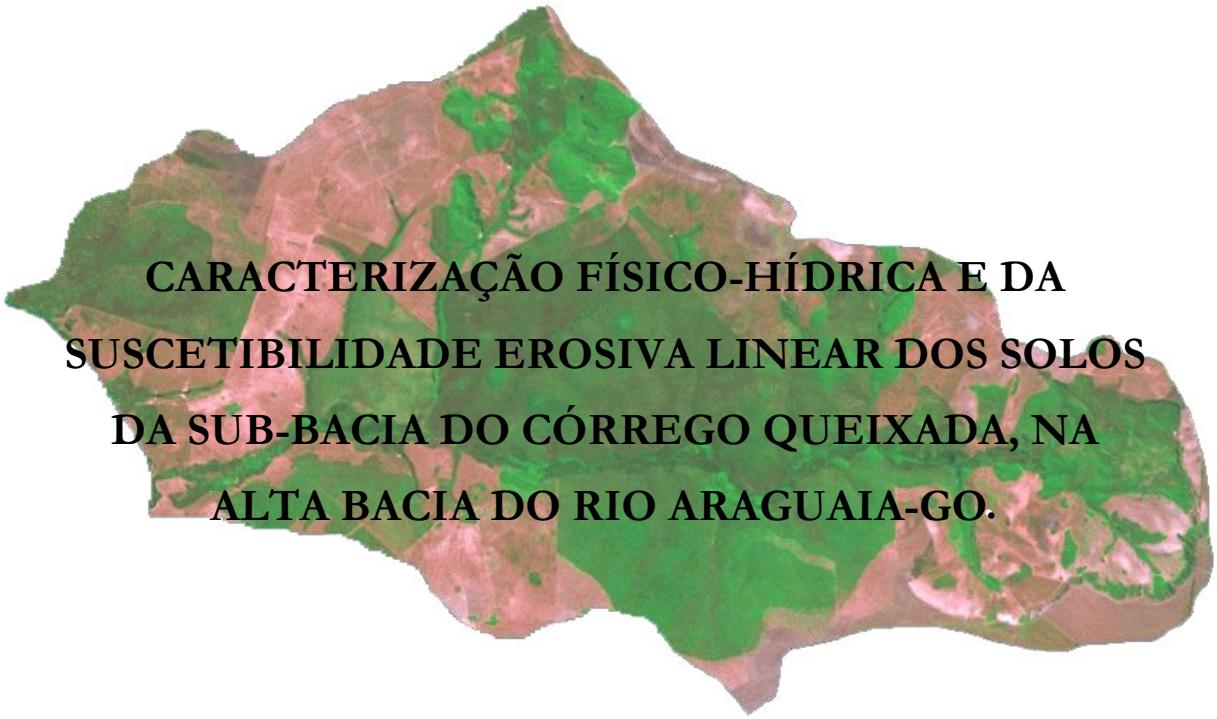
Universidade Federal De Goiás
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais
Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia



CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA E DA SUSCETIBILIDADE EROSIVA LINEAR DOS SOLOS DA SUB-BACIA DO CÓRREGO QUEIXADA, NA ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA-GO.

Gilberto Viana Marinho

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Selma Simões de Castro

Goiânia, Setembro de 2003.

Universidade Federal De Goiás
Instituto de Estudos Sócio-Ambientais
Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA E DA SUSCETIBILIDADE EROSIVA LINEAR DOS SOLOS DA SUB-BACIA DO CÓRREGO QUEIXADA, NA ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA-GO.

Gilberto Viana Marinho

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Selma Simões de Castro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geografia do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Geografia.

Goiânia, Setembro de 2003

GILBERTO VIANA MARINHO

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA E DA SUSCETIBILIDADE EROSIVA LINEAR DOS SOLOS DA SUB-BACIA DO CÓRREGO QUEIXADA, NA ALTA BACIA DO RIO ARAGUAIA-GO.

Dissertação defendida e aprovada em **/ /2003.**

Banca examinadora constituída pelos professores (as):

_____

Prof.ª Dr.ª Selma Simões de Castro
Universidade Federal de Goiás
(Orientadora)

_____

Prof.º Dr.º Fernando Ximenes de Tavares Salomão
Universidade Federal do Mato Grosso
(Membro Titular)

_____

Prof.ª Dr.ª Luciana Maria Lopes
Universidade Federal de Goiás
(Membro Titular)

AGRADECIMENTOS

A primeira pessoa que agradeço pela realização dessa dissertação é a Prof.ª Selma Simões de Castro, que coordenou um trabalho logístico bem estruturado desde o início da pesquisa, e contribuiu sobremaneira na minha formação profissional e também pessoal, me mostrando algumas trilhas interessantes de serem caminhadas.

Também agradeço ao Prof.º Alfredo Borges de Campos, que orientou na monografia de bacharelado e cooperou para o meu desenrolar profissional.

Ao pessoal que trabalhou nos trabalhos de campo na Alta Bacia do Rio Araguia, Prof.º Arquimedes, Leonardo, Shoso e sua equipe da geofísica, Vecchiato (UFMT) e ao Prof.º Fernando Ximenes, que participou da minha banca de qualificação e colaborou com dicas importantes para o desenvolvimento desta pesquisa.

À Prof.ª Luciana, que participou da banca de qualificação e fez várias contribuições, à Prof.ª Cláudia, que me deu uma força com a micromorfologia, e ao Prof.º Edgardo M. Latrubesse, coordenador junto com a Prof.ª Selma, do Labogef.

Aos demais professores do IESA: Calaça (que tenho grande estima e consideração), Maria Geralda, Eguimar, Lana, Celene, Romualdo, Alex, Ana Cristina, Sandra, Valter Casseti, Maria Amélia, João de Deus, Ivanilton, Eliane, Gislaine, Wellington, gosto de todos eles, e com certeza colaboraram de alguma forma para o meu amadurecimento.

Ao pessoal do Labogef, Kênia, Cinttia, Adriana, Aline, Ricardo, Luciano e Abelson; e a Rosane, secretária do Mestrado, que sempre nos atende prontamente.

Ao pessoal de Mineiros, Luis Carvalho e Osmar, que nos receberam gentilmente na Fazenda Paraíso e nos auxiliaram na coleta de dados.

Aos grandes amigos enrolados, Sérgião, Clerison, Roger, Jodat, Robson, Victória, Leonardo, Valney (que esqueci de agradecer na monografia), Ueliton, Gisela (grande figura), Thiagão e Bambino (Wilson); e agora às pessoas sérias... que são: a Maria (esposa do Sérgio), Gisélia e Tadeu. Todos eles, companheiros do cotidiano e principalmente colaboradores para o crescimento da ciência geográfica...

Aos colegas de curso, Jutorides, Rui, Francilane, Paulinha, Jackeline, Karla, Sandro, e demais colegas do mestrado, que não me recordo nesse momento.

Aos meus colegas do curso de geografia, que são muitos, e não os vejo mais. Agradeço-os e espero reencontrá-los um dia...

Ao Adriano e Aldenize (Copiadora DCE), companheiros do rock, que são pessoas batalhadoras e não perdem a coragem de encarar a vida.

Aos meus tios, tias, conjugues e filhos de todos eles; e aos meus primos e amigos, com destaque para os que me ajudaram na finalização do trabalho impresso, Renato, Rômulo e Fausto... valeu!

Ao pessoal da CPRM com destaque para o Correntino e o Marcelo (que também esqueci de agradecê-los na monografia).

Ao Pessoal da Vertical Green, Maurizio, Isabel, Louise, Vilma, Manoela, Alexandre, Jorge, Wender (Psyco), Pádua, Luis e Reinaldo, que são pessoas importantes e novamente farão parte do meu cotidiano...

À minha família, meus pais, seu Xavier e dona Aldenora (meu alicerce), meu irmão Betão e sua esposa Milene, que atualmente está grávida e dará luz à minha sobrinha.

À Universidade Federal de Goiás e ao Instituto de Estudos Sócio-Ambientais, e ao pessoal técnico-administrativo que também participa das formações profissionais e pessoais dos estudantes.

Aos financiadores e contribuidores importantes desta Pesquisa, ***CONCITEG-GO e CNPq – PCOOP,*** que tornaram possíveis os trabalhos de campo e outras atividades relacionadas à pesquisa.

À Funape, que realiza um belo trabalho, e que contribuiu com algumas de minhas despesas de viagens ao longo do curso de graduação e no mestrado.

