplicação na parcela e também em uma faixa de 30 m do talude acima, que possui geometria semelhante (totalizando uma área de 500 m² para aplicação dos insumos nas proporções adequadas). O talude foi primeiramente coveado, e, posteriormente, a mistura foi bombeada e jateada através de um caminhão pipa adaptado. O plantio foi executado no dia 8 de março de 2008 pela Empresa Fixa-Verde LTDA.

Detalhes de cada uma das espécies plantadas encontram-se no Quadro 2 6, Quadro 2 7, Quadro 2 8, Quadro 2 9, Quadro 2 10, Quadro 2 11 e Quadro 2 12 a seguir. Detalhes do processo de aplicação da hidrossemeadura para o Talude I encontram-se nas Figura 2-80 e Figura 2-81 e do processo de aplicação no Talude II logo acima nas Figura 2-82, Figura 2-83. Figura 2-84.

Tabela 2-19 Mudanças utilizadas na Parcela III.

Nome Científico	Nome Vernacular	Família	Origem
<i>Avena strigosa</i>	Aveia Preta	Leguminosae Fabaceae	Europa
<i>Brachiaria humidicola</i>	Capim Agulha	Gramineae Poaceae	África
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão Guandu	Leguminosae Fabaceae	África
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	Leguminosae Fabaceae	Índia e Américas
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalaria	Leguminosae Fabaceae	Índia
<i>Raphanus sativus</i>	Nabo Forrageiro	Leguminosae Fabaceae	Europa
<i>Setaria sphacelata</i>	Setaria	Gramineae Poaceae	África

Nome Científico	Porte	Ciclo Vegetativo	Nº/Kg
<i>Avena strigosa</i>	Herbáceo	Anual	30.000
<i>Brachiaria humidicola</i>	Herbáceo	Perene	25.000
<i>Cajanus cajan</i>	Herbáceo	Perene	16.000
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Rasteiro	Perene	75.000
<i>Crotalaria juncea</i>	Arbustivo	Anual	26.000
<i>Raphanus sativus</i>	Herbáceo	Anual	xxx
<i>Setaria sphacelata</i>	Herbáceo	Perene	15.000

Quadro 2-6 Detalhamento da espécie *Cajanus cajan* (L.) Millsp.

<i>Cajanus cajan</i> (L.) Millsp.	Leguminosae (Fabaceae)
Descrição	Produção de biomassa
Leguminosa arbustiva anual ou semiperene, que apresenta um grande potencial de uso em diferentes regiões brasileiras. Devido seu emprego como planta protetora e recuperadora de áreas degradadas, proporcionando melhoria física, química e biológica do solo. Tolerância a condições adversas, como o estresse hídrico causado por longos períodos de estiagem e por solos de baixa fertilidade, desenvolvendo-se bem tanto nos solos argilosos quanto nos arenosos. Possuem grande variabilidade genética, com grande quantidade de genótipos existentes.	15-30t/ ha de massa verde e de 5-18 t/ha de matéria seca Parte aérea: Raiz: Total: Pode produzir até 11 t ha-1 de fito massa seca, o que pode incorporar ao sistema até 283 kg ha-1 de N e 23 kg ha-1 de P
Exigência ambiental	Outros usos e serviços
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura: 25 a 35°C; ▪ Altitude: 400 a 1.500m; ▪ Precipitação: 900 a 1.500mm; ▪ Bastante tolerante a seca, frio e a encharcamentos periódicos. ▪ Solo: ácido e de baixa fertilidade, mas prefere solos bem drenados e profundos, mas pode vegetar em solos argilosos pesados. pH 5,0 a 7,0 	Alimentação, adubação verde.
Semente	Recuperação de Áreas Degradadas
Não necessita de tratamentos de quebra de dormência, pois em geral percentagem de sementes duras é muito baixa (10%). Entretanto há diferenças nessas taxas entre os genótipos de guandu. No/kg: 16.000 Taxa de germinação: 85%	Devido forte e rigoroso sistema radicular capaz de romper camadas compactadas e aprofundar no perfil do solo e a capacidade de fixação de N (14,5 mg/dia/ha)
Ciclagem de nutrientes	Referências
Via serrapilheira: 3.3 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis: 45.3	Queiroz et al (2007); Alcântara et al (2000); Abboud et al (2006); Godoy et al (2001); Provazi et al (2007).



Quadro 2-7 Detalhamento da espécie *Calopogonium mucunoides* Desv.

<i>Calopogonium mucunoides</i> Desv.	Leguminosae (Fabaceae)
Descrição	Produção de biomassa
Nativo da Índia e Américas Apresenta alguma tolerância ao encharcamento do solo, porém, não tem nenhuma resistência ao frio, especialmente à geadas Cresce bem em solos úmidos, tolerante a inundação. Adapta se a solos leves e pesados, desenvolvendo se bem em solos com pH 4,5 a 5,0. É uma planta de crescimento de verão, tornando-se perene em climas úmidos com precipitação acima de 1125 mm. Em regiões com estação seca ou ocorrência de geadas fracas, perde as folhas e pode morrer durante o período seco, mas se regenera na estação chuvosa, por ressemeadura natural, formando uma densa camada de vegetação num período de 4 a 5 meses.	
Exigência ambiental	Outros usos e serviços
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Temperatura: 15 a 35°C; ▪ Altitude: 300 a 1.800 m; ▪ Precipitação: 700 a 1.500 mm; ▪ Não apresenta requisitos específicos quanto à textura do solo e cresce bem mesmo em solos ácidos (pH 4.5 a 5.0), de baixa fertilidade. ▪ Fertilidade do solo: Baixa ▪ Camada de solo: ácido, drenado, úmido, seco. ▪ Tolerância: Seca, acidez e fogo. ▪ Trepadeira, raízes rasas, propagação por semente, rasteira. 	É utilizado para pastoreio com gramíneas, como pasto de corte ou para feno e em áreas degradadas e erodidas. Utilizado também como adubo verde ou nas entrelinhas de pomares, como cobertura capaz de fixar nitrogênio que retorna ao solo pela incorporação da planta ou queda das folhas.
Semente	Recuperação de Áreas Degradadas
No/kg: 75.000 Taxa de germinação: 70% As sementes de calopogônio devem ser escarificadas e inoculadas antes do plantio, podendo ainda ser politizadas com fosfato de rocha. A escarificação pode ser feita pela imersão das sementes em água fervente durante 10 minutos e posterior secagem à sombra.	Devido forte e rigoroso sistema radicular capaz de romper camadas compactadas e aprofundar no perfil do solo e a capacidade de fixação de N (14,5 mg/dia/ha)
Ciclagem de nutrientes	Referências
	Pereira (2006)



Quadro 2-8 Detalhamento da espécie *Raphanus sativus*

<i>Raphanus sativus</i>	Leguminosae (Fabaceae)
Descrição	Produção de biomassa
<p>Planta oleaginosa que pertence à família Brassicaceae ou Cruciferae, de ciclo anual, está entre as mais antigas espécies usadas na produção de óleo, sendo cultivado principalmente na Ásia Oriental. Originário da parte sul da Europa, o nabo forrageiro é uma crucífera anual de inverno, herbácea, ereta, muito ramificada, dotada de pelos ásperos. A raiz é pivotante, às vezes tuberosa, podendo atingir de 1 a 1.80 m. As folhas são alternadas de 12 a 15 cm de comprimento, com longo lobo terminal. Por suas vez, as folhas superiores ou caulinares são alternadas. As inflorescências do nabo forrageiro situam-se nas partes terminais do caule, em racemos longos, com flores predominantemente brancas, às vezes roxas ou brancas com matizes de branco ou lilás. Temperaturas relativamente baixas durante o crescimento vegetativo favorecem a floração abundante.</p>	<p>Produz de 5 a 10 toneladas de massa seca por hectare.</p> <p>A produção da massa verde flutua entre 22 a 35 ton/ha e a de grãos (com 27 a 42% de óleo) entre 0,5 e 1,5 ton/ha.</p>
Exigência ambiental	Outros usos e serviços
<ul style="list-style-type: none"> ▪ É pouco exigente em fertilidade, resistente a solos ácidos. É bastante tolerante à seca e ao frio. ▪ Não há ocorrência de pragas ou de doenças que mereçam controle. ▪ Apresenta, ainda, características alelopáticas muito acentuadas que lhe conferem a condição de inibir a emergência e o desenvolvimento de uma série de invasoras indesejáveis. ▪ Altitude: 150 a 1600 ▪ Precipitação: 200 a 1300 ▪ Temperatura: 5 a 30 °C 	<p>Por possuir um longo período de floração (mais de 30 dias), é indicado para criação de abelhas, com produção de mel de boa qualidade.</p> <p>Apresenta elevada produção de massa verde durante a época mais fria do ano, o que faz dele uma importante fonte de alimentação para o gado na chamada época de seca, e também cobre o solo eficientemente durante um período de alta erosividade.</p> <p>Fornecimento de massa (palha) para o plantio direto, como cobertura do solo e reciclagem de nutrientes. Com menor frequência, destina-se à alimentação animal e a pasto apícola. Recentemente seu uso vem sendo ampliado, com destaque para os grãos que estão sendo considerados como excelente fonte de matéria-prima para produção de bio-combustível.</p>
Semente	Recuperação de Áreas Degradadas
<p>Semeadura de maio a junho à lanço ou em linhas, com profundidade de 3 a 4 cm. É recomendada a dose de 10 a 20 kg/ha de sementes</p>	<p>Por ser uma planta muito vigorosa, devido seu sistema radicular pivotante e agressivo, capaz de romper camadas de solo extremamente adensadas e/ou compactadas, podendo ser classificado como excelente subsolador natural.</p>
Ciclagem de nutrientes	Referências
<p>Elevada capacidade de reciclagem de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, o que o torna uma planta de cobertura vantajosa em sistemas de rotação.</p>	<p>Pardo et al (2008); Teixeira & Modesto-Zambieron (2007); Carpi (2005); Romano et al (2005); Marcos Filho & Kikuti (2006).</p>



*Fotos tiradas de indivíduos na Área Z.

Quadro 2-9 Detalhamento da espécie *Avena strigosa* Schreb.

<i>Avena strigosa</i> Schreb.	Leguminosae (Fabaceae)
<p>Descrição</p> <p>Gramínea anual, originária da Europa é uma forrageira de inverno, bastante rica em proteínas e minerais e muito apreciada pelo gado. Apresenta boa capacidade de rebrota de três a quatro cortes por ano. Indicada para forragem. Com excelente capacidade de perfilhamento e produção de massa verde. Suporta os mais variados climas, principalmente onde ocorrem temperaturas amenas e bons teores de umidade. É cultivada em solos pobres e pode se tornar uma praga em lavouras de milho. É menos sensível a acidez do solo, vegetando bem em solo com pH 5,0 a 7,0.</p>	<p>Produção de biomassa</p> <p>Produção de forragem: 8-12tMS/ha/ano</p>
<p>Exigência ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Vegeta em uma grande variedade de solos, mas prefere os argilosos limosos onde não haja estagnação de água. Solos arenosos sem teores de potássio adequados são limitantes ao seu cultivo, uma vez que reduzem a resistência a doenças. Responde bem a fertilização nitrogenada e fosfatada, sendo o potássio também um elemento de importância. Não possuem tolerância a seca e prefere solos bem drenados. ▪ Altitude: 600 a 1700m ▪ Precipitação: 700 a 1300 mm ▪ Temperatura: 05 a 20°C ▪ Camada de solo: drenado e seco ▪ Tolerância: geada ▪ pH em torno de 6.5 	<p>Outros usos e serviços</p> <p>Pastoreio, ensilagem, adubo verde. Usada também para revegetar rapidamente áreas desnudas. É uma espécie anual que pode favorecer a produção de matéria seca para o solo e nutrientes para outras espécies.</p>
<p>Semente</p> <p>Germinação: 75% Não possuem dormência Nº de sementes: 30.000 por quilo</p>	<p>Recuperação de Áreas Degradadas</p>
<p>Ciclagem de nutrientes</p>	<p>Referências Pereira (2006)</p>



*Fotos tiradas de indivíduos na Área Z.