E a algumas pessoas que não mencionei, também agradeço, pois mesmo estas me direcionando indiferenças, isso me fez engrandecer.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS..... vii

LISTA DE QUADROS E TABELAS ix

LISTA DE FOTOS..... ix

RESUMO x

ABSTRACT xii

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS 14

CAPÍTULO I - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA.... 27

BASE CONCEITUAL SOBRE EROSÃO HÍDRICA 27

Formas erosivas lineares e seus mecanismos..... 35

DINÂMICA HIDROLÓGICA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA NO SOLO E PROCESSOS EROSIVOS ASSOCIADOS 42

Infiltração da Água 44

Escoamento hídrico subterrânea (no solo) 47

Movimentos ascedentes da água no solo 52

Movimentos laterais da água no solo 54

O Lençol Freático e os Estudos Sobre Erosão Linear 55

Prospecção geoelétrica 57

Poços de monitoramento do nível d´água 57

CAPÍTULO II - METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS 62

OS PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS E O ENQUADRAMENTO DO PROJETO DE PESQUISA 62

CAPÍTULO III – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO QUEIXADA E DA MICROBACIA DO CÓRREGO CAPIVARA 79

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS - aspectos pluviais 79

CARACTERÍSTICA DO MEIO FÍSICO 82

CARACTERÍSTICAS DO USO DAS TERRAS 94

CAPÍTULO IV – CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DOS SOLOS DA TOPOSSEQÜÊNCIA PARAÍSO, NA MICROBACIA DO CÓRREGO CAPIVARA 100

CARACTERIZAÇÃO MACROMORFOLÓGICA DOS SOLOS..... 102

Neossolo Quartzarênico órtico (RQ) 105

Neossolo Quartzarênico hidromórfico (RQg) 106

Gleissolo (G) 109

Caracterização Micromorfológica 110

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DOS HORIZONTES PEDOLÓGICOS ... 124

Comportamento das chuvas..... 124

Dinâmica do Lençol Freático Frente ao Regime Pluvial 133

Monitoramento geoelétrico 133

Monitoramento piezométrico 137

Comportamento Hidráulico ao Longo da Toposseqüência Paraíso 150

CONCLUSÕES 155

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 160

ANEXOS 166

ANEXO A – DESCRIÇÃO MACROMORFOLÓGICAS DOS HORIZONTES PEDOLÓGICOS (SONDAGENS E PERFIS DE SOLO)

ANEXO B – LEITURAS DOS MEDIDORES DE NÍVEL D´ÁGUA (PIEZÔMETROS)

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Modelo de evolução de voçorocas..... 40

Figura 02 – Principais rotas de escoamento de integração entre voçorocas conectadas e desconectadas..... 40

Figura 03 – Zonas no solo quanto à distribuição de água sub-superficial..... 48

Figura 04 - Representação Esquemática do Nível Piezométrico, conforme o Potencial Gravitacional..... 55

Figura 05 – Superfícies piezométricas..... 59

Figura 06 – Pluviograma do dia 05/01/03, indicando 07 momentos de intensidade instantânea..... 69

Figura 07 – Esquema de prospecção geoelétrica com SEV..... 72

Figura 08 - Mapa de Localização da Área de Estudo..... 80

Figura 09 – Mapa hidrográfico e de ocorrências erosivas da Sub-bacia do Córrego Queixada..... 83

Figura 10 - Mapa geológico da Sub-bacia do Córrego Queixada..... 84

Figura 11 - Mapa de modelados geomorfológicos da Sub-bacia do Córrego Queixada..... 87

Figura 12 - Mapa hipsométrico da Sub-bacia do Córrego Queixada..... 88

Figura 13 - Mapa morfológico do relevo da Sub-bacia do Córrego Queixada..... 89

Figura 14 – Figura pedológico da Sub-bacia do Córrego Queixada..... 91

Figura 15 - Mapa de uso das terras da Sub-bacia do Córrego Queixada..... 95

Figura 16 – Vertente da microbacia do Córrego Capivara..... 101

Figura 17 – Toposseqüência Paraíso..... 103

Figura 18 – Distribuição dos constituintes do fundo matricial no perfil de solo 01 (P1)..... 117

Figura 19 – Distribuição dos constituintes do fundo matricial no perfil de solo 02 (P2)..... 119

Figura 20 – Distribuição dos constituintes do fundo matricial no perfil de solo 03 (P3)..... 120

Figura 21 – Distribuição dos constituintes do fundo matricial no perfil de solo 04 (P4)..... 122

Figura 22 – Croqui esquemático da macroporosidade no sistema pedológico RQ-RQg-G..... 123

Figura 23 - Totais Pluviais Mensais no período de agosto de 2001 a agosto de 2003 - Estação Fazenda Paraíso..... 125

Figura 24 – Dias chuvosos segundos os meses do ano no período de agosto de 2001 a agosto de 2003 - Estação Fazenda Paraíso..... 127

Figura 25 – Tempo de precipitação segundo os meses do ano no período de agosto de 2001 a junho de 2002 – Estação Fazenda Paraíso..... 128

Figura 26 – Curva de Intensidade Máxima Instantânea no período de agosto de 2001 a junho de 2002 – Estação Fazenda Paraíso..... 130

Figura 27 – Totais pluviais de um ano hidrológico distribuídos ao longo de um período de 24hs – Estação Fazenda Paraíso..... 132

Figura 28 – Perfil geoelétrico realizado com GPR na Toposseqüência Paraíso (julho/2001) 134

Figura 29 – Detalhe do perfil obtido com GPR, indicando o alto e o baixo potencial hidráulico na Toposseqüência Paraíso 135

Figura 30 – Perfil geoelétrico obtido com SEV..... 136

Figura 31 – Detalhe da área de monitoramento piezométrico na Fazenda Paraíso..... 138

Figura 32 – Pluviometria e Piezometria na área de monitoramento da Fazenda Paraíso..... 140

Figura 33 - Mapa Piezométrico do dia 09/09/2001 142

Figura 34 - Mapa Piezométrico do dia 23/09/2001..... 143

Figura 35 - Mapa Piezométrico do dia 10/02/2002..... 144

Figura 36 - Mapa Piezométrico do dia 28/07/2002..... 145

Figura 37 - Mapa Piezométrico do dia 10/11/2002..... 146

Figura 38 - Mapa Piezométrico do dia 13/04/2003..... 147

Figura 39 – Seção A-A´- Oscilação do lençol freático nos momentos de alto e baixo potencial hidráulico 149

Figura 40 – Comportamento hidráulico da Toposseqüência Paraíso..... 151

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 01 – Classes de porosidade do solo..... 50

Quadro 02 – Roteiro metodológico e produtos previstos..... 63

Quadro 04 - Caracteres micromorfológicos dos horizontes dos Perfis de Solo 01, 02, 03 e 04 (Toposseqüência Paraíso)..... 111

Tabela 01 – Intensidades Máximas Instantâneas..... 130

LISTA DE FOTOS

Foto 01 – Perfuração do solo com trado mecânico para instalação dos medidores de nível d´água 70

Foto 02 – Medidor de nível d´água instalado 70

Foto 03 – Perfil de solo do Neossolo Quartzarênico órtico..... 106

Foto 04 – Perfil de solo do Neossolo Quartzarênico hidromórfico..... 107

Foto 05 – Perfil de solo do Gleissolo..... 108

RESUMO

O presente estudo enfatizou o comportamento morfológico e hidrodinâmico dos solos de uma vertente da microbacia do Córrego Paraíso, que integra a subbacia do Córrego Queixada, afluente da Alta Bacia do Rio Araguaia. Trata-se de uma das mais críticas sub-bacias da região em número de voçorocas; portanto, este estudo objetiva analisar o comportamento físico-hídrico dos solos da referida área e sua dinâmica, a fim de contribuir com subsídios para o entendimento e controle dos processos erosivos.

A metodologia de pesquisa considerou os seguintes níveis de abordagem: estrutura superficial e fisiologia da paisagem, sendo que, inicialmente, partiu-se do nível que trata da compartimentação do meio físico que foi considerado em revisão bibliográfica.

Depois de feita revisão bibliográfica realizou-se trabalhos a campo que contemplaram: levantamento planialtimétrico de uma vertente representativa; caracterização morfológica dos solos em topossequência, por tradagem e abertura de trincheiras; coleta de amostras indeformadas de solo para observações micromorfológicas; instalação de pluviômetro e pluviógrafo; implantação de medidores de nível d´água no terço inferior da vertente; levantamento geofísico com GPR (Ground Penetrating Radar) e SEV (Sondagem Elétrica Vertical) para o monitoramento do lençol freático em maiores profundidades, ao longo da topossequência, nas estações seca e chuvosa.

Ao longo da Toposseqüência Paraíso foram identificados os seguintes solos: o Neossolo Quartzarênico, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e Gleissolo. São solos muito friáveis, assentados sobre o arenito eólico da Formação Botucatu, ao longo de uma vertente pouco declivosa, convexa, coberta, em grande parte, por pastagem e alguns fragmentos de cerrado no topo e próximo ao córrego.

As observações micromorfológicas demonstraram que há adensamento do solo em superfície, o que reduz a macroporosidade e dificulta a infiltração da água das chuvas, e que em profundidade essa macroporosidade é bem maior, facilitando assim o forte escoamento subsuperficial em momentos de alto potencial hidráulico. O Gleissolo se mostrou adensado em profundidade, o que retarda o escoamento subterrâneo vindo de montante, acumulando mais água, portanto nesse setor, gerando inclusive superfícies piezométricas de alto gradiente hidráulico.

Levantamentos geofísicos por meio dos métodos de GPR e SEV identificaram perfis sub-horizontais convexos do lençol freático nos terços superior e inferior da vertente e quase plana no terço médio, indicando maior circulação hídrica no terço inferior em que a convergência hídrica sub-superficial é mais acentuada.

Confrontando-se os dados de chuva e interpretando-se o comportamento do nível d´água, constatou-se rápida ascensão do lençol freático frente aos episódios chuvosos, com a circulação preferencial e concentrada em determinados pontos no terço inferior da vertente, inclusive com possibilidade de exfiltração do lençol freático, a uma distância de aproximadamente 60m do curso d´água, indicando assim, um setor de risco ao desenvolvimento de fenômeno de *piping*, mecanismo evolutivo de erosão remontante em voçorocas.

Palavras chave: piezometria, erosão, *piping*, Alta Bacia do Rio Araguaia e Sub-bacia do Córrego Queixada.

ABSTRACT

This study emphasizes the soils's morphological and hydrodynamic comportment from a watershed of micro basin from Paraíso Streamlet, that integer the sub basin from Queixada Streamlet, affluent of High Basin of Araguaia River. It is on of most critical sub basins from region in number of gullies. Because it, this study analyze the hydro-physic comportament and dynamic of soils of refereed area.

The research methodology considerate the following levels of approach: superficial structure and landscape physiology, initially, to start out from level that deals with physic middle compartmetation considerate in the bibliographic revision.

After bibliographic revision, was did fieldworks that contemplated: altimetry plane uptake from a representative watershed; morphological characterization from soils on topsequence, collecting and trenches aperture, levy of assays non deformed of soil to micro morphological observations: pluviograph and pluviometer installation; implantation of water's measures level on watershed inferior chaplet, geophysical survey with GPR (Ground Penetrating Radar) e VES (Vertical Electric Sounding) for monitoring phreatic water in largest profundities along of the topsequence, in rain and dry seasons.

Along of Paraíso Topsequence was identified the following soils: Quartzarenic Neosol, Hydromorphic Quartzarenic Neosol and Gleysol. It are very friable soils, upon eolic sandstone of Botucatu Formation, inside of a watershed few declivous, convex, covered in great part, with pasture and some fragments of cerrado on crest and near to streamlet.

Micro morphological observations have demonstrated that soils have condensed on surface reducing the macro porosity and difficult infiltration of rain water, that in profundity this macro porosity is bigger, faciliting the intense discharge sub-superficial at moments of high hydraulic potential. The Gleysol presented dense in profundity, what retard the subterraneous discharge come from upstream, heaping more water in this sector, causing piezometric superficies with high hydraulic gradient.

Geophysic surveys by GPR and SEV identified convexes sub-horizontals profiles from phreatic water into inferior and superior chaplets of watershed and almost plan inside media chaplet, indicating more hydric circulation on inferior chaplet on that the hydric subsuperficial convergence is most accentuated.

Confronting the rain data's and interpreting comportment water level, to find out rapid ascension of phreatic water under rain episodes, with the preferential and concentrated circulation in specific points on inferior chaplet of phreatic water, approximately 60 meters of water curse, denoting a risk sector for the development of piping phenomenon, erosion's evaluative mechanism remounting of the gullies.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Os problemas erosivos lineares (sulcos, ravinas e voçorocas) identificados na região da Alta Bacia do Rio Araguaia têm sido associados à alta erodibilidade dos seus solos, potencializados pelo uso inadequado que a área vem sofrendo, principalmente nos últimos 30 anos, relacionado com a introdução da chamada agricultura moderna, viabilizada por políticas do governo federal e iniciada na década de 70, facilitando a apropriação rápida e concentrada das terras, instalou a infra-estrutura, notadamente de comunicações, e financiou a agricultura de grãos, principalmente a soja, além da melhoria da pecuária, mas não de manejo ambiental adequados.

Por esse motivo foi elaborado o **"Programa de Pesquisa e Desenvolvimento da Bacia do Alto Araguaia – Proposta de Implantação de uma Rede Integrada de Pesquisa sobre Erosão, suas conseqüências e propostas de controle"**, que objetiva indicar as causas desses fenômenos e elaborar diretrizes de controle, com base em avaliação diagnóstica espacial dos aspectos do meio físico condicionantes dos processos, e suas relações com o uso atual da terra e obtenção de subsídios para a modelagem do comportamento dos solos e fluxos hídricos relacionados, em especial, com o voçorocamento, uns dos principais problemas da área.

Em um primeiro momento, esse programa trabalhou as informações em escalas regionais, (1:100.000 e posteriormente 1:60.000); e num segundo momento desenvolveu um estudo em escalas ainda mais detalhadas, em nível de uma microbacia representativa, relativo aos solos e ao monitoramento das chuvas e do lençol freático, cujos resultados são apresentados e discutidos nesse trabalho.

Uma vez que pairam dúvidas sobre as verdadeiras causas e, mais do que isso, especificamente sobre os mecanismos envolvidos, notando-se que há discordâncias facilmente reconhecidas na literatura especializada, a respeito do grau de influência antrópica na instalação e desenvolvimento do fenômeno erosivo, principalmente sobre o comportamento físico-hídrico dos solos, em particular

interessando ao processo de erosão linear do tipo ravinas e voçorocas, e que os modelos de controle para a erosão laminar, por escoamento difuso não se aplicam. Assim, a presente dissertação, desenvolvida no contexto do referido programa, enfatiza ao estudo da suscetibilidade erosiva linear em escala de detalhe, a partir do entendimento do comportamento morfológico e hidrodinâmico dos solos distribuídos ao longo das vertentes de uma microbacia representativa da região, a do Córrego Capivara, integrante de uma das subbacias do alto rio Araguaia, a do Córrego Queixada; esta, diagnosticada como uma das mais críticas da área, conforme mostraram os estudos diagnósticos realizados anteriormente na escala regional e subregional para o setor sul da alta bacia.

Em Goiás, o Instituto de Estudos Sócio-Ambientais (IESA-UFG) vem se destacando no estudo dos processos erosivos hídricos lineares, com projetos realizados na área urbana de Alexânia e na área rural da Alta Bacia do Rio Araguaia, dos quais resultados vem sendo apresentados em vários eventos científicos (Casseti et al., 1997); (Campos, 1998); (Campos et al., 1999); (Oliveira, 1999); (Castro, 1999a), (Francisco, 2000); (Marinho et al., 2000); (Marinho e Rodrigues, 2000); (Silva, 2000); Marinho et. al. (2001); (Castro et. al., no prelo); (Barbalho, 2002); (Marinho et. al., 2003); dentre outros. O presente trabalho insere-se no projeto "Diagnóstico, Prognóstico e Medidas de Controle de Erosões Urbanas e Rurais em Goiás e Mato Grosso", com financiamento da Secretaria de Ciência e Tecnologia/GO e CNPq, integrante do Programa já relatado.

A Bacia do Rio Araguaia, onde se insere a área-objeto da presente pesquisa, corresponde a uma das maiores bacias hidrográficas do Brasil, em extensão e volume de água, possuindo grande importância econômico-social nas áreas de agricultura, pecuária, turismo, pesca, transporte hidroviário, extração de areia, etc. Mas a bacia já revela processos de degradação ambiental, sobretudo a alta bacia, onde se insere mais especificamente este trabalho, devido aos processos erosivos lineares, que, dentre outros, podem comprometer a recarga e fluxo do manancial d'água, principalmente devido o assoreamento dos leitos fluviais por depósitos de sedimentos provindos dos solos erodidos. As erosões ocorrem em diversas áreas com alta suscetibilidade,

inclusive aquelas preparadas para o cultivo agrícola, as quais, em geral, são manejadas inadequadamente (Barbalho, 2002).

A relevância desse projeto prende-se à magnitude dos impactos negativos ao meio ambiente que as erosões provocam na Alta Bacia do Rio Araguaia, como o assoreamento dele próprio e de seus tributários; a perda da camada orgânica e da fertilidade do solo; a contaminação dos recursos hídricos, inclusive freáticos, por fertilizantes e agrotóxicos; a desvalorização imobiliária; a perda de área útil de produção agropecuária; todos indutores de ocupação e desmatamento de novas áreas às vezes ainda mais susceptíveis. As erosões encontradas na região são associadas às atividades sócio-econômicas baseadas na produção pecuária e mais recentemente, na moderna agricultura, calcada na motomecanização intensiva implementada numa estrutura fundiária concentrada; e fatores físicos, representados pela ocupação e uso de terras constituídas principalmente de Neossolos Quartzarêncicos (anteriomente denominados de Areias Quartzosas), que, em geral, se apresentam arenosos, com estrutura maciça, pouco ou não coesos, muito friáveis e porosos. Estão assentados em relevos suavemente ondulados e medianamente dissecados, que, sem a cobertura vegetal, ou mal manejados, condicionam alto risco à erosão.

Cerca de 100 ocorrências erosivas, 23 de grande porte, foram inventariadas (Silva, 2000), estando a maioria delas na área rebaixada que se situa abaixo do nível da Chapada (Serra de Caiapó), interpretada como pedimentar e de alta suscetibilidade erosiva linear, devido à conjugação dos referidos solos arenosos aí dominantes com vertentes longas e substrato arenítico fino da Formação Botucatu (Oliveira, 1999; Campos et al, 1999 e 2000), que além de suscetíveis foram alvo de intenso desmatamento indiscriminado, contribuindo para a eliminação de mais de 50% da cobertura savânica original (Faria, 2001; Barbalho, 2002), onde as capacidades de uso das terras mostram severas restrições ao uso agropecuário (Barbalho, 2002). As ocorrências situam-se, em particular, nas pastagens sobre os Neossolos Quartzarênicos (Barbalho et al., 2000 e 2002), concentradas em maior número nas áreas de nascentes ou próximo a elas, conectadas aos canais de drenagem, seja perpedicularmente, seja em prolongamento das suas nascentes (reativação de cabeceiras de drenagem) (Silva, 2000).

Dado esse grande número de ocorrências erosivas lineares (Silva, 2000), tanto de ravinas como de voçorocas no Setor Sul (73 ocorrências), maior que no Setor Norte (34 ocorrências) da Alta Bacia do Rio Araguaia, o primeiro foi escolhido para o diagnóstico em escala de semi-detalhe (1:60.000 ou maiores), a partir do qual se fez necessária uma análise sistemática e mais detalhada, sobretudo em campo, relativo ao comportamento do fenômeno, a fim de contribuir para a elaboração de diretrizes e planos de uso e manejo das terras em busca de preservação e/ou conservação dos recursos naturais ainda disponíveis e a correção daqueles já afetados.