Quadro 2-10 Detalhamento da espécie *Crotalaria juncea* L.

<i>Crotalaria juncea</i> L.	Leguminosae (Fabaceae)
<p>Descrição</p> <p>Leguminosa anual, de porte arbustivo, com crescimento rápido. Prefere solos de média fertilidade, mas que sejam bem drenados. E vem sendo usada em recuperação de solos degradados. Por apresentar um bom sistema radicular, melhora a infiltração de água e possui boa capacidade de fixar nitrogênio e promover uma elevada reciclagem de vários nutrientes no perfil do solo. Grande potencial de fixação biológica de nitrogênio, na reciclagem de nutrientes, no controle de plantas espontâneas, na descompactação do solo e como fitonematóide. Não tolera solos ácidos e encharcados. Boa tolerância a seca.</p>	<p>Produção de biomassa</p> <p>Apresenta produção de biomassa variando em geral de 15-60 toneladas/ha de massa verde 3</p>
<p>Exigência ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fertilidade do solos: Média ▪ Solos: Bem drenados. ▪ Temperatura: 15 a 35°C ▪ Precipitação: 600 a 1.500mm ▪ Altitude: 0 a 1.000m ▪ Alta resistência a seca ▪ Baixa resistência ao frio 	<p>Outros usos e serviços</p> <p>Amplamente usada como adubo verde, produção de fibras e celulose de alta qualidade, próprias para a indústria de papel e na confecção de cordas, sacos, tapetes e cestas. Como o teor de cinza é muito baixo, a fibra da crotalaria é usada na fabricação de lenços de papel de alta qualidade e papéis de cigarro. Também é utilizada no controle de nematóide no solo.</p>
<p>Semente</p> <p>18.000 a 35.000 unidades/kg Não possuem dormência Germinação: 75%</p>	<p>Recuperação de Áreas Degradadas</p> <p>Devido forte e rigoroso sistema radicular capaz de romper camadas compactadas e aprofundar no perfil do solo e a capacidade de fixação de N (14,5 mg/dia/ha)</p>
<p>Ciclagem de nutrientes</p> <p>O aporte de N ao sistema solo/planta é estimado entre 100 e 300 kg N/ha/ano</p>	<p>Referências</p> <p>www.cnpab.embrapa.br/publicacoes/leguminosas/crotalaria</p>



*Fotos tiradas de indivíduos na Área Z.

Quadro 2-11 Detalhamento da espécie *Setaria sphacelata* (Schumach.).

<i>Setaria sphacelata</i> (Schumach.).	Família: Poaceae
<p>Descrição</p> <p>Gramínea forrageira originária da África, de ciclo de vida perene, de crescimento cespitoso. Possui grande adaptação a diferentes condições edafoclimáticas, não exigente quanto à fertilidade do solo suportando altas precipitações com encharcamentos periódicos e geadas leves. Possui um bom índice de rebrota.</p>	<p>Produção de biomassa</p> <p>20t/ha 8 a 10 ton.MS/ha/ano</p>
<p>Exigência ambiental</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Fertilidade do solo: Baixa - Média ▪ Solos: Não vegeta bem em solos excessivamente ácidos ou alcalinos. ▪ Temperatura: 15 a 35°C ▪ Precipitação: 800 a 2.500mm ▪ Altitude: 0 a 3.000m ▪ Apresenta razoável tolerância a solos ácidos e toxidez por manganês; requer solos bem drenados, no entanto tolera o encharcamento, desde que não muito prolongado; apresenta boa tolerância ao déficit hídrico. 	<p>Outros usos e serviços</p> <p>Pastoreio e fenação</p>
<p>Semente</p> <p>Nº/kg: 15.000</p>	<p>Recuperação de Áreas Degradadas</p>
<p>Ciclagem de nutrientes</p> <p>Via serrapilheira: 3.3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis: 45.3</p>	<p>Referências</p> <p>www.cpafrro.embrapa.br/embrapa/bases/setaria</p>



*Fotos tiradas de indivíduos na Área Z.

Quadro 2-12 Detalhamento da espécie *Brachiaria humidicola* (Rendle) Schweick.



<i>Brachiaria humidicola</i> (Rendle) Schweick.		Família: Poaceae
Descrição		Produção de biomassa
<p>Gramínea de ciclo vegetativo perene, originária das regiões leste e sudeste da África, possui alta capacidade de adaptação edafoclimática incluindo solos de baixa fertilidade, encharcados e cascalentos. Não tem tolerância ao fogo. Alta habilidade de enraizamento, promovendo rápida cobertura do solo. Alta tolerância ao frio e a seca, tolera a solos ácidos, presença de alumínio e baixos teores de fósforo. Possui um bom poder de rebrota. Propaga por semente e estacas. Possui crescimento inicial lento.</p>		45/ha 8,0 toneladas de matéria seca/ha/ano
Exigência ambiental		3Outros usos e serviços
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fertilidade do solo: Baixa a média ▪ Solos: ácidos ▪ Temperatura: 15 a 35 °C ▪ Precipitação: 700 a 2.000 mm /ano ▪ Altitude: 300 a 6.600 m 		Controle de erosão e ao pastoreio
Semente		Recuperação de Áreas Degradadas
<p>Dormência: Alto índice de dormência recomenda-se tratamento. A escarificação com ácido sulfúrico prejudica a germinação.</p>		
Ciclagem de nutrientes		Referências
<p>Via serrapilheira: 3.3 Mg ha⁻¹ ano⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis: 45.3</p>		Martins & Usberti (2007); Scapim et al (2001). Macedo et al (1994); Laura et al (2009); Mattos et al (2005); Silva et al (2002); Pereira et al (2006)
		



Figura 2-80 A,B – coveamento da área da parcela. C – caminhão pipa adaptado para hidrosseadura da empresa Fixa Verde. D, E,F – jateamento da hidrosseadura.

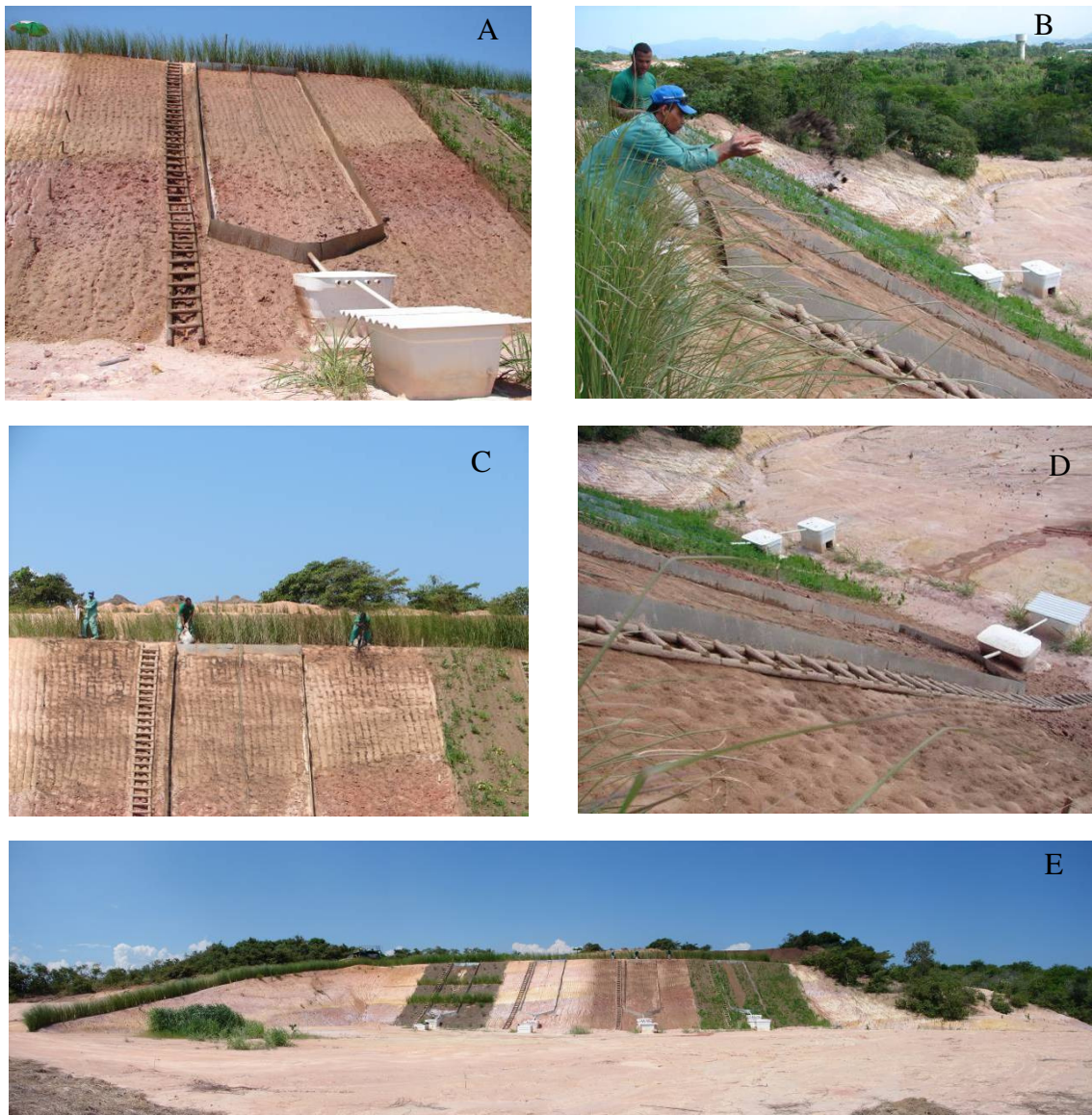


Figura 2-81 A – aspecto do talude após a aplicação do jateamento. B,C – lanço de esterco e *megamulch* para fixação final da massa. D – Aspecto do talude após o lanço dos últimos insumos. E – vista frontal do talude como um todo após a aplicação da hidrossemeadura na Parcela III.



Figura 2-82. A ,B – coveamento do Talude II. C,D – detalhe das covas (micro-covas). E – caminhão de hidrosseadura da empresa Fixa-Verde no acesso acima da crista do Talude II. F – início do jateamento no Talude II.



Figura 2-83. A,B – Jateamento no Talude II. C – aspecto do talude após o jateamento. D,E,F - aplicação de esterco e *megamulch*.

F



Figura 2-84 Aspecto da superfície do solo antes (A) e após (B) o recobrimento final com esterco e megamulch. C, detalhe do aspecto da massa, observando-se sua aderência nas mãos do funcionário. D – semente de feijão-guandu. E – aspecto final do Talude II após a aplicação da hidrossemeadura.

2.7.4.4. Parcela IV – Semeio à Lanço com Biomanta Antierosiva

O que convencionalmente se denomina Biomanta Antierosiva é uma manta constituída por fibras naturais e biodegradáveis de coco, ou sisal, ou ainda outros tipos de fibras vegetais. O material é fabricado industrialmente, a partir de fibras vegetais, palha agrícola, fibra de coco e fibras sintéticas, existindo uma grande variedade de tipos e especificações disponíveis no mercado.