Sabe-se, pela literatura, que ainda há controvérsias sobre os reais papéis do solo e das ações antrópicas nos processos erosivos dessa natureza como discutido por Bacellar, (2000), mas estudos detalhados, ainda poucos no Brasil, tem revelado que o comportamento hídrico e suas relações com a porosidade e a estrutura dos solos são os condicionantes mais significativos para explicar os fluxos responsáveis pelo desencadeamento do fenômeno (Salomão, 1994; Santos, 1995), não sendo possível negar, no entanto, que práticas inadequadas podem potencializá-los, principalmente quando associadas a ambientes naturalmente frágeis (Castro et. al., no prelo).

A microbacia do Córrego Paraíso aqui estudada integra a subbacia do Córrego Queixada, por sua vez afluente da Alta Bacia do Rio Araguaia; em grande parte está situada na Fazenda Paraíso e é das mais críticas da região (Barbalho, 2002), onde o entendimento do condicionante solo e seu comportamento físico-hídrico na dinâmica erosiva poderá contribuir de modo a indicar a melhor forma de controle em áreas naturalmente muito suscetíveis (Castro et. al., no prelo; Marinho et. al. 2003).

"Um problema científico pode ser inédito ou, como é o caso da erosão, uma questão recolocada à luz de novos conhecimentos" (D'Agostini, 1999). Segundo o mesmo autor "como problema socioeconômico e ambiental, a erosão do solo induzida pelas atividades do homem pode assumir diferentes singnificados – edafológico, urbanístico, sanitário – e suas respectivas importâncias são facilmente caracterizáveis" (p.20).

A prática da observação da paisagem é muito importante a fim de se compreender a dinâmica dos elementos que constituem o sistema ambiental. Os

aspectos geomorfológicos e geológicos interferem na complexidade hidrológica. Em geral, formas abruptas de relevo são passíveis de circulação hídrica interna e externa mais acentuadas, ao contrário, as formas aplainadas e suaves, possuem processos tendentes ao equilíbrio dinâmico, exceto em condições de ações impactantes.

Conforme Baccaro (1999), é necessário um conhecimento integrado e profundo dos elementos, dos processos físicos, químicos, biológicos e das ações humanas que se interagem e contribuem para a dinâmica do sistema ambiental físico, objetivando conhecer a estabilidade e os limites do equilíbrio dinâmico dos mais diversos subsistemas geomorfológicos.

A organização estrutural, textural e de porosidade do solo resulta dos processos de pedogênese associada à dinâmica morfogenética, que trabalhou os diferentes materiais litológicos no tempo e nas paisagens, sobretudo sob condições climáticas que podem ter sido ou não semelhantes das atuais. Sua formação e evolução são freqüentemente bem mais lentas do que a velocidade de sua degradação quando usado inadequadamente.

A chuva precipitada pode ser interceptada e evaporar, escoar e se infiltrar. Os escoamentos ocorrem em razão dos condicionantes de uso terra, morfologia e permeabilidade do solo em superfície. A infiltração também está ligada a estes fatores, destacando as características estruturais e de porosidade do solo. A água da chuva infiltrada pode percolar no solo nos sentidos vertical, horizontal, tanto descendente como ascendente, em função de seu caminho natural no contato solo/rocha e a sua posição topográfica no modelado do relevo, configurando o nível freático.

Os fluxos externos tendem a circular para jusante como escoamento superficial e os internos, subsuperficiais e profundos, tendem a caminhar em dois sentidos, o vertical que comumente é responsável pela recarga do nível freático e o lateral, que se dirige para os fundos de vale. Este é o que pode implicar na instalação do *piping* ou duto natural formado pela remoção de partículas, implementada pelo fluxo hídrico. Sempre que ocorre desequilíbrio no movimento desses fluxos e nas taxas de infiltração e escoamento superficial, a cobertura de solo pode sofrer também desequilíbrio (Salomão, 1999). Um desses desequilíbrios é evidenciado pela erosão

hídrica por estar relacionada com o impacto das chuvas e os escoamentos das águas superficiais ou infiltradas.

A temática erosão hídrica vem sendo discutida em diversos eventos científicos (Simpósio Nacional de Geomorfologia, Simpósio Nacional de Geografia Física Aplicada, Simpósio Nacional de Controle de Erosão, etc.), caracterizando-se como problemática de interesse comum de vários campos profissionais, que merece maior atenção tanto para correção como, sobretudo, para prevenção.

É fácil perceber quanto os solos da Alta Bacia do Rio Araguaia são suscetíveis à erosão, a julgar pelas suas características, e pela quantidade de focos erosivos que aí ocorrem, cerca de quase 30% de grande porte (Silva, 2000) de modo similar a outras áreas areníticas com solos equivalentes e intensamente desmatados do país, algumas até com processos de desertificação. Entretanto, é necessário demonstrar melhor o porquê desse fenômeno, pois que o Neossolo Quartzarênico predominante na área, sendo um solo de textura arenosa, é muito poroso, e teoricamente deveria ser bem drenado, portanto, presume-se que haveria o predomínio da infiltração, sobre o escoamento superficial.

No entanto, pode-se constatar também que esse solo apresenta predomínio de estrutura maciça, areia fina a muito fina e porosidade igualmente fina, o que pode influir na circulação hídrica, favorecendo taxas de infiltrações lentas ou reduzidas, aumentando a concentração superficial das águas pluviais ou, com o manejo inadequado, ficar exposto ao impacto da chuva, que desprende as partículas finas e carreia o material, que é pouco ou não coeso, podendo causar o selamento.

Por outro lado, há que se considerar que mesmo com boa permeabilidade, tais solos têm uma capacidade de infiltração que pode ser inferior ao volume de chuva de um único episódio chuvoso que pode ser agravado devido ao seu estado de umidade antecedente. Boulet (2001) trabalhando na Alta Bacia do Rio Araguaia registrou para os horizontes superficiais desses solos condutividades hidráulicas, da ordem de 65mm/h no horizonte superficial (20cm) e 235mm/h a uma profundidade de 60-80cm, demonstrando assim forte contraste na porosidade ao longo do perfil do solo. Paralelamente, Ramos e Castro (2002) e Ramos (2003) demonstraram que a área da alta Bacia do Araguaia está sujeita a intensidades elevadas de chuva (maiores que

80mm/h), concentradas no verão, em especial no final da estação, sobretudo fevereiro, quando o solo pode já estar com teores elevados de umidade; portanto, nessas circunstâncias de alta intensidade pluvial haveria o excedente de 15mm/h de chuva que contribuiriam para o escoamento superficial.

O fato de dominar pastagem com pecuária extensiva gera trilheiros, sobretudo aqueles que conduzem aos canais de drenagem, como amplamente registrado na área (Castro et. al., 1999; Barbalho, 2002; dentre outros), os quais pode promover facilmente a concentração dos fluxos hídricos superficiais, capazes de provocar o aparecimento de sulcos e ravinas, estas que ao se aprofundarem e se entenderem para jusante das encostas, pode evoluir rapidamente para voçorocas ao interceptarem o nível freático habitualmente raso nesses setores. Em geral, terrenos inclinados e com pouca ou nenhuma vegetação por si já são propícios ao escoamento superficial com risco à erosão, seja qual for o tipo de solo.

Assim, para o entendimento da dinâmica erosiva na área em questão, é necessária a análise dos condicionantes que estão abaixo e acima da superfície do solo, em particular os fluxos hídricos laterais de interesse ao estudo de voçorocamento. O processo erosivo é um sistema de fluxos de energia e matéria, que pode apresentar diferentes respostas em função das várias formas de interação dos elementos que o compõem.

Nesse sentido, os condicionantes principais já constatados na escala regional obtidos nos trabalhos realizados até o momento e que demandaram a necessidade de estudos detalhados, especialmente relativos ao comportamento/funcionamento do sistema hidropedológico e sua relação com a gênese erosiva, no contexto de uma microbacia, tal como se pretende nesta pesquisa.

Os trabalhos regionais consistiram na geração de mapa-base (topográfico) e de mapas temáticos (litológico, litoestrutural, morfológico do relevo, de solos, de ocorrências erosivas, de uso da terra, clinográfico e hipsométrico), e de síntese por intercruzamento dos temáticos (morfopedológico, suscetibilidade erosiva e de sistemas pedológicos). A validação desses documentos cartográficos gerados foi feita em campo, seguida de seu cruzamento com os mapas de ocorrências erosivas e morfopedológico na mesma escala, por fotointerpretação (fotos aéreas) e

análise/tratamento de imagens de satélite (Landsat TM –7), na mesma escala. Esses produtos serviram como importante subsídio a esta pesquisa, dentre outras razões, pelo fato de terem permitido a seleção da sub-bacia do Córrego Queixada e microbacia do Córrego Capivara, devido o elevado grau de criticidade do fenômeno, como já exposto.

A caracterização físico-hídrica e erosão hídrica linear dos solos, do ponto de vista geoambiental, volta-se nesta pesquisa, para a análise do meio físico como base para interpretação diagnóstica e prognóstica de processos erosivos lineares, portanto explicativa desse fenômeno.

A literatura consultada a respeito de erosão hídrica é relativamente unâmine ao separá-la em dois tipos – a erosão laminar, resultado de fluxos superficiais difusos e muitas vezes anastomosados na forma de filetes; e a erosão linear, resultante de fluxos superficiais (sulcos e ravinas) e destes somados aos subsuperficiais (voçorocas) (IPT, 1986; Salomão, 1994 e 1999); Oliveira, 1994; Oliveira, 1999; Bertoni e Lombardi Neto, 1995; Bacellar, 2000; dentre outros).

A erosão do tipo voçoroca, que é de maior interesse para este trabalho, freqüentemente é associada, também, por alguns autores, a gradientes hidráulicos relativamente elevados, devido a sazonalidade climática ou indução devida a manejos diversos dos terrenos (Salomão, 1994, 1999; Barcellar, 2000), podendo estar conectado aos canais de drenagem ou em prolongamento de suas cabeceiras, considerado este como fenômeno de reativação de drenagem (Salomão, 1994 e 1999). Por outro lado, os fenômenos de *piping*, que segundo vários autores, são associados à gênese e evolução dos voçorocamentos, podem estar relacionados a condicionantes litológicos (descontinuidades, por exemplo) e a estruturais (fraturas, diáclases e outros, por exemplo) (Oliveira, 1999; Bacellar, 2000). A maioria dos autores costuma atribuir a eles um papel decisivo no desencadeamento dos processos erosivos dessa natureza (Salomão, 1999).

A seleção da microbacia do Córrego Queixada (e nela a do Córrego Capivara) deveu-se a uma série de características: microbacia com alto grau de criticidade erosiva; utilização de agricultura motomecanizada e extensas áreas com

pastagem; uma parte da vegetação de cerrado preservado praticamente sem sinais de erosão linear na margem esquerda, e de uma grande área degradada e com ocorrências erosivas lineares na outra. As ocorrências erosivas foram associadas a escoamentos (fluxos) tantos superficiais como subsuperficiais, tratando-se, portanto, de voçorocas (IPT, 1986; Salomão, 1999).

A voçoroca Paraíso, situada na microbacia do Córrego Capivara, tem evolução extremamente rápida: em pouco mais de 5 anos, segundo depoimento do proprietário, e observação em campo, passou de menos de 10 a 20 m de extensão para quase 200 m, e já apresentando um ramo lateral importante. Apresenta fluxo d´água contínuo e várias surgências associadas a *piping* nos taludes, e encontra-se em fase de alargamento lateral por solapamento, desmoronamento e deslizamento, dentre outras feições indicadoras de sua franca atividade. Apresenta ainda, sedimentação considerável à jusante, indicando episódios sucessivos de descarga que podem estar associados à sua evolução e ao desmatamento; expõe tanto saprolitos acima do arenito da Formação Botucatu, como na porção média e final. Teria ainda provocado um rebaixamento do freático a montante, que conduziu rapidamente à sua evolução remontante, por aumento do gradiente hidráulico e ação provável de episódios pluviais intensivos, sobretudo no verão, quando ocorre a recarga do nível freático (Rezende, 2002).

Ainda segundo o proprietário, em uma das erosões próximas a estas, na mesma microbacia do córrego Paraíso (Água Limpa, cadastrada pelo IPT, 1998) houve uma evolução remontante de aproximadamente 40 metros de sua cabeceira, em um único episódio chuvoso de alta intensidade, acarretando desmoronamento e arraste de material para o córrego, assoreando-o e formando áreas espraiadas significativas.

Boulet (2001) numa outra voçoroca (denominada Chitolina), bem maior, com aproximadamente 1.000m de extensão e situada fora da presente área de pesquisa, calculou em 55m/ano a evolução remontante dessa voçoroca, sendo que em um determinado período, entre 1983 e 1984, essa evolução foi de aproximadamente 300m. Houve durante todo esse processo erosivo, o carreamento de um grande volume de

material que assoreou o Gleissolo húmico da planície do Rio Araguaia, formando um lago que afogou a vegetação do baixo terraço, hoje relativamente eutrofizado.

À montante da erosão Paraíso, no sentido do declive da vertente, há muitas trilhas de gado que se direcionam de modo convergente para a voçoroca e para o córrego. Com o desenvolvimento da voçoroca, o gado foi criando novas trilhas para desvio em suas laterais. As trilhas são condicionantes dos processos erosivos por conduzirem grande quantidade de água pluvial que escoa em meio a pastagem, devido à compactação do solo pelo pisoteio do gado, pelo selamento da superfície do solo e pela perda de vegetação, o que dificulta a infiltração da água, aumentando com isso o escoamento superficial, concentrado das águas pluviais no interior da voçoroca, mesmo que as chuvas sejam de intensidades moderadas.

Numa tentativa de contenção da evolução das voçorocas, o Sr. Luis Carvalho (assim como outros proprietários), construiu estruturas ou barreiras de areia, chamadas de "murundus", maiores que 01 metro de altura (camalhões), circundando as cabeceiras das erosões em nível e cortando as trilhas de gado para impedir a entrada dos fluxos d'água na erosão. Tal procedimento amenizou temporariamente o problema do escoamento superficial da água pluvial, entretanto, as barreiras facilitaram a infiltração de grande quantidade de água, que provavelmente passou a alimentar o volume de água circulante no interior dos tubos de *piping*, devido à recarga do lençol freático. Essas medidas de contenção são eficazes para ravinas, mas para voçorocas podem até agravar o problema (Salomão, 1994 e 1999).

Os solos identificados pelo levantamento pedológico feito ao longo da vertente confirmaram a presença de Neossolo Quartzarênico órtico brunado muito espesso (maior que 10 m) no terço superior e maior que 5m no médio e Neossolo Quartzarênico hidromórfico amarelado a acinzentado na base dos perfis do terço inferior, seguido de Gleissolo a jusante, ambos com cerca de 2 m de espessura. Constatou-se através das sondagens que o nível freático encontra-se a cerca de 6 m de profundidade no meio do terço inferior e a jusante a cerca de 2 m, numa distância de menos de 50 m aproximadamente, o que potencializa a velocidade do escoamento

subsuperficial. Esses dados coincidem com os níveis de surgência nos taludes da voçoroca.

Salomão (1994, 1999) apresenta modelos de escoamento superficial e de percolação/infiltração ao longo das vertentes de baixas declividades constituindo colinas amplas e médias, suave onduladas (convexizadas), através de monitoramento do nível freático (ou nível piezométrico). Segundo esse autor, em geral, no terço superior, domina a infiltração em detrimento do escoamento superficial. A partir do terço médio e com maior intensidade no terço inferior, o escoamento superficial é maior em relação à infiltração devido ao declive. Esses padrões de fluxos de circulação hídrica foram encontrados também por Cunha (1996 e 2002) e Cunha et. al. (1996 e 2001) e por Santos (1995 e 2001), dentre outros, embora para solos muito diferenciados de montante para jusante das colinas, diferenciação essa bem menor na presente área de pesquisa.

O monitoramento do nível piezométrico geralmente é feito no terço inferior onde, por potencial gravitacional os fluxos hídricos se dirigem e se concentram, saturando o meio, como revelaram as pequenas profundidades em sondagens ou furos no solo, como demonstrou Salomão (1994) e como também constatado no levantamento de solos aqui apresentados. Este autor demonstrou que os níveis piezométricos de jusante, medidos ao longo de um ano revelavam alto gradiente hidráulico sazonal, e que era onde as ocorrências erosivas se concentravam.

Outro tipo de monitoramento que vem sendo utilizado (Bacellar, 2000) envolve sondagens geoelétricas (GPR e Eletroresistividade), cujos equipamentos são capazes de identificar descontinuidades dos solos e substratos, bem como os níveis aqüíferos até profundidades elevadas, que, quando feitos durante período representativo de cada estação, podem contribuir para elucidar prováveis causas da concentração dos fluxos, além de auxiliar na identificação do gradiente hidráulico.

O sistema pedológico encontrado na área de pesquisa constituído por Neossolos e Gleissolos é pouco estudado e o conhecimento dos fluxos hídricos desses sistemas pedológicos é ainda mais insuficiente. Além disso, em geral os estudos priorizam os perfis verticais de solo e os fluxos também verticais, até as parcelas de

erosão que servem mais à compreensão da erosão laminar ligada ao escoamento superficial (Queiroz Neto, 1988).

Tornou-se imprescindível, portanto, no presente caso, o estudo da circulação hídrica interna nesse sistema pedológico, a fim de verificar até que ponto o fluxo hídrico interno é condicionante da erosão linear na área e se isso tem ou não relação com o uso e manejo das terras, ou, finalmente, se as duas coisas ocorrem juntas, potencializando ainda mais o processo. Conhecer o caminho desses fluxos e a que se relacionam, bem como a época do ano climático e as posições topográficas em que ocorrem são elementos fundamentais para a compreensão dos condicionantes e da dinâmica do fenômeno.

Assim, várias atividades nesse sentido foram implementadas nesta pesquisa, como: a instalação de medidores de chuva com pluviômetro e pluviógrafo, e do lençol freático com 27 piezômetros no setor inferior da vertente; o levantamento topográfico da vertente (1/5000) com eqüidistância de 1m; o levantamento dos solos ao longo do eixo topográfico (em toposseqüência) com coleta de amostras deformadas e indeformadas, estas para estudo de macroporosidade; além do cadastro completo da ocorrência erosiva representativa e paralela ao referido eixo, cujos resultados são apresentados em outra pesquisa, paralela a esta (Rezende, no prelo).

Espera-se que como resultado final da pesquisa, possa-se chegar a um exemplo padrão de comportamento hídrico do sistema pedológico estudado visando a identificação de parâmetros de interesse ao planejamento físico-territorial que direcionem diretrizes e subsídios para os planos de manejo voltados à prevenção e/ou controle dos processos erosivos acelerados.