As fibras são costuradas industrialmente, formando uma trama resistente, protegidas por redes de polipropileno ou juta, o que permite programar sua degradabilidade. Podem ser do tipo trama e urdidura ou agulhada, disposta entre malhas sintéticas foto degradáveis. A comercialização do material é feita por meio

de rolos (que podem também estar impregnados com sementes e fertilizantes) facilitando sua aplicação. Como vantagens principais destacam-se a rápida aplicação, o controle imediato da erosão, a elevada eficiência, e como desvantagem observa-se os custos elevados (em torno de R\$ 0.90 a R\$ 2.00 por m²) e necessidade de trabalhos intensivos, geralmente com as despesas com o transporte do material e treinamento.

2.7.4.4.1 Potencialidades e Aplicações

As biomantas podem ser aplicadas diretamente sobre a superfície que se deseja proteger com finalidades estéticas, ambientais e para estabilização de solos. A composição, degradabilidade, gramatura, e resistência das biomantas devem adequar-se às necessidades dos projetos de recuperação e proteção ambiental específicos, já que esses se destinam às diferentes necessidades e situações. Antes da aplicação das biomantas aplica-se hidrossemeio ou semeadura a lanço, com espécies diversas de gramíneas e leguminosas (com raízes de diferentes comprimentos e arquitetura, que atingem camadas mais profundas no solo formando agregados estáveis).

As funções das biomantas podem ser diversas, como: proteção do solo erosão; auxílio no desenvolvimento vegetal, através da manutenção da umidade no solo e por melhorar a infiltração e por reduzir a evaporação; agrega matéria orgânica do solo durante sua decomposição; auxilia no desenvolvimento microbiano, etc.

Dentre as principais vantagens técnicas podem ser citadas:

- Proteção imediata contra erosão;
- *Mulch* para germinação de sementes;
- Aumenta a CTC do solo;
- Reduz a erodibilidade e incorpora matéria orgânica;
- Possui degradação programável;
- Reduz perdas por evaporação;
- Reduz a insolação direta sobre o solo;
- Ancora sementes;
- Reduz o escoamento superficial da água, favorecendo a infiltração;
- Rapidez no processo de revegetação;

- Aspecto paisagístico, margens de cursos d'água e canais de drenagem.

2.7.4.4.2. Biomantas como Geossintéticos aplicados à Bioengenharia

Os geossintéticos incluem uma série de sistemas que possuem diversas funções em obras ambientais: biomantas para controle da erosão, retenção de sedimentos; geomembranas, materiais para impermeabilização e descomissionamento³¹ dos aterros de resíduos sólidos urbanos (ARSU), como os GCL³²; geotêxteis, georedes, geogrelhas, geocompostos e geotubos para estabilização de encostas e taludes, drenagem etc. (Koerner & Daniel, 2002, Marques, 1998).

Em termos de sua utilização para controle de erosão, observa-se desde 1958 e existência de um componente incorporado a um sistema o qual revolucionou práticas da proteção de encostas, canais e aterros. O material utilizado no empacotamento dos fardos de algodão (juta) poderia ser reaproveitado como matéria-prima para prevenir a erosão: sua composição feita de uma malha grossa trançada de fios naturais, provia centenas de micropoços que ajudavam a barrar o solo contra o carreamento (Theisen, 1992).

Uma técnica utilizada desde então é a combinação de mantas com cobertura morta, favorecendo o estabelecimento de vegetação, garantindo uma maior taxa de sobrevivência de sementes e maximizando a infiltração, interceptação e retardamento das gotas de chuva e da velocidade do escoamento superficial (Anh *et al.*, 2002).

³¹ Recentemente vem chamando atenção o conceito de cobertura vegetal evapotranspirativa, que constitui num sistema onde são monitoradas/controladas as taxas de evapotranspiração dadas no sistema solo-planta-atmosfera, possibilitando determinar taxas de infiltração visando minimizar a percolação da precipitação pluvial (Zornberg, 2003). Neste sentido, o entendimento da influência de biomantas, bem como dos diferentes tipos de consórcios de espécies vegetais e técnicas de bioengenharia de solos utilizadas, no balanço hídrico, é de extrema importância para o desenvolvimento destes sistemas.

³² GCL (*Geosynthetic Clay Liner*) – Camadas de argilas combinadas com camadas de materiais geossintéticos utilizadas para impermeabilização dos ARSU.

Um dos materiais que vem chamando atenção para fabricação das biomantas antierosivas é o polipropileno, que funciona como uma espécie de esqueleto do produto (*op cit*, 1992).

As biomantas antierosivas são também denominadas na literatura internacional como Produtos em Rolo Para Controle de Erosão (*Rolled Erosion Control Products* ou *RECP*). Os chamados *RECP's* podem ser subdivididos em temporários, de materiais degradáveis (fotodegradáveis, biodegradáveis) e permanentes, ou seja, com capacidade de decomposição em condições naturais ou não (Morgan & Rickson, 1995). O material pode ainda ser classificado em função de sua composição (natural, ou sintética) e pelo modo de instalação (Magalhães, 2005).

A maioria dos “geossintéticos” tem a intenção de proteger temporariamente a superfície do solo somente até que uma vegetação se estabeleça. Alguns são fotodegradáveis ou biodegradáveis num período de tempo relativamente curto após sua implantação, sendo utilizados mais em taludes baixos e pouco inclinados. Outros permanecem no local por um período de tempo considerável, podendo trabalhar sem a necessidade de vegetação, ou em conjunto com esta que cresce através do produto fazendo parte do sistema como *mats* (emaranhados), *meshes* (malha, entrelaçado), *blankets* (mantas) e *cells* (células) (Weggel & Rustom, 1992). Quando os geossintéticos são temporários, estes facilitam o desenvolvimento da vegetação quando degradados podendo sendo chamados de *TERM'S* (*Temporary Erosion and Revegetation Materials*). Os *TERM'S* são constituídos de componentes sintéticos ou naturais que fornecem controle temporário contra a erosão e facilitam o estabelecimento vegetativo (Theisen, 1992).

Em condições locais que requerem vegetação reforçada com sistemas de revestimento, pode-se apontar a utilização de *PERM's* (*Permanent Erosion and Revegetation Materials*), denominados ainda compostos biotécnicos (*biotechnical composites*), ou *armour systems*, quando materiais inertes não vegetativos são instalados (Theisen, 1992).

2.7.4.4.3. Detalhamento do Tratamento 3

No Tratamento 3 foi executado um plantio com aplicação da biomanta Anti-erosiva doada pela Empresa Deflor Bioengenharia especificamente para este experimento.

Após o contato com a empresa e a visita do técnico responsável foram selecionados três tipos de biomantas para as condições encontradas como um todo na Área Z, isto é, todos os talude e encostas que incluem menores declividades e comprimentos de rampas de taludes. As características básicas e aplicações destas biomantas encontram-se adiante (Tabela 2-20):

Tabela 2-20 Biomantas doadas pela Empresa Deflor para pesquisas em revegetação e bioengenharia de solos na Área Z. Foram fornecidos diferentes tipos de biomantas visando a sua aplicação nas diferentes condições geotécnicas existentes no talude.

Biomanta	Características Básicas	Talude Máx.	Longevidade (meses)	Aplicações
Tela Biotêxtil ARP44040 OUP	Biotêxtil translúcido e flexível, constituído de fibras dilatadas dilaceradas (palha) que são entrelaçadas por meio de uma costura industrial longitudinal, com fios resistentes degradáveis de polipropileno, formando uma trama resistente, incorporada a redes resistentes de polipropileno unidimensional.	1:1	12-30	Projetos de Bioengenharia, áreas degradadas, aeroportos, rodovias, ferrovias, projetos residenciais e industriais, minerações, cursos d'água, canais de baixa vazão, brejos, campos, gramados, taludes de corte e aterro de média inclinação, solos com média erodibilidade.
Tela Fibrax ARP420 300UF	Biotêxtil translúcido, flexível e fino, constituído em 100% por fibras de coco entrelaçadas por meio de uma costura longitudinal com fios resistentes degradáveis de polipropileno, formando uma trama resistente, incorporada a redes resistentes de polipropileno unidimensional.	1:1.5	30-48	Projetos de Bioengenharia, áreas degradadas, aeroportos, rodovias, ferrovias, projetos residenciais e industriais, minerações, cursos d'água, canais de baixa vazão, brejos, campos, gramados, taludes de qualquer inclinação, canais de vazão média alta e áreas muito susceptíveis à erosão.
Tela Sintemax 400TF	Biotêxtil constituído de fibras de coco, entrelaçadas por meio de uma costura longitudinal com redes resistentes de polipropileno, formando uma trama bidimensional, incorporando ainda uma terceira malha resistente à ação dos raios ultravioleta e de grande resistência mecânica e durabilidade.	>1:2	Perm.	Projetos de Bioengenharia, canais de drenagem de alto fluxo, margens de reservatórios e cursos d'água, solo mole, taludes de corte ou aterro em qualquer inclinação e solos de elevada erodibilidade. Fornece ainda georeforço em locais de baixa estabilidade geotécnica.

Dentre as diferentes biomantas fornecidas, para o talude foi especificamente recomendada a utilização da Biomanta de Fibra de Coco Tridimensional Sintemax

400TF devido as elevadas taxas de erosão esperadas. O produto foi fornecido enrolado em bobinas e embalado em plástico (Figura 2-85). A Tabela 2-21 sintetiza especificações técnicas desta biomanta, de acordo com o fabricante.



Figura 2-85 A - Aspecto das biomantas embaladas para transporte e fornecimento. B – aspecto da biomanta em detalhe, observando-se a tela georreforçadora e a matriz orgânica de fibra de coco.

Tabela 2-21 Especificações técnicas da Biomanta Antierosiva Tela Sintemax 400TF de Fibra de Coco Tridimensional.

Matriz orgânica	100% fibra de coco	
Comprimento (m)	33.40	
Largura (m)	3.00	
Área da Bobina (m ²)	50.00	
Gramatura da matriz orgânica (g/m ²)	400.00	
Peso da bobina (kg)	35.00	
Resistência à tração (kgf/m)	690.00	
Diâmetro da bobina (m)	0.50	
Espaçamento entre linhas (cm)	5.00	
Comprimento do ponto (cm)	6.00	

O talude foi coveado, sendo posteriormente adubado com Fosfato Natural (2 kg), NPK 4-14-8 (2 kg), e esterco de curral. Posteriormente foram plantadas a lanço sementes (4 kg) de braquiária (humidicola), feijão-guandu, nabo forrageiro, capim gordura (*Melinis minutiflora P. Beauv.*, detalhes desta espécie no quadro Quadro 2-13), crotalária (0.5 kg de sementes de cada espécie, Tabela 2-22). O plantio e a aplicação da biomanta foram ambos executados no dia 17 de janeiro.

Tabela 2-22 Mudanças utilizadas na Parcela IV.