OBJETIVO GERAL

- **Caracterizar morfologicamente e hidropedologicamente o sistema pedológico dominante na área de estudo, associando-se aos processos de voçorocamento, de modo a conhecer os condicionantes da suscetibilidade erosiva.**

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Caracterizar macromorfologicamente o sistema pedológico, em um transecto ou toposseqüência, do topo do interflúvio até o fundo do vale, a fim de se contextualizar as propriedades físicas dos solos (com ênfase na estrutura, textura e porosidade) e outros atributos do meio físico (forma, declive e comprimento de rampa; profundidade do topo rochoso e outros) inerentes à circulação hídrica superficial e sub-superficial e à suscetibilidade erosiva;
- ✓ Avaliar os aspectos mais relevantes das relações entre intensidade, duração e freqüência das chuvas, e o comportamento do lençol freático em termos de sua resposta à pluviosidade;
- ✓ Analisar o comportamento do lençol freático no terço inferior da vertente da área objeto, por meio de monitoramento piezométrico, com base no histórico pluvial ao longo de 02 ciclos hidrológicos (estação seca e chuvosa), de maneira a rastrear a dinâmica hídrica associada aos fenômenos de *piping*, desencadeadores de processos erosivos lineares (voçorocamentos).
- ✓ Analisar micromorfologicamente amostras de solos representativas dos horizontes dos solos da toposseqüência a fim de se melhor caracterizar o arranjo do sistema macroporoso responsável pela percolação hídrica;
- ✓ Interpretar a suscetibilidade erosiva dos solos ao longo da vertente estudada, definindo os setores de maior risco a erosão;

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICO-METODOLÓGICOS DA PESQUISA

Este capítulo trata da fundamentação teórico-metodológica da pesquisa e enfatiza o comportamento hídrico externo e interno dos sistemas pedológicos e processos erosivos decorrentes. São formuladas, ao final, algumas hipóteses relacionadas aos impactos erosivos lineares e seus condicionantes, processos e mecanismos, que serviram de base para o desenvolvimento da pesquisa.

Assim, inicia-se pela questão relativa à erosão hídrica do tipo linear, prossegue-se com os aspectos gerais da dinâmica hidrológica e destacam-se ao final dessa parte alguns aspectos relacionados ao lençol freático e sua dinâmica.

BASE CONCEITUAL SOBRE EROSÃO HÍDRICA

Há vários tipos de erosão: eólica, fluvial, marinha, hídrica, etc. A erosão hídrica, além de ser a mais significativa em regiões tropicais é a que será focada nesta pesquisa, por isso será dada ênfase ao assunto.

A erosão é vista pelo geomorfólogo como a modelagem e esculturação do relevo e pelo agrônomo ou pedólogo como a degradação do solo (Guerra & Guerra, 1998). Neste último caso, afeta diretamente as atividades humanas associadas ao uso e manejo do solo para ocupação de áreas urbanas e práticas agropecuárias.

Segundo Bertoni e Lombardi Netto (1985) erosão hídrica é o processo de desprendimento e arraste acelerado das partículas do solo causado pela água, a qual pode ser do tipo linear ou laminar.

Segundo IPT (1990) a erosão pode ser normal, quando há certo equilíbrio na natureza, entretanto quando o processo erosivo é acelerado por influência das atividades humanas, passa a ser denominada erosão antrópica.

A mudança no meio, provocada pelas atividades humanas, principalmente nas etapas iniciais de uma frente pioneira de ocupação das terras, cria uma nova dinâmica de funcionamento dos sistemas ambientais ou paisagens. A alteração é ainda maior quando na dinâmica evolutiva das paisagens, os usos das terras se sucedem ao longo do tempo.

De acordo com Bloom (1996) a erosão por causas naturais ou provocadas pelo homem é uma boa prova de que as paisagens evoluem, pois as mudanças correm em escala natural, exceto em relação ao tempo, isto é, no caso de haver erosão acelerada, esta não ocorre no mesmo ritmo correspondente, àquele da formação do solo, daí sua degradação.

O entendimento sobre os processos erosivos hídricos costuma ser sistematizado em dois tipos, o que se relaciona com o escoamento difuso ou laminar das águas pluviais sobre os terrenos e o que envolve a concentração desses fluxos pluviais e que resultam na formação de sulcos, ravinas e voçorocas.

Segundo lembram IPT (1990) e Salomão (1999), dentre outros, os fatores responsáveis pelos processos erosivos são: chuva, cobertura vegetal, topografia, geologia e tipos de solo.

Chuva

O mecanismo conhecido por *splash,* constitui o estágio inicial do processo de erosão hídrica pluvial, consistindo na desagregação das partículas superficiais do solo pelo impacto das gotas de chuva. Guerra e Guerra (1997) chamam o *splash* como erosão por salpicamento que podem causar a ruptura dos agregados do solo. Guerra (1999) destaca que a ruptura dos agregados favorece o preenchimento dos poros da superfície do solo, gerando um selamento, que facilita o escoamento hídrico superficial, por dificultar a infiltração. Segundo Oliveira (1999) com o *splash erosion*, ou erosão por

salpico, ocorre o deslocamento de partículas por impacto das gotas de chuva, acarretando a compactação da superfície do terreno, por meio da remobilização de silte e argila nos espaços intergranulares, e erosão, através da projeção de partículas para fora da zona de impacto.

Ainda, segundo Guerra (1999), o *splash* é o estágio mais inicial do processo erosivo, porque libera as partículas do solo para o transporte pelo escoamento superficial. Essa liberação se dá tanto pela ruptura dos agregados, tornando-os menores, como pela capacidade de transporte que o salpicamento realiza nas partículas do solo.

A ação do *splash* varia em razão da erosividade da chuva (R) e erodibilidade do solo (K), podendo ocorrer com maior ou menor facilidade o desprendimento de partículas e a formação de crostas de selamento. A energia cinética da chuva determina a erosividade (R), que é a propriedade que as gotas de chuva têm em provocar erosão, que se referem à magnitude da precipitação, que determina a altura de queda, massa, forma e volume das gotas. A ação dos ventos pode alterar os elementos citados e inclusive exercer influência no aumento ou diminuição da velocidade de queda das gotas de chuva.

É importante ressaltar que em geral as chuvas com alta intensidade e baixa duração podem causar um maior impacto erosivo do que chuvas de duração mais longa, com intensidade baixa, pois esta permite a infiltração de volumes menores das águas pluviais.

Convém adiantar que, a pluviosidade na Alta Bacia do Rio Araguaia, onde se insere a área de pesquisa, apresenta elevados índices e intensidades, portanto, naturalmente a área já apresenta suscetibilidade à erosão hídrica, em razão da alta erosividade das chuvas nesta região.

Cobertura vegetal

A cobertura vegetal pode ser natural ou incorporada pelo homem, inclusive pelo uso agropecuário. Segundo IPT (1990) e Bertoni & Lombardi Neto (1985) e reiterado por Salomão (1999), no que se refere a defesa contra a erosão, a cobertura vegetal apresenta os principais efeitos:

a) proteção contra o impacto direto das gotas de chuva;

b) dispersão e quebra da energia das águas de escoamento superficial;

c) aumento da infiltração pela produção de poros no solo por ação das raízes;

d) aumento da capacidade de retenção de água pela estruturação do solo por efeito da produção e incorporação de matéria orgânica.

Simões (2001) demonstra o papel da matas de galeria na formação de zonas tampão ripárias, devido à sua função de filtração dos sedimentos e poluentes de origem agrícola, no controle erosivo, na infiltração na água pluvial, e também na amenização das cheias. "Os sistemas ripários podem ser definidos como a interface entre os ecossistemas aquático e terrestre e são identificados, basicamente, pelas características do solo e comunidades vegetais únicas, adaptadas a cheias de alta magnitude e curta duração" (p.22-23).

Cabe ressaltar que os trabalhos desenvolvidos na Alta Bacia do Rio Araguaia revelaram o predomínio de usos agropecuários sobre as áreas remanescentes do cerrado original, que alcança quase 70% de toda área, o que somado à elevada e intensa precipitação e à insuficiência das práticas conservacionistas se traduz em maior suscetibilidade erosiva (Barbalho, 2002).

Topografia

Como lembra Vitte (1997), o fator topográfico é constituído por duas variáveis do relevo que modificam a ação exercida pela água pluvial: o comprimento de rampa e o declive. Segundo o mesmo autor, experiências têm demonstrado que o

aumento do comprimento das encostas age no sentido de acelerar a erosão do solo e, que à medida que são mais longas, aumentam o volume e a velocidade (energia) de água que escoa em uma seção transversal da vertente, e junto a isso, a capacidade de remover detritos. Por outro lado, quanto mais longo for o percurso de escoamento superficial, maior será a possibilidade em que a água terá de se infiltrar ou evaporar segundo condições favoráveis a isto.

Conforme D`Agostini (1999:50), "a declividade e o comprimento de rampa são a imagem geométrica de uma função que descreve a dinâmica de fluxo e energia mecânica da água que escoa sobre o solo". E que a capacidade de produzir erosão é propriedade da energia de velocidade, resultante da energia potencial transformada segundo as características de um espaço geométrico (percebido pelo comprimento e inclinação do terreno).

Convém destacar que na zona rebaixada que caracteriza o amplo pedimento instalado desde as escarpas das chapadas (Serra de Caiapó e outros) e o canal do Rio Araguaia, caracteriza-se por apresentar amplos interflúvios com topos planos a ligeiramente convexos e encostas retilíneas ou suavemente convexizadas de baixo declive, que variam de 700 a 1.900m, podendo chegar a maiores que 3.100 m o que confere potencial topográfico favorável à instalação de processos erosivos) (Santos, 2000; Campos et. al., 1999). Assim, tais características são favoráveis ao aumento da energia cinética do escoamento superficial, podendo conduzir a enxurradas quando ocorre o selamento e chuvas concentradas e intensas.