Nome Científico	Nome Vernacular	Família	Origem	Porte	Ciclo Vegetativo	Nº/Kg
<i>Brachiaria humidicola</i>	Capim Agulha	Gramineae (Poaceae)	África	Herbáceo	Perene	25.000
<i>Cajanus cajan</i>	Feijão Guandu	Leguminosae (Fabaceae)	África	Herbáceo	Perene	16.000
<i>Calopogonium mucunoides</i>	Calopogônio	Leguminosae (Fabaceae)	Índia e Américas	Rasteiro	Perene	75.000
<i>Crotalaria juncea</i>	Crotalaria	Leguminosae (Fabaceae)	Índia	Arbustivo	Anual	26.000
<i>Raphanus sativus</i>	Nabo Forrageiro	Leguminosae (Fabaceae)	Europa	Herbáceo	Anual	xxx
<i>Melinis minutiflora</i>	Capim gordura	Gramineae (Poaceae)	África	Rasteiro	Perene	xxx

Quadro 2-13 Detalhamento da espécie *Melinis minutiflora* P. Beauv.

<i>Melinis minutiflora</i> P. Beauv.		Família: Poaceae
Descrição	Produção de biomassa	
Gramínea perene, originária da África e provavelmente da América do Sul que pode atingir 1 m ou mais. Pouco exigente em fertilidade, adaptando-se bem inclusive em solos ácidos. Não resiste bem a secas, geadas e inundações, e não tolera o fogo. Vem merecendo atenção especial por ser bastante agressiva devido a sua alta produção de biomassa, alta produção de sementes e alto índice de germinação, o que favorece seu estabelecimento e a rápida colonização de áreas degradadas. Possui diversas variedades: roxo, cabelo de negro, branco.	Produção da matéria seca: 6 a 8 t MS/ha/ano.	
Exigência ambiental	Outros usos e serviços	
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Vegeta bem em qualquer camada de solo, inclusive de baixa fertilidade e elevada acidez, mas não tolera solos pesados e muito argilosos. Responde bem a adubações com fósforo e nitrogênio. ▪ Altitudes entre 400 a 2500 metros. ▪ Temperatura: 15 a 35 °C ▪ Precipitação: 800 a 4000 mm 	Pastejo e produção de feno.	
Semente	Recuperação de Áreas Degradadas	
15 a 20 kg/ha. Germinação: 70% Taxa de germinação pode ser melhorada com uso de luz.		
Ciclagem de nutrientes	Referências	
Via serrapilheira: 3.3 Mg ha ⁻¹ ano ⁻¹ N: 17.1 P: 0.69 K: 2.4 Ca: 16.9 e Mg: 4.4 Polifenóis: 45.3.		

Na etapa de preparo do solo para o semeio foi executado o micro-coveamento, ou seja, covas pequenas próximas umas às outras e com profundidade suficiente para reter os insumos a serem aplicados (como fertilizantes corretivos mulch, adesivos e sementes).

Os insumos podem ser aplicados manualmente ou por via aquosa (hidrossemeadura). A quantidade de insumos a ser aplicada pode ser estabelecida ainda de acordo com a eficácia da biomanta (quanto maior for este último parâmetro menor a quantidade de insumos e sementes necessários).

A boa fixação da biomanta garante o sucesso da técnica, de modo que devem ser utilizados materiais como grampos de aço (fornecidos pelo fabricante), madeira, bambu ou polivinil, de tamanhos e forma variadas, devendo ser aplicada o mais esticada possível, evitando a formação de rugosidades. Ressalta-se que a má fixação acarreta em problemas de desenvolvimento da vegetação, que não consegue ultrapassar a biomanta, e também formação de focos erosivos em locais de má aderência devido à formação de escoamento livre.

No Talude foi necessária a implantação de cinco faixas (o tratamento totalizou uma largura maior, abarcando a área de amortecimento à direita e totalizando uma largura de 15 metros para a parcela. No caso foram utilizadas duas faixas à direita da parcela, uma no interior e uma à esquerda, adjacente à hidrossemeadura. A bobina utilizada para cada duas faixas (de 15 metros, com uma sobre de 3 m). A biomanta foi estendida de cima para baixo desenrolando-a após a sua fixação no topo do talude. Foi mantida uma transposição entre as mantas formando transpasses laterais de pelo menos 5 cm. Um desenho esquemático com as diferentes etapas do processo de aplicação da biomanta no talude, bem como detalhes da superposição das mantas, encontram-se na Figura 2-86. Fotos deste mesmo processo encontram-se nas Figura 2-87, Figura 2-88, Figura 2-89.

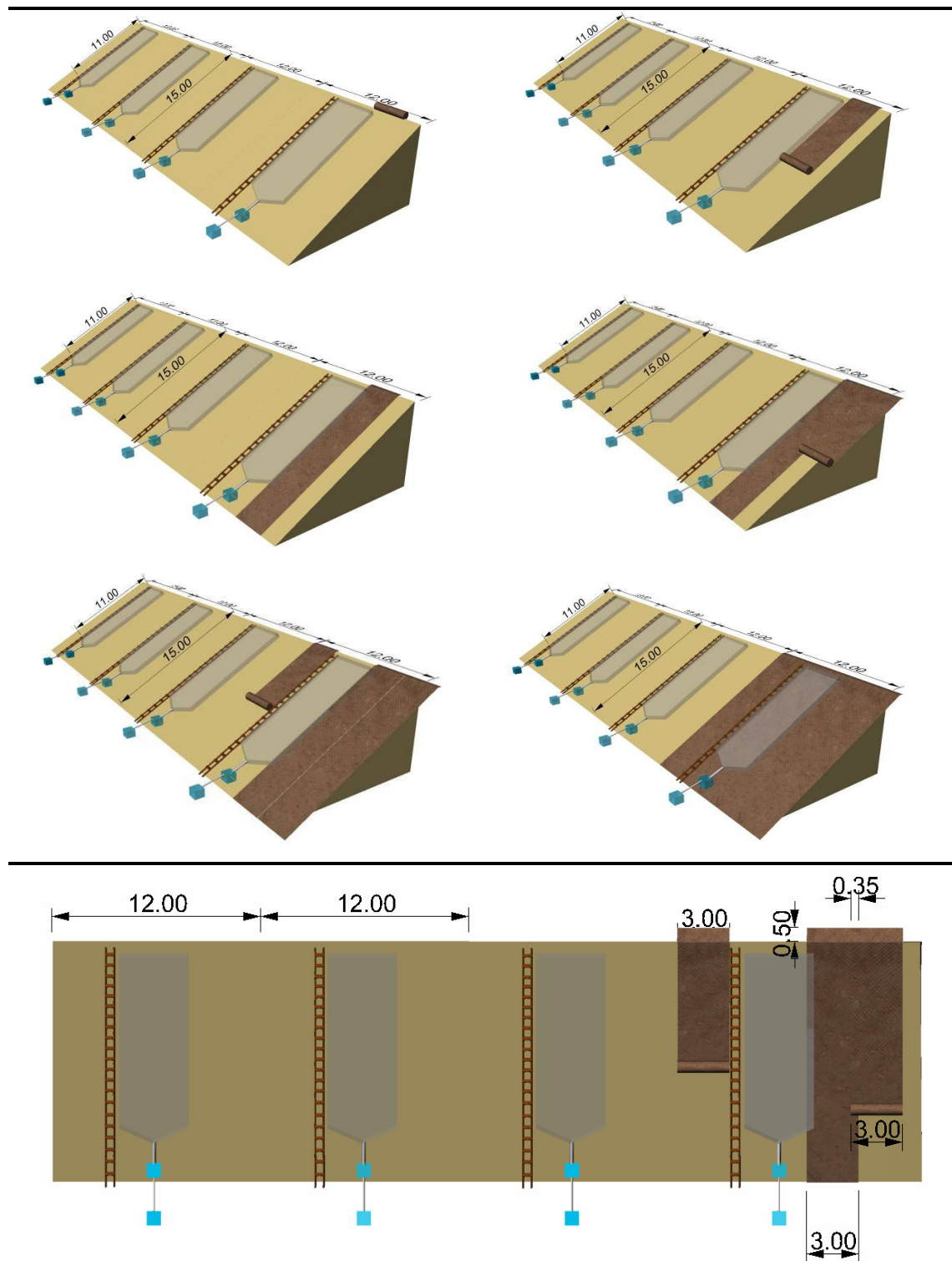


Figura 2-86 Seqüência ilustrativa do processo de aplicação da Biomanta Sintemax 400TF.



Figura 2-87. A – coveamento do talude. B,C,D - Aplicação e espalhamento de esterço e insumos, E – primeira faixa de biomanta desenrolada no talude. F – pessoal pronto para estender a segunda faixa da manta.



Figura 2-88. A,B – biomanta instalada à direita da Parcela IV. C,D – detalhe da superposição das biomantas. E – biomantas chegando no campo. F – *mix* de sementes.

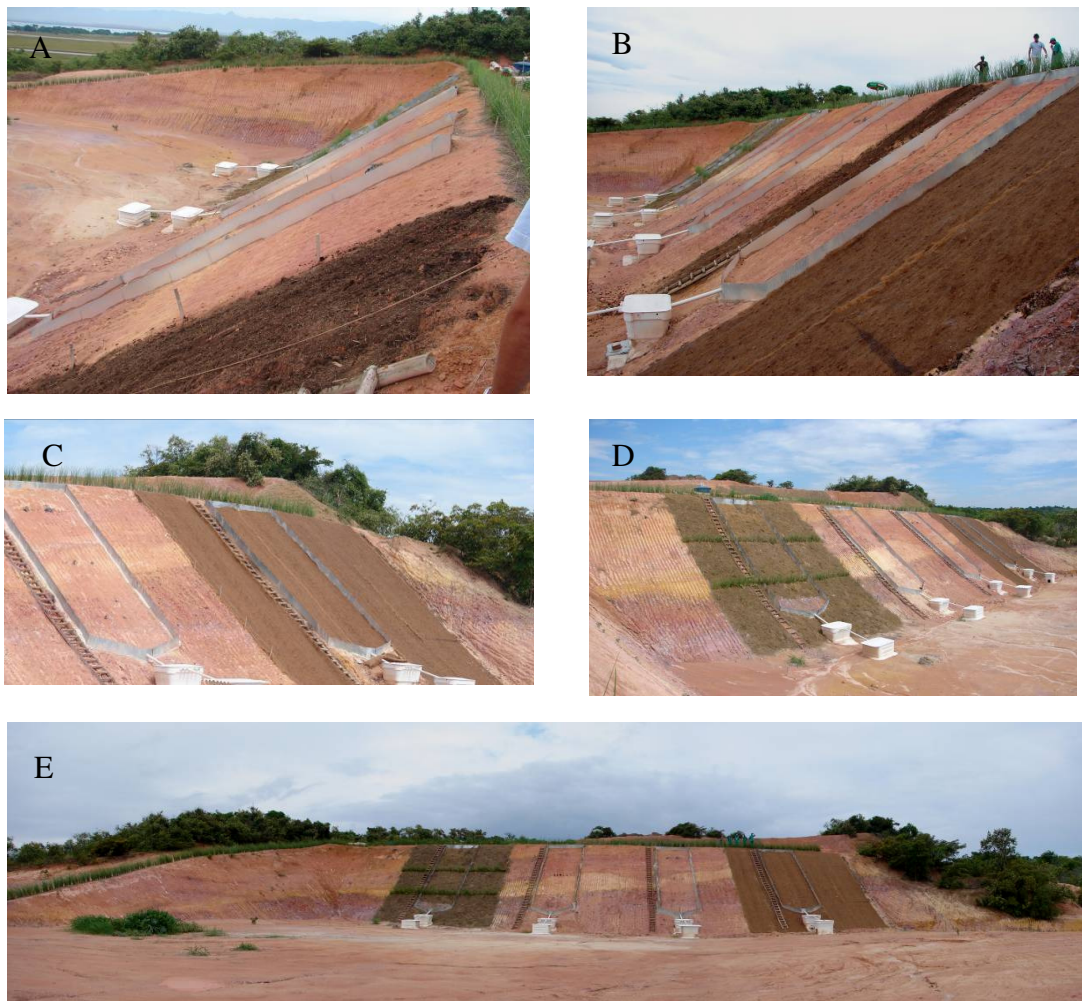


Figura 2-89. A – Recobrimento inicial do lado esquerdo da Parcela com esterco e insumos. B – talude faltando somente as biomantas dentro da parcela de controle de erosão. C – Término da instalação da biomanta. D – visão geral do talude após a conclusão da instalação da biomanta, observando-se a sua semelhança com a cobertura morta aplicada na Parcela I. E – Visão frontal do Talude I após a aplicação da biomanta.