Geologia

Os condicionantes geológicos podem gerar alguns fatores de desencadeamento dos processos erosivos, pois formam a plataforma de sustentação pedológica e geomorfológica, a qual pode apresentar instabilidade mediante alterações realizadas pelo homem no meio físico.

Na área urbana de Alexânia, foi constatada a ocorrência de voçoroca, situada na borda do platô que assenta a cidade, associada ao lançamento concentrado

de águas pluviais e servidas em zonas de falhamentos de quartzitos e micaxistos (rochas metamórficas do Grupo Araxá) (Casseti et. al., 1999). Possivelmente o falhamento seria um direcionador e condutor importante de fluxos hídricos internos (gerando o efeito *piping*) que consorciados com os fluxos externos concentrados, desencadearam o processo erosivo.

Baccaro (1999) detectou que a existência de descontinuidades litológicas, comandadas pelas rochas sedimentares (arenitos, conglomerados e siltitos), alterados com derrames basálticos da bacia sedimentar do Paraná e rochas do Grupo Araxá e Canastra (micaxistos, gnaisses, migmatitos, quartzitos e outras), na região de Uberlândia-MG, controlam as propriedades hidráulicas e mecânicas das rochas, em que as zonas de falhas e fraturas e os contatos litológicos são os locais preferenciais para o alívio da pressão piezométrica por meio da exfiltração da água, desencadeando a erosão por túneis que avançam remontantemente, ou seja, os "pipings" segundo a classificação do IPT (1986), também adotada por Salomão (1994).

Martins (2000) demonstrou relações estreitas entre direções litoestratigráficas do pacote geológico arenítico (Formação Botucatu) e os focos erosivos na Alta Bacia do Rio Araguaia, sobretudo em prolongamentos das cabeceiras de drenagem.

O contanto em rocha e solo, como demonstrado em Nieble & Guidicini (1984), compreende uma zona preferencial de circulação hídrica interna, em que o horizonte de alteração consiste em uma faixa suscetível ao cisalhamento, podendo resultar em escorregamento do tipo translacional, sobretudo em relevos colinosos ou movimentados.

Portanto, os condicionantes geológicos, ao possuírem sua dinâmica hidrológica alterada bruscamente, podem condicionar os fluxos hídricos superficiais e subsuperficiais, significativos, por exemplo, para o voçorocamento, como se verá mais adiante.

Solos

Sendo o solo o objeto de degradação por processos erosivos, algumas de suas características devem ser atentadas para o menor ou maior grau de desenvolvimento destes processos, são elas a cor, textura, estrutura, densidade e porosidade.

A cor é uma das características mais fáceis de serem observadas. A matéria orgânica e compostos de Fe são os principais responsáveis pela cor dos solos, atuando como pigmentos num fundo de cor branca dada pelos silicatos (Resende et. al., 2002). Tais constituintes favorecem a agregação e coesão dos solos, em geral, tornando-os mais estáveis (Salomão, 1999).

A textura se refere às freqüências das partículas de areia, silte e argila, que condicionam a porosidade e coesão das partículas do solo. Um solo arenoso, por exemplo, pode se apresentar bem poroso, favorecendo a infiltração, porém com baixa coesão entre os grãos, o que facilita o arraste ou transporte destes, quando o escoamento superficial possuir competência para tal. Ao contrário, um solo pode se apresentar argiloso, com boa coesão, porém, pode passar por condições de baixa infiltração e prevalecer o escoamento superficial, causadora de processos erosivos.

Conforme o argilo-mineral presente no solo, pode haver comportamento erosivo diferenciado. As argilas do tipo esmectita são pouco estáveis em água, ao contrário das caulinitas, sendo que, as ilitas apresentam comportamento intermediário (Salomão, 1999).

Segundo Lombardi Neto & Bertoni (1975) a relação de erosão média (erodibilidade) é definida como sendo a razão entre a relação de dispersão (teor de argila natural/teor de argila dispersa) e a relação argila dispersa/umidade equivalente.

A estrutura do solo é outro fator influenciador nos processos erosivos, e possui algumas classificações: poliédrica, laminar, prismática, microagregada ou granular, etc., e ainda, cada uma delas pode apresentar porosidade diferenciada em relação às outras. As estruturas poliédrica e prismática por exemplo, podem apresentar

fraco grau de desenvolvimento de seus agregados, portanto, se mostram menos resistentes à ação erosiva. Em equivalência, estrutura microagregada ou granular, que ocorre em Latossolos, possuem forte porosidade, que favorece a infiltração das chuvas, reduzindo-se o escoamento superficial.

A densidade do solo, que é a relação volume/massa total, é outro fator que interfere na porosidade e, por conseguinte na sua circulação hídrica. Solos adensados por compactação mecânica ou animal são menos propícios à infiltração por redução do espaço macroporoso. Com a diminuição da infiltração das águas pluviais, o escoamento superficial se torna mais acentuado, seguindo caminhos preferenciais, que em solos desprotegidos, resulta em sulcos, que podem aumentar as suas dimensões conforme a intensidade pluviométrica e se transformar em ravinas e voçorocas.

Solos rasos são mais suscetíveis do que os profundos, pois, atingem seu estado de saturação mais rapidamente do que no segundo caso; o que induz ao escoamento em enxurradas por excedente pluvial. E também, como mencionado anteriormente, alguns solos se mostram instáveis quando saturados, podendo-se colapsar, e se se submeter ao transporte pelo escoamento hídrico superficial.

Fatores químicos, mineralógicos e biológicos também interferem nas propriedades do solo frente aos agentes erosivos, pois intervém capacidade de adsorção, coesão e na reestruturação do solo. As atividades biológicas também estão associadas à transformação na matéria orgânica na superfície do solo, sendo que, solos cobertos por camada orgânica se apresentam mais protegidos do impacto das gotas de chuva. Ainda nesse viés, grosso modo, o solo com atividade biológica e matéria orgânica possui maior possibilidade de ser bem estruturado, poroso e de gerar boa cobertura vegetal, sendo, portanto, alguns fatores importantes no equilíbrio dos processos erosivos.

Formas erosivas lineares e seus mecanismos

Há um debate no meio acadêmico quanto à classificação das incisões erosivas em ravinas e voçorocas. Guerra (1998) e Oliveira (1999) adotam o critério de classificação baseado no caráter dimensional. Para estes autores ravinas seriam incisões de até 50cm de largura e profundidade, enquanto acima desse valor seriam voçorocas. Já sulcos e ravinas são, em geral, diferenciados pela profundidade da erosão linear canalizada pelo escoamento concentrado das águas superficiais; trata-se de ravina "quando o canal formado não pode ser obliterado por operações normais de preparo do solo" (U.S. Soil Conservation Service, 1986 apud Salomão, 1994).

As voçorocas estão associadas às águas superficiais e também subsuperficiais (do lençol freático), estas por meio do fenômeno de *piping,* que consiste de tubulação natural ou erosão interna do solo e/ou substrato alterado, exfiltrando nos taludes na forma de surgências d'água, que podem provocar o seu solapamento aumentando a sua dimensão, e promovendo a subsidência e mesmo o abatimento dos terrenos (IPT, 1990; Salomão, 1994 e 1999).

O termo boçoroca vem do tupi-guarani, que significa terra rasgada (*ibi*, terra, chão + *çorog*, rasgar, romper) (Guidicini & Nieble, 1984). Segundo os mesmos autores, as voçorocas são relacionadas como movimentos complexos de massa, típicos de regiões climáticas subtropicais, devido às modificações profundas nas condições de equilíbrio naturais, comumente pela ação do homem. Originam-se ao longo de linhas de drenagem superficiais, resultando em princípio, na formação de ravinas no solo, com típica seção em "v". Ao avançar, o entalhamento atinge o lençol freático, havendo então, uma contribuição das águas subterrâneas no avanço do processo erosivo. Em solos coluviais e porosos, de baixa coesão, a ação das águas pluviais e do lençol freático acelera o mecanismo erosivo e a recém-formada boçoroca passa adquirir seção em "U", alargando-se e avançando rumo a montante da encosta, podendo ramificar-se ao longo dos fluxos superficiais (ravinas laterais associadas) ou subsuperficiais (por efeito do *piping*) (Salomão, 1999).

Salomão (1994 e 1999) lembra que o fenômeno de *piping* provoca a remoção de partículas do interior do solo esculpindo canais subterrâneos naturais que evoluem em sentido contrário ao do fluxo de água, podendo dar origem a colapsos do terreno, cujos desabamentos alargam a boçoroca ou criam novos ramos. Segundo o mesmo autor, o potencial erosivo ao processo de boçorocamento depende da concentração do fluxo de água e do gradiente hidráulico, das águas subterrâneas, principalmente o concentrado em tubo ou duto, referido como *piping*. Este fenômeno também é reiterado por Salomão & Iwasa (1995) ao qual acrescentam diversos outros fenômenos: erosão superficial, erosão interna, solapamentos, desabamentos, e escorregamentos, que podem ocorrer de forma conjugada, portanto, com alto poder destrutivo.

O contato solo/rocha pode ser considerado zona de suscetibilidade à instalação dos *piping*, pois é onde se concentram os maiores volumes de água infiltrada associada a um gradiente hidráulico.