Para a fixação o número de grampos por unidade de área depende da inclinação do talude, geometria, tipo de material e segurança requerida para a obra. Taludes regularizados ou recém conformados exigem menor rigor na fixação. A Deflor Bioengenharia LTDA sugere um esquema para fixação das biomantas, de acordo com a declividade dos taludes (Figura 2-90).

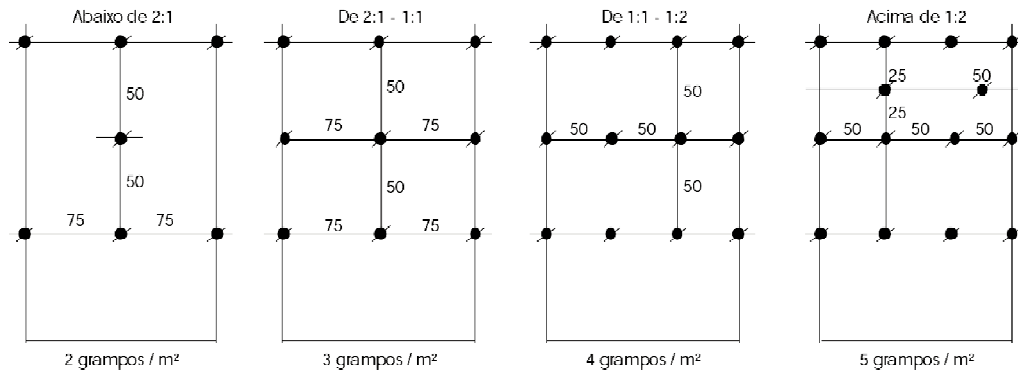


Figura 2-90 Esquemas para fixação das biomantas sugeridos pela Deflor Bioengenharia LTDA de acordo com a declividade dos taludes. Para o caso do Talude da Área Z a primeira configuração, da esquerda para a direita, é a mais adequada.

No caso do talude, foram utilizados grampos de aço (3.4 mm) fornecidos pela Deflor, tendo sido utilizados em torno de 30 kg dos mesmos. A fixação dos grampos no talude foi feita aproveitando o aspecto regular do talude recém conformado, reduzindo a quantidade necessária, conforme recomendado pelo técnico responsável da empresa.

2.7.5 Quadro Resumido dos Tratamentos

Parcela I
Tratamento
Leguminosas arbóreas de rápido crescimento (<i>Mimosa caesalpiniaefolia</i> , <i>Acacia holocericea</i> , <i>Acacia auriculiformis</i> , <i>Albizia guachapelle</i> , <i>Cratilia argentea</i>), inoculadas com bactérias fixadoras de nitrogênio (Rizóbio) e fungos micorrízicos arbusculares (espaçamento 1,5 x 2,0 m entre plantas), sendo plantado capim Vetiver em dois cordões dividindo o talude em 3 sessões de 5 m na parcela. As covas foram abertas no mês de janeiro de 2008 (0,2 x 0,2 x 0,2 m). O plantio das leguminosas foi realizado através de mudas com 20 a 30 cm de altura. O capim Vetiver foi plantado através de propágulos extraídos de touceiras saudáveis provenientes de uma área degradada já revegetada situada dentro do aeroporto (Morro do Radar).
Insumos
150 mg de Superfosfato Simples, 100 mg de KCl, 20 mg de FTE(BR12), utilizando-se como meio uma mistura de solo/composto orgânico (proveniente de processo de compostagem da apra de grama produzida no próprio aeroporto) na proporção 2:1. Para a adubação do Vetiver foi adicionado 80 mg de sulfato de amônio.
Manejo
Recobrimento do solo com apra de grama visando reter umidade e fornecer condições para o pegamento da vegetação.
Parcela II
Tratamento
Controle
Insumos
Nenhum
Manejo
Nenhum
Parcela III
Tratamento
1 saco de sementes (20 kg) com sementes de feijão-guandu, nabo forrageiro, capim gordura, braquiária, crotalária, calopogônio, aveia preta e setária (em torno de 2,5kg de sementes para cada espécie). Esta mistura foi utilizada para a aplicação na parcela e também em uma faixa de 30 metros do talude acima (totalizando uma área de 500m ² para aplicação dos insumos nas proporções adequadas).
Insumos
4000 L de água, 1 saco de Fosfato (10 kg), saco de Megamulch (20 kg), 1 saco de NPK 4-14-8 (20 kg), 3 sacos de composto orgânico (esterco bovino, 20 kg),
Manejo
Nenhum
Parcela IV
Tratamento
Plantio a lanço sementes (4 kg) de calopogônio, braquiária, feijão-guandu, nabo forrageiro, capim gordura, crotalária (em torno de 0,5kg de sementes para cada espécie).
Insumos
Fosfato Natural (2 kg), NPK 4-14-8 (2 kg) e esterco de curral.
Manejo
Nenhum

2.8. Sumário de Obras

Com o objetivo de organizar as atividades executadas durante as etapas correspondentes aos subitens 2.3 a 2.6, neste subitem é apresentado um cronograma executivo, seguido de resultados preliminares referentes às práticas mecânicas de ordenamento de fluxos superficiais (terraços e bacias de sedimentação), aplicação da cobertura morta, e locais onde foi feita revegetação.

O detalhamento do resultado da aplicação das técnicas de bioengenharia no Talude 1 será apresentado no Capítulo V, referente aos resultados de monitoramento nas parcelas de erosão, onde se inclui a caracterização do estabelecimento, crescimento e desenvolvimento da vegetação nos diferentes tratamentos. A metodologia utilizada para execução destas avaliações consta no Capítulo IV, referente às técnicas de monitoramento das parcelas de erosão.

2.8.1. Cronograma Executivo

A seguir são descritas as atividades desenvolvidas, sumarizadas em três cronogramas executivos: cronograma de diagnóstico; cronograma de construção de taludes e execução de práticas mecânicas, edáficas e vegetativas; cronograma de construção das parcelas de controle de erosão e aplicação das técnicas de bioengenharia (ver Tabela 2-23, Tabela 2-24, Tabela 2-25).

Tabela 2-23 Cronograma executivo da etapa de diagnóstico do estado de degradação das terras.

Diagnóstico	
Dez-2000	Diagnóstico do estado de conservação das terras executado pela equipe da Embrapa Solos.
22-11-06	Diagnóstico do local junto à equipe da INFRAERO/Meio Ambiente e Embrapa Solos visando à implantação do Campo Experimental
28-03-07	Vistoria com prof. Franklin: levantamento geológico/ pedológico
26-04-07	Trabalho de topografia para determinação da área de escopo e movimentações de terras.

Tabela 2-24 Cronograma executivo das etapas de construção de taludes, execução de práticas mecânicas, edáficas e vegetativas de RAD no entorno.

Conformação de Taludes, Práticas Mecânicas, Edáficas e Vegetativas	
21-06-07	Chegada da Escavadeira Hidráulica <i>CAT 315C L</i> e início da execução do Talude 1.
30-07-07	Final da execução da face dos Taludes 1 e 2, continuação do processo de construção do talude lateral e da compactação da seção de aterro.
22-08-07	Início da construção das bacias de sedimentação e terraços e obstrução de sulcos.
24-08-07	Conclusão da Bacia II, construção da Bacia II*.
27-08-07	Término da Bacia III e Início da construção da Bacia III.
28-08-07	Início da Construção da Bacia I.
29-08-07	Término da Construção da Bacia I e Sistematização da área de influência do Terraço a.
31-08-07	Sistematização da área de influência do Terraço b, construção dos Terraços c, d, e.
06-09-07	Acerto e conclusão dos Terraços c, d, e.
07-09-07	Início da Construção dos Taludes 3 e 4.
14-09-07	Término dos Taludes 3 e 4 e início da aplicação de cobertura morta (aproveitamento da Escavadeira Hidráulica <i>CAT 315C L</i> enquanto não ocorre o transporte e saída do implemento).
17-09-07	Saída da Escavadeira Hidráulica <i>CAT 315C L</i> .
19-09-07	Chegada do Trator de Esteiras <i>New Holland D130</i> para acerto da Voçoroca 1 ao lado do Talude 1 e saia de aterro.
02-10-07	Término da saia de aterro (Talude 5) e acerto da Voçoroca 1 com o trator <i>New Holland D130</i> (saída deste implemento) e chegada da Retroescavadeira <i>CASE 580L</i> para acertos finais e práticas vegetativas.
03-10-07	Operações de coveamento e aplicação de cobertura morta.
22-11-07	Chegada do composto para preenchimento de covas proveniente do Galpão de Compostagem de apra de grama.
29-11-07	Coroamento do Capim Vetiver nos taludes e mudas nos terraços.

Tabela 2-25 Cronograma executivo de construção de parcelas de erosão e aplicação de técnicas de bioengenharia de solos na Área Z.

Implantação das Parcelas de Erosão e Aplicação de Técnicas de Bioengenharia	
12-09-07	Marcação de piquetes para construção das parcelas e chegada do material com caminhão muque.
13-09-07	Início da construção das parcelas.
25-09-07	Fixação das chapas galvanizadas.
03-10-07	Chumbamento das chapas com concreto.
11-10-2007	Término da construção das parcelas.
15-10-07	Conclusão das Caixas de Instrumentação.
2-11-2007	Primeiro evento de erosão.
28-11-2007	Coveamento da crista do talude.
29-11-2007	Plantio do Vetiver na crista do talude.
5-11-2007	Marcação das linhas na Parcela I.
6-11-2007	Coveamento da Parcela I.
31-11-07	Início da Instalação das Sondas GMS e FDR*.
11-12-2007	Plantio de Vetiver na Parcela I.
12-12-2007	Plantio de Vetiver na Parcela I.
17-12-2007	Plantio de arbóreas na Parcela I.
8-1-2008	Aplicação de apara de grama na Parcela I.
16-1-2008	Coveamento da Parcela IV, término da instalação dos GMS e FDR.
17-1-2008	Plantio e aplicação de Biomanta 400UP Deflor na Parcela IV.
6-3-2008	Avaliação de taxa de sobrevivência na Parcela I.
8-3-2008	Hidrossemeio FIXA VERDE LTDA.
* Detalhado no Capítulo IV.	

2.8.2. Resultados Preliminares de Práticas de RAD no Entorno do Talude

Os resultados obtidos até o momento mostram a eficácia das práticas conservacionistas na contenção dos processos erosivos através da regularização e aumento da rugosidade da superfície do terreno, do ordenamento do escoamento da enxurrada pelos terraços e sua posterior armazenagem nas bacias de retenção.

A vegetação arbustiva e arbórea, bem como o capim Vetiver, tem apresentado crescimento adequado, favorecido pela boa intensidade e distribuição das chuvas no período. Os resultados são semelhantes aos alcançados em outra

área do Aeroporto (Morro do Radar) recuperada com as mesmas tecnologias, no período de 2000 a 2003.

2.8.3. Relatório Fotográfico



07-07-07



17-01-09

Figura 2-91 Área abaixo do Talude II no acesso para veículos, antes e depois das obras.



22-01-09



12-04-09

Figura 2-92 Crista do Talude após roçada e à direita observa-se o crescimento do Vetiver.



22-11-06



29-11-07



11-01-09

Figura 2-93 [22-11-06] sulcos e ravinas no local onde foi construído o Talude II. [29-11-07] logo após a conformação do Talude II. [11-01-09] desenvolvimento da vegetação.



14-02-08



22-01-09

Figura 2-94 Plantio do Capim Vetiver na crista do Talude II.



29-11-07



22-11-06



19-01-09



12-04-09

Figura 2-95 Processo de recuperação ambiental da Voçoroca V.I ao lado direito do Talude I. [26-11-06] diagnóstico. [29-11-07] aplicação de apara de grama. [19-01-09]



22-11-06



03-08-07



05-12-07

Figura 2-96 Práticas mecânicas no Talude I.



02-01-08



06-03-08



11-01-09

Figura 2-97 Técnicas de Bioengenharia de solos no Talude I.

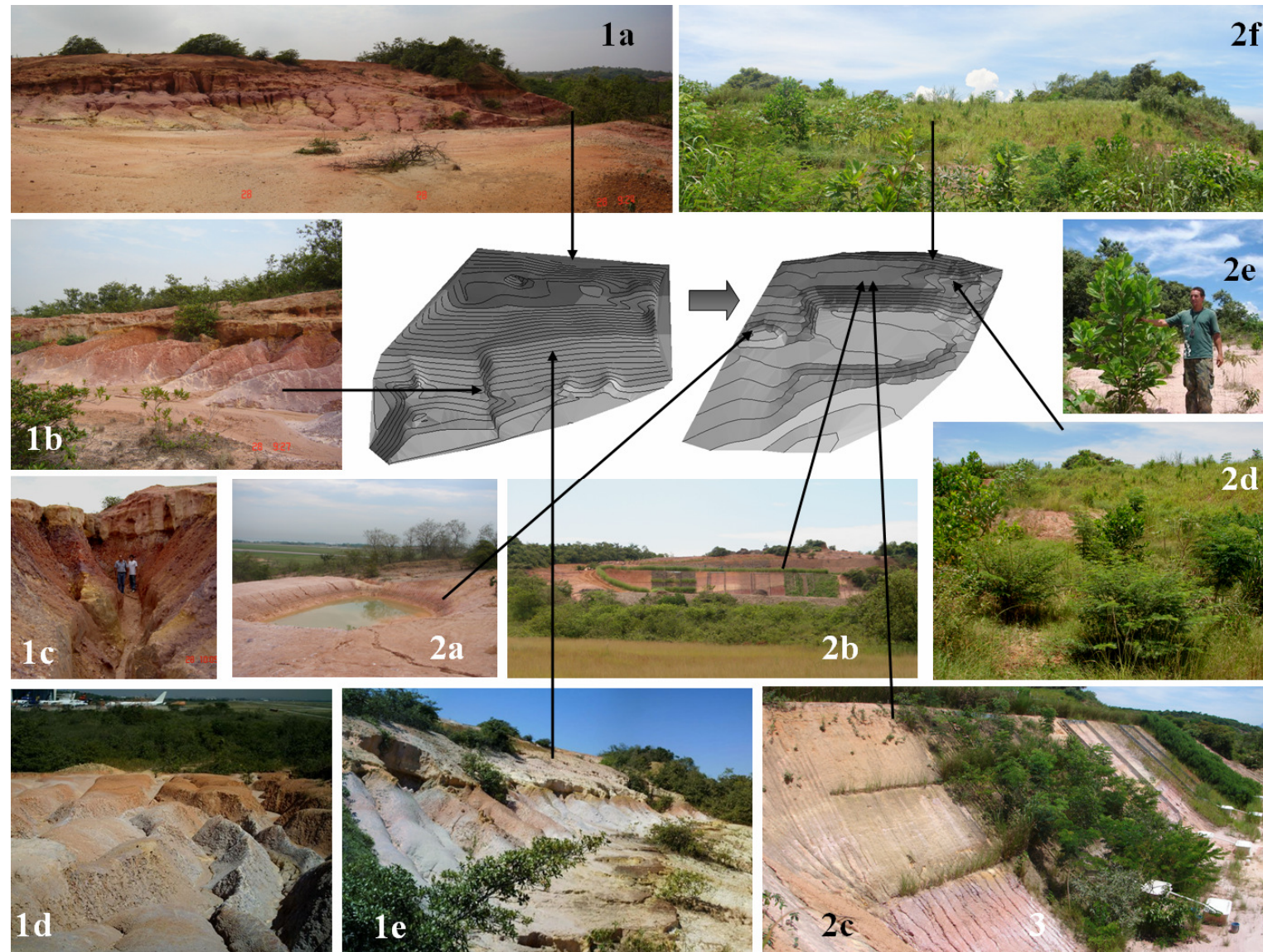
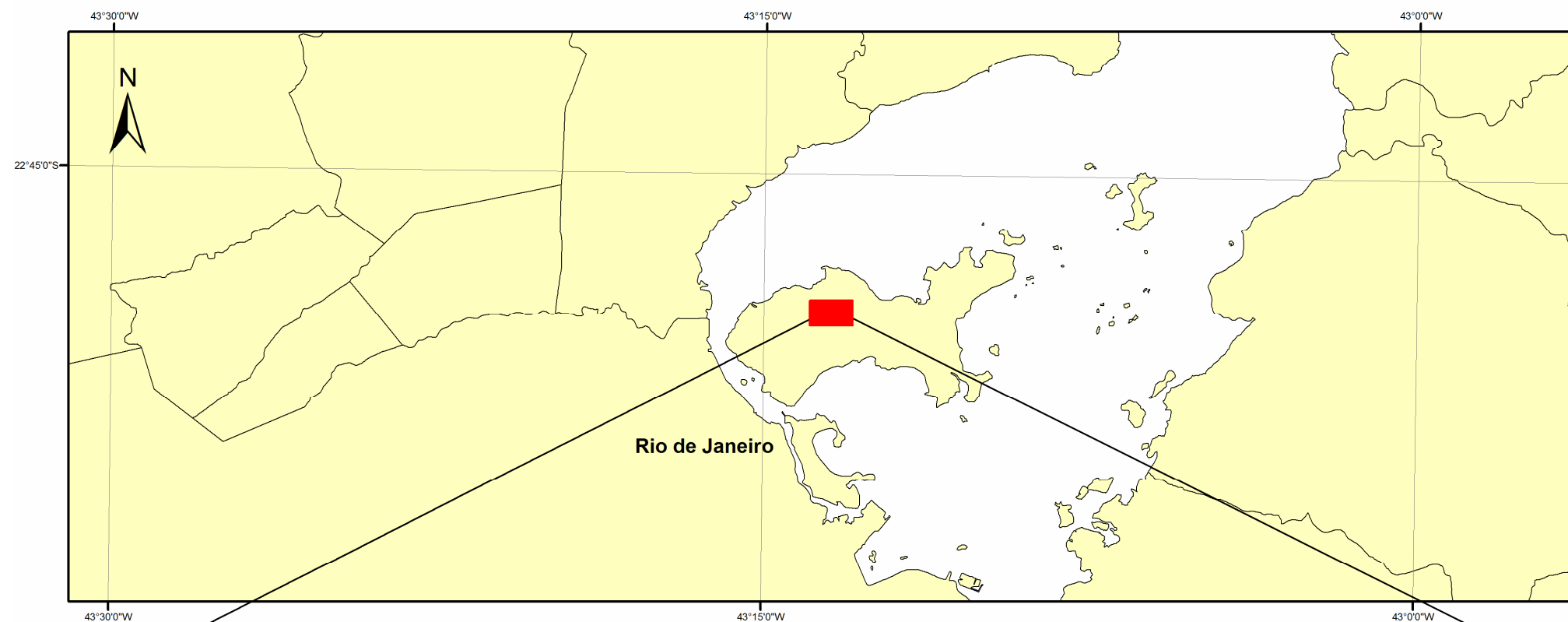


Figura 2-98 Comparações de diversos pontos da Área Z antes depois dos trabalhos de RAD.



Tese de Doutorado - Hugo Portocarrero

Mapa de Situação

Mapa de Situação

Escala Gráfica

Título

Mapa de Localização e Topografia Geral da Área Z

Projeto

Área Z - Aeroporto Tom Jobim

Referência

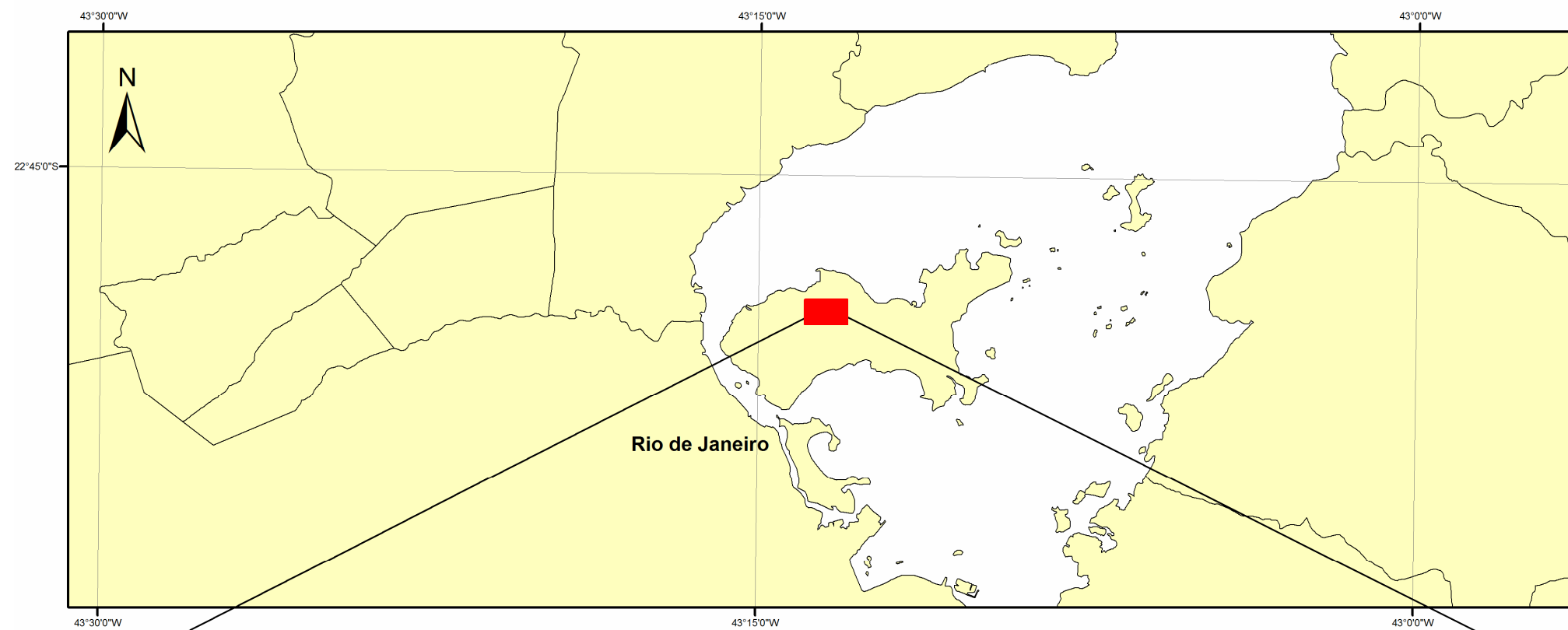
Estados Brasileiros 1:1000.000 - IBGE
Municípios do Rio de Janeiro 1: 35.000 - CIDE
Imagem de Satélite Quickbird - 16/05/2003

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO DE JANEIRO

Data: Maio 2009

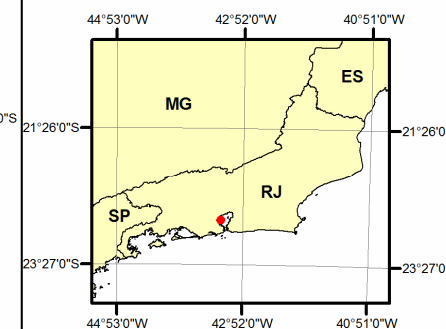


Figura 2-99 Imagem do Satélite Quickbird da Área Z – 16-05-03.

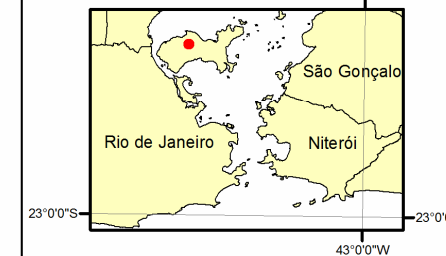


Tese de Doutorado - Hugo Portocarrero

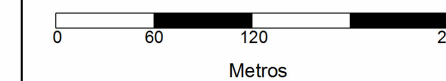
Mapa de Situação



Mapa de Situação



Escala Gráfica



Título
Mapa de Localização e Topografia
Geral da Área Z

Projeto
Área Z - Aeroporto Tom Jobim

Referência
Estados Brasileiros 1:1000.000 - IBGE
Municípios do Rio de Janeiro 1: 35.000 - CIDE
Imagem de Satélite Quickbird - 06/08/2008



Escala 1: 15.000 Data: Maio2009



Figura 2-101 Imagem do Satélite Quickbird da Área Z – 06-06-08.

2.9. Parâmetros para Modelagem de Processos Erosivos

Os modelos utilizados no estudo da erosão dos solos são equações matemáticas para representar os processos erosivos atuantes que podem ser aplicados para o dimensionamento de taludes, estruturas de contenção, avaliação do desempenho de práticas de manejo do solo e técnicas de bioengenharia. Dentre os mais utilizados, persiste o uso sistemático da Equação Universal de Perda de Solo (EUPS ou *USLE - Universal Soil Loss Equation*), um modelo empírico desenvolvido durante pesquisas no Serviço de Conservação dos Solos dos Estados Unidos (atual *USDA/ARS*³³) efetuadas por Wishmeier & Smith (1958 e 1978).

Como em Bioengenharia de Solos se faz uso de parâmetros deste modelo de forma corrente, para especificações de produtos para controle de erosão e técnicas de recobrimento e plantio, a seguir é proposta, a partir de uma revisão bibliográfica centrada no assunto, uma metodologia para determinação dos diferentes parâmetros envolvidos nos tratamentos estudados no talude. O objetivo neste sentido é comparar dados obtidos na previsão do modelo *USLE* com os dados de campo reais.

Também visando testar modelos que informações de campo como dados de entrada, foi discutida a utilização de modelos com base em processos físicos, com uma proposta metodológica simplificada para uso da equação de erosão descrita no *WEPP*, adaptada para previsões nas parcelas de controle de erosão em escala de evento³⁴. O objetivo nesta etapa foi gerar um arcabouço para execução de previsões calibradas com valores de erosão superficial obtidos nas parcelas.

Por último deve ser frisado que taxas escoamento superficial (volume de enxurradas) em escala de tempo de detalhe são tratadas, juntamente com a modelagem do balanço hídrico, no Capítulo VI, com base nos resultados de caracterização geotécnica expostos no Capítulo III e no monitoramento hidrológico apresentado no Capítulo V, envolvendo perfis de sucção e umidade no subsolo, escoamento superficial e parâmetros meteorológicos.

³³ *USDA – United States Department of Agriculture. ARS – Agricultural Research Service.*

³⁴ Subentende-se um intervalo de tempo do início ao término de uma precipitação pluvial qualquer.

2.9.1. Equação Universal de Perda de Solo – *USLE*

Existem vários métodos para determinação dos parâmetros envolvidos nesta formulação, dependendo do objetivo de pesquisa, tipos de topografia, solos e vegetação avaliados. Uma revisão detalhada destes métodos pode ser encontrada do trabalho de tese de Mendes (2006), onde foi feita uma revisão crítica incluindo as formulações e revisões principais propostas, como a *RUSLE*³⁵, a mais conhecida reformulação do modelo.

Diversas dissertações e teses em engenharia agrônômica, florestal, geotécnica, geografia e geologia abordam esta equação, portanto nesta tese foi somente sumarizado um modelo simplificado para teste e validação da *USLE* para a situação específica do talude, levando em conta a experiência anterior em relação às condições de monitoramento através da utilização de formulações o mais próximas possível das condições de monitoramento.

Na Tabela 2-26 encontra-se sumarizada uma proposta metodológica de parametrização para simulação de processos erosivos através da *USLE*. As formulações foram obtidas da literatura em manejo e conservação dos solos, manuais e livros técnicos de técnicas de bioengenharia de taludes, e uma parametrização da permeabilidade em função de critérios geotécnicos.

2.9.2. Parâmetros da *USLE* e Condições Experimentais no Talude

Com o objetivo de testar a viabilidade da formulação da *USLE* para as condições experimentais presentes no talude, a seguir foi delineado um procedimento para determinação dos parâmetros de modelagem utilizando esta equação ao longo das diferentes épocas de monitoramento.

O parâmetro de erosividade é tratado por evento, levando em conta a intensidade da precipitação para cada intervalo de tempo de um evento de precipitação (mm/h), bem como a máxima intensidade de chuva ocorrida num período de 30 minutos (mm/h), conforme descrito no quadro acima. Estes dados encontram-se junto aos resultados de monitoramento, no Capítulo V.

³⁵ *RUSLE – Revised Universal Soil Loss Equation* (Equação Universal de Perda de Solo Revisada), uma versão computadorizada do modelo lançada em 1992 (www.ars.usda.gov/research) para avaliações anuais para utilizações mais amplas.

Tabela 2-26 Resumo de proposta de parametrização para a Equação Universal de Perda de Solo - USLE.

A = R x K x LS x C x P						
<p>Onde: A = Perda anual de solo (ton.ha⁻¹.ano⁻¹); R = Fator de Erosividade das Chuvas (10 até mais de 1000); K = Fator de erodibilidade dos solos (0 - 1); LS = Fator topográfico (0 à aprox. 100); C = Cobertura vegetal (0-1). P = Práticas Conservacionistas/ manejo/ técnicas de bioengenharia de solos (0-1).</p>						
<p>Cálculo do Fator de Erosividade [R] (Foster <i>et al</i>, 2002): $R = E \cdot I_{30}$ Onde: E = energia cinética de cada evento de chuva (MJ/ha): $E = \sum 0.29 [1 - 0.72 \exp(-0.082 i_i)]$ i_i = intensidade de precipitação para cada intervalo de tempo de um evento de precipitação (mm/h) I_{30} = máxima intensidade de chuva ocorrida num período de 30 minutos (mm/h)</p>						
<p>Determinação de K (Wishmeier & Smith, 1958): $100 \cdot K = 2.1 \cdot (M^{1.14}) \cdot (10 - 4) \cdot (12 - a) + 3.25(b - 2) + 2.5(c - 3)$ Onde: $M = [\% (0.1 - 0.002 \text{ mm}) + \% (0.1 - 0.05 \text{ mm})] \cdot [100 - \% \text{ Argila}]$ a = Percentual de matéria orgânica.</p>						
		c = Fator relacionado à permeabilidade do solo				
		Valor	k_{sat} [cm/s]	Tipo de Material ¹		
b = fator relacionado à estrutura do solo		1	$k_{sat} > 10^{-1}$	Areia Grossa		
1 = $\Phi < 1$ mm		2	$10^{-2} < k_{sat} < 10^{-1}$	Areia Média		
2 = $1 < \Phi < 2$ mm		3	$10^{-3} < k_{sat} < 10^{-2}$	Areia Fina		
3 = $2 < \Phi < 10$ mm		4	$10^{-5} < k_{sat} < 10^{-3}$	Areia Argilosa		
4 = $\Phi > 10$ mm		5	$10^{-7} < k_{sat} < 10^{-5}$	Silte		
		6	$k_{sat} < 10^{-7}$	Argila		
<p>Determinação do fator topográfico LS (Bertoni & Lombardi Neto, 1993): $LS = 0.01 \cdot (L)^{0.5} [1.36 + 0.97(S) = 0.1385(S)^2]$ Onde: L = comprimento do talude (m) S = Declividade do talude (%)</p>						
Fator ² (C)		(% de Recobrimento)				
		0	25	50	75	100
Sem cobertura		1	-	-	-	-
Culturas agrícolas		-	0.5	0.25	0.1	0.05
Herbácea, Pastagem, Daninhas		-	0.45	0.2	0.09	0.01
Arbustiva		-	0.4	0.18	0.09	0.005
Arbórea/ reflorestamentos		-	0.35	0.15	0.008	0.003
Floresta densa		-	0.28	0.1	0.05	0.001
Fator (P) Práticas Conservacionistas ³		Eficiência (%)		P		
Sem recobrimento do solo		0		1		
Hidrossemeadura à base de 3 t/ha		15		0.85		
Hidrossemeadura à base de 6 t/ha		30		0.7		
Gramma em placas		45		0.55		
Biomantas antierosivas de palha		70		0.3		
Biomantas antierosivas de fibra de coco		85		0.15		
Biomantas antierosivas tridimensionais		95		0.05		
Cobertura Morta (Apara de Gramma) ⁴						
<p>¹ Proposto com base em valores adaptados de Sousa Pinto (2002). ² Método proposto por Walker (2004). ³ Valores propostos por Pereira para Técnicas de Bioengenharia (Pereira, 1999). ⁴ Valor proposto com base em resultados de monitoramento (discutido no Capítulo V).</p>						

O parâmetro de erodibilidade (K) é determinado, para cada camada de solo estudado no talude, após a execução dos ensaios de caracterização geotécnica, sendo relacionado à distribuição granulométrica de acordo com a relação expressa no quadro. Os valores de matéria orgânica não levam em conta a cobertura morta (está incluída no Fator P), sendo assim, foram utilizados os dados de matéria orgânica presente no solo residual jovem no momento da coleta de amostras anteriormente à implantação dos tratamentos no talude.

No que diz respeito o Fator C, os tratamentos foram divididos segundo a seguinte relação (Tabela 2-27):

Tabela 2-27 Fator C e P em para os diferentes tratamentos testados no talude.

Parcela	Tratamento	Fator C	Fator P
I	Método Adaptado Embrapa Solos	Arbórea/ Reflorestamento	0.5
II	Controle	Sem Cobertura	1
III	Hidrossemeadura	Herbácea/ Pastagem	0.7
IV	Biomanta Antierosiva	Arbustiva	0.05

As taxas de recobrimento para determinação final do fator C (com base no quadro de revisão proposto) foram determinadas em função de resultados da caracterização da vegetação. Para isso os dados de recobrimento foram relacionados às respectivas épocas de monitoramento (a metodologia para determinação do recobrimento consta no Capítulo IV e os resultados constam no Capítulo V).

É importante destacar que esta etapa de determinação de parâmetros da *USLE* para o talude estudado refere-se, igualmente, à calibração de K, EI_{30} , LS, C e P ao longo do período de monitoramento. Alguns autores principais, como o próprio idealizador do modelo *Wishmeier* (1975), ressaltam que para efetivamente determinar estes parâmetros seria necessária uma série histórica de pelo menos 22 anos para abranger a totalidade das condições ambientais em questão. Apesar desta idéia proporcionar uma grande margem de erro, séries históricas de dados desta magnitude só existem no Brasil nas estações de monitoramento mais antigas.

Observa-se assim que determinações de K, C e P apresentam sérias limitações relacionadas à grande quantidade de variáveis envolvidas, tempo de monitoramento etc.

Em função dessas limitações, e da impossibilidade de prever taxas de deposição, transporte de sedimentos em canais, erosão em sulcos ravinas e voçorocas, no início da década de 90 surgiram outros modelos, alguns baseados em processos físicos, como o Projeto de Predição da Erosão Hídrica (*WEPP – Water Erosion Prediction Project*), proposto por Elliot *et al.* (1989), no qual os parâmetros de erodibilidade entressulcos e em sulcos são atribuídos como propriedades dinâmicas.

2.9.3. Modelos com Base em Processos Físicos

Atualmente já existem alguns modelos com base em processos físicos, baseados em equações de continuidade para análises de processos erosivos, destacando-se dentre estes: *WEPP* (*op. cit.*, 1989); *CREAMS* (*Chemicals, Runoff and Erosion from Agricultural Management Systems*, Foster *et al.*, 1981); *EPIC* (*Erosion Productivity Impact Calculator*, Williams, 1985); *EUROSEM* (*European Soil Erosion Model*, Morgan, 1994); *ANSWERS* (*Aerial Nonpoint Source Watershed Environment Response Simulation*, Beasley & Higgins, 1982) e *LISEM* (*Limburg Soil Erosion Model*, De Roo *et al.*, 1996).

É importante destacar que estes modelos, baseados em processos físicos, são formulados e calibrados a partir de dados empíricos sendo necessário um grande volume de pesquisas práticas. A maior parte destas pesquisas, ao longo dos anos, se concentrou no monitoramento da erosão através de mensurações e coleta de material erodido em intervalos diários.

Como resultado, grande parte das dificuldades existentes em relação ao entendimento dos processos erosivos em taludes de corte, em relação à influência das técnicas de bioengenharia de solos no sistema solo-planta-atmosfera e balanço hidrossedimentológico, ocorre como resultado desta escala temporal de avaliação. Neste contexto espera-se que resultados produzidos nesta tese contribuam de alguma forma para o refinamento destes parâmetros, incluindo análises detalhadas de balanço de água e de energia em campo e avaliações de escoamento superficial em escala temporal detalhada.

2.9.3.1. Equação de Continuidade do Modelo WEPP

O projeto WEPP iniciou-se a partir de 1985 no USDA/ARS devido à crescente consciência sobre a impossibilidade em se adequar os parâmetros envolvidos na USLE às novas demandas, quais sejam: análises de erosão canalizada - sulcos, ravinas e voçorocas, transporte e deposição de sedimentos em microbacias (Flanagan & Franti, 2007).

O WEPP tem por objetivo modelar a rede de destacamento e deposição do solo ao longo da encosta utilizando uma equação de continuidade que apresenta um termo representando a erosão interravinar (produto à esquerda) e outro a erosão ravinar (produto à direita).

$$\frac{\partial G}{\partial x} = K_r (\tau - \tau_c) \left(1 - \frac{G}{T_c} \right) + K_i I_e \sigma_{ir} SDR_{RR} F_{NOZZLE} \left(\frac{R_s}{W} \right) \quad \text{[Equação 2-5]}$$

Em que:

D_r = taxa de erosão ravinar (+ para destacamento, - para deposição) (kg/m²/s);

D_i = taxa de erosão interravinar (kg/m²/s);

K_r = parâmetro de erodibilidade em sulcos (s/m);

τ = tensão de cisalhamento do fluxo que atua nas partículas de solo (Pa);

τ_c = tensão crítica para se iniciar o destacamento da particular; parâmetro de resistência ao cisalhamento (Pa);

G = carga de sedimento em um ponto x (m) da encosta (kg/m/s);

T_c = capacidade de transporte de sedimento do escoamento (kg/m/s);

K_i = parâmetro de erodibilidade interravinar (kg.s/m⁴);

I_e = intensidade efetiva da chuva (m/s);

σ_{ir} = taxa de escoamento interravinar (m/s);

$SDRRR$ = taxa de chegada de sedimento (adimensional);

F_{NOZZLE} = variação da energia de irrigação por aspersão (adimensional);

R_s = espaçamento médio interravinar (m);

W = largura média das ravinas da vertente (m).

D_i e D_r são taxas de destacamento por unidade de área. Os parâmetros K_i , K_r e T_c são determinados experimentalmente para cada solo (Machado *et al*, 2003).

A rede de destacamento é relacionada ao destacamento potencial e à capacidade de transporte pela equação:

$$D_r = D_{rc} \left(1 - \frac{G}{T_c} \right) \quad \text{[Equação 2-6]}$$

Em que:

D_{rc} = potencial de destacamento (Kg/m.s);

T_c = capacidade de transporte;

G = carga de sedimento em um ponto x (m) da encosta (kg/m.s).

Quando $G > T_c$, ou seja, quando houver condições de deposição no sulco, essa será estimada por:

$$\frac{\partial G}{\partial x} = \left(\beta_r \frac{V_f}{q} \right) (T_c - G) \quad \text{[Equação 2-7]}$$

Em que:

β_r = coeficiente de turbulência induzida pelos impactos das gotas (≈ 0.5);

V_f = velocidade de sedimentação da classe (diâmetro) de sedimento (m/s);

q = vazão por largura unitária do sulco (m²/s).

O potencial de destacamento D_{rc} é definido pelo excesso de cisalhamento, apresentado na equação:

$$D_{rc} = K_r (\tau - \tau_c) \quad \text{[Equação 2-8]}$$

Em que:

K_r = erodibilidade da ravina;

τ = tensão de cisalhamento efetiva atuante nas partículas do solo (Pa);

τ_c = força tractiva crítica (resistência ao cisalhamento) crítica (Pa). Quando τ é menor que τ_c , o destacamento é zero (Haan *et al*, 1994).

A tensão de cisalhamento crítica e os parâmetros de erodibilidade ravinares e interravinares são estimados a partir da textura do solo e do conteúdo de matéria orgânica, os quais foram desenvolvidos em experimentos de simulação de chuva, conduzidos durante a pesquisa do programa *WEPP* (Elliot *et al*, 1989).

A taxa de fornecimento de sedimento, S_{DRRR} , que compõe a taxa total de sedimento interravinar que efetivamente chega às ravinas, é uma medida indireta da capacidade de transporte do fluxo interravinar. A tensão de cisalhamento τ é dada pela equação (Chaves, 1996):

$$\tau = \gamma \cdot R \cdot S \quad \text{[Equação 2-9]}$$

Em que:

γ = peso específico da água ($\text{kg/m}^2\text{s}^2$); (N/m^3);

R = raio hidráulico do escoamento (m);

S = declividade da ravina (m/m).

A capacidade de transporte T_c é estimada por meio de uma simplificação da equação de Yalin (Cochrane, 1999), que utiliza, entre outros fatores, a tensão de cisalhamento τ sobre o solo, sendo calculada através da equação:

$$T_c = k \cdot \tau^{3/2} \quad \text{[Equação 2-10]}$$

Em que:

T_c = capacidade de transporte de sedimentos (kg/s/m);

k = coeficiente de transporte de sedimento ($\text{m}^{0.5}/\text{s}^2/\text{kg}^{0.5}$);

τ = tensão de cisalhamento do fluxo que atua nas partículas de solo (Pa);

As áreas interravinares no modelo são tratadas como as principais nos cálculos do fornecimento de sedimentos. Os cálculos de capacidade de transporte de deposição são realizados somente para o fluxo ravinar, sendo necessária à especificação da geometria ravinar (o *WEPP* pode estimar o espaçamento e outras características das ravinas por funções empíricas).

2.9.3.2. Previsões em Parcelas com a Equação de Erosão do *WEPP*

Atualmente o projeto *WEPP* compõe um software específico, disponível *online* na versão 2008.907³⁶. O *software* consiste de um modelo de predição de erosão escrito na linguagem de programação de *FORTRAN*, um programa de gerador de clima (*CLIGEN*) também escrito na linguagem de programação de *FORTRAN*, e uma interface de *Windows* (*WEPPWIN*) escrito na linguagem de programação de *C++ Visual* (Mendes, 2006). O sistema apresenta uma série de possibilidades de parâmetros de entrada, desde as situações mais simples, até as mais complexas, inclusive com discriminação de taxas de erosão ravinar e interravinar, deposição de sedimentos etc. conforme já discutido.

A diferenciação das áreas ravinares e interravinares presente no modelo trata-se de um dos aspectos mais interessantes, podendo auxiliar em muito na

³⁶ No endereço: www.ars.usda.gov/research.

descrição em separado de processos erosivos relevantes em cada situação (Chaves, 1996).

Para parcelas de controle de erosão, os processos ravinares devem ser desconsiderados, sendo que a partir das formulações anteriormente descritas, e visando uma análise simples do problema, as intensidades médias das chuvas aplicadas, as declividades das parcelas e as taxas médias de erosão nas parcelas durante os períodos de monitoramento podem ser relacionadas de acordo com a expressão (Mendes, 2006):

$$K_i = \frac{D_i}{(I^2 \cdot S_f)} \quad \text{[Equação 2-11]}$$

Em que:

K_i = erodibilidade entressulcos (kg/s/m^{-4}) [erodibilidade das parcelas];

D_i = taxa de erosão entressulcos ($\text{kg/m}^{-2}/\text{s}^{-1}$) [taxa de erosão nas parcelas];

I = intensidade de chuva (m/s^{-1});

$S_f = a - b \cdot e^{-4\text{sen}\theta}$, em que a e b = constantes,

e = base dos logaritmos naturais e $\text{sen}\theta$ = seno do ângulo do declive em graus.

O fator declividade do solo entressulcos pode ser calculado a partir da expressão de desenvolvida por Lie-benow *apud* Braida & Cassol (1996) conforme a equação:

$$S_f = 1.05 - 0.85e^{-4\text{sen}\theta} \quad \text{[Equação 2-12]}$$

Em que:

S_f = fator de declividade do solo em entressulcos;

e = base do logaritmo natural;

θ = ângulo do declive.

Para a utilização do modelo *WEPP* (inclusive do *software*), parâmetros hidrológicos e de solo (K_b , K_r , T_c) devem ser determinados para a situação em questão. No caso das parcelas de controle de erosão, como D_i , I e S_f são conhecidos por evento, é possível gerar estimativas de valores de K_i (erodibilidade entressulcos), a partir dos quais é possível efetuar as previsões.

Desta forma, a equação de erosão proposta no *WEPP* permite modelar de forma simples (sem a necessidade de modelo computacional e *software* específico) processos hidrossedimentológicos a partir de dados de parcelas de

controle de erosão, prevendo taxas de escoamento superficial, vazões de pico, perdas de solo, deposição no sopé dos taludes. As previsões podem efetuadas em escala de evento, desde que haja disponibilidade de dados automatizados de monitoramentos de campo para todos os parâmetros em questão.