A água que circula no interior de um talude exerce uma pressão de percolação nas partículas de solo, devido à sua viscosidade. Esta pressão é atuante na direção do fluxo e sua intensidade cresce de maneira proporcional à velocidade de percolação (Tersaghi, 1967 *apud* Caputo, 2000).

A pressão resultante da percolação da água no solo será proporcionalmente maior quanto maior for a diferença de carga numa certa distância horizontal. Em um sopé de talude, a velocidade de percolação e a sua pressão correspondente são muito maiores que na parte superior do mesmo talude. A pressão de percolação tenderá a provocar a movimentação de partículas de solo com intensidade maior ao longo das linhas de fluxo que se dirigem para o pé do talude, o qual poderá sofrer uma situação de desequilíbrio. Este setor que pode passar por colapso, contribuirá para que a parte superior ceda por perda de apoio. Se este colapso não for imediato, poderá se desenvolver, com inclinação na base do talude, uma cavidade alongada de seção circular, proveniente à existência de heterogeneidade no interior do talude ou em sua base (Caputo, 2000 e Oliveira, 1999).

É importante destacar que os processos e mecanismos atuantes na paisagem atual foram evoluídos e organizados segundo os seus condicionantes naturais ao longo de um período muito longo, em que se tornaram de certa forma desestabilizados na contemporaneidade, mediante influências antrópicas de modificação e apropriação do espaço com finalidades diversas, sobretudo econômicas, como sugerido para a Alta Bacia do Rio Araguaia, sujeita às mudanças de uso já relatadas.

Segundo Baccaro (1999), a região do Brasil Central, área de Cerrado, durante o Pleistoceno e Holoceno, sofreu oscilações climáticas que modelaram a paisagem com os depósitos de colúvios concrecionários, cascalheiras, níveis de terraços e por formas erosivas de entalhe nas vertentes ou nos vales fluviais. Conforme a mesma autora, os processos erosivos atuais são condicionados pela dinâmica climática contemporânea atuando sobre os materiais *in situ* e depósitos correlativos, provenientes de fases climáticas supracitadas, tendo o último período semi-árido mais agressivo acontecido por volta de 10.000 anos atrás. Este deixou na região do Cerrado, superfícies aplainadas como unidades geomorfológicas suavemente e medianamente dissecadas, de colinas tênues de vertentes longas, suaves, e rampas colúvio-aluviais acomodadas em compartimentos mais dissecados, localizados nas bordas das chapadas e entre os relevos residuais (serras locais com topos aplainados).

Sob esta contextualização, alguns mecanismos erosivos merecem destaque quanto ao seu cadastramento, pois são freqüentes em várias incisões erosivas e auxiliam a compreensão da dinâmica ou evolução geomorfológica da paisagem. Oliveira (1999) apresenta os seguintes mecanismos erosivos:

- *Erosão por queda d'água*: que se origina a partir da água de escoamento superficial que desemboca no interior de incisões erosivas. A turbulência causada pela queda d'água retira o material em torno da zona de impacto e escava uma depressão na base da borda do terreno;

- *Solapamento da base de taludes:* pode ocorrer por erosão escoamento superficial, por exfiltração do lençol freático e por atuação dos chamados filetes subverticais de

escoamento superficial. Este que tende a dissipar-se para baixo, ou para jusante ao longo da parede, formando filetes subverticais de escoamento difuso que esculpem alcovas de regressão;

- *Liquefação de materiais de solo:* ocorre quando os materiais de solo estão saturados, podendo ocorrer resultante da variação do nível do lençol freático, ou seja, em ritmos sazonais, sendo as estações úmidas as mais propícias. A liquefação ocorre quando materiais inconsolidados são submetidos a fracas tensões cisalhantes de natureza cíclica, com rápida mobilização do material seguida por novo empilhamento das partículas individuais;

- *Movimentos de massa localizados*: são vários os movimentos que ocorrem em voçorocas, desde lentos até os mais rápidos e desde os mais sólidos até os mais fluidos. Os movimentos ocorrem em razão da resistência dos materiais ao cisalhamento. Nieble & Guidicini (1984) apud Oliveira (1999) apresenta uma classificação mais detalhada dos movimentos de massa;

- *Arraste de partículas por percolação*: é resultado da água que atravessa um meio poroso, após aflorar ao longo de uma superfície exposta (Dunne, 1990 *apud* Oliveira, 1999);

- *Arraste de partículas por fluxos concentrados em túneis ou dutos*: esse mecanismo ocorre sob o efeito de água de escoamento superficial e subsuperficial que penetra em furos biogênicos, ou fendas de diversas origens.

O estudo sobre a evolução de voçorocas apresenta-se muito importante em razão dos tipos de medidas mitigadoras ou de controle que podem ser realizados, e também da projeção de cenários futuros, podendo inclusive, indicar áreas de alto risco a ocupação.

Oliveira (1999) apresenta considerações muito interessantes sobre a formação, em taludes de voçorocas, de alcovas de regressão, estas que podem estar intimamente associadas a exfiltração de fluxos hídricos sub-superficiais e em condições específicas a escoamento superficial. Ele observou em campo que durante chuvas de

baixa intensidade e distribuídas ao longo de uma mais dias, aumenta a participação do escoamento sub-superficial, que é gerado pela percolação de água infiltrada na superfície da encosta. Segundo o mesmo autor, nesse tipo de evento, filetes de escoamento superficial se interagem com a água de percolação que aflora nas paredes e no teto das alcovas, havendo o aumento taxa de recuo regressivo das mesmas e da quantidade de material liquefeito.

Baccaro & Silva (1997) apud Baccaro (1999) constaram em estudos no Triângulo Mineiro que nos locais onde emerge mais superficialmente o lençol freático e nas paredes das voçorocas desenvolvem-se múltiplos solapamentos devido à dinâmica da água. Além de desenvolverem a voçoroca, esses processos contribuem no volume de água fluvial, acarretando o aprofundamento do talvegue em alguns locais. As zonas de descontinuidades granulométricas e litológicas auxiliam dos fluxos subsuperficiais provocando erosão em dutos, o que resulta no desmoronamento das paredes laterais. Os desmoronamentos superiores (porções mais superficiais) são acelerados pela água pluvial que infiltra no solo e pela a que escoa em buracos de tatu.

Segundo Baccaro (1999), os fluxos subsuperficiais podem ocorrer nas formações superficiais (colúvio e elúvio), nas mais diversas profundidades, acompanhando as descontinuidades pedológicas e/ou litológicas.

Oliveira (1999) com base na identificação e cadastramento de várias incisões erosivas no vale do rio Paraíba do Sul, apresenta a elaboração de uma tipologia para as voçorocas da área. Segundo essa tipologia, haveriam incisões conectadas e desconectadas à rede hidrográfica. Baseados na ocorrência de alguns casos, em que grandes incisões erosivas ocupavam longitudinalmente o conjunto de encostas, foi sugerida a hipótese de que estas resultariam da integração, ao longo do tempo, de incisões conectadas e desconectadas da rede hidrográfica. A Figura 01 ilustra essas três situações:

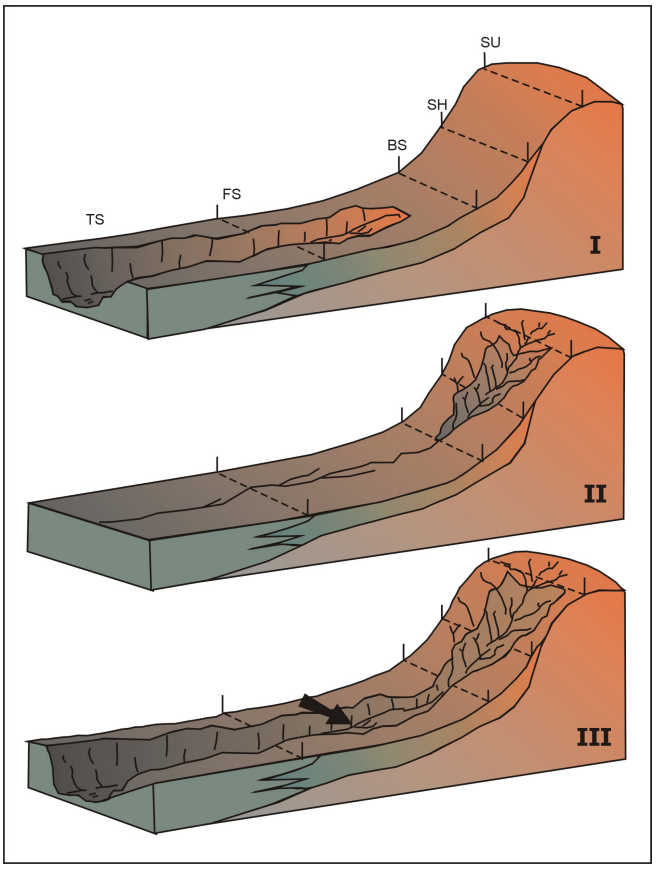


Figura 01 – Modelo de evolução de voçorocas. I: voçoroca conectada à rede hidrográfica; II: voçoroca desconectada à rede hidrográfica; III: integração entre os dois tipos anteriores. A seta indica a formação de um degrau no ponto de conexão entre as voçorocas desconectadas e conectadas (Adaptado de Oliveira, 1999).

Segundo Oliveira (1999) no momento da integração ou junção entre incisões conectadas e desconectadas formar-se-ia um degrau entre os dois tipos de incisão. À extensão regressiva da incisão conectada estaria associada à dissecação linear da incisão desconectada, conforme ilustrada na Figura 02.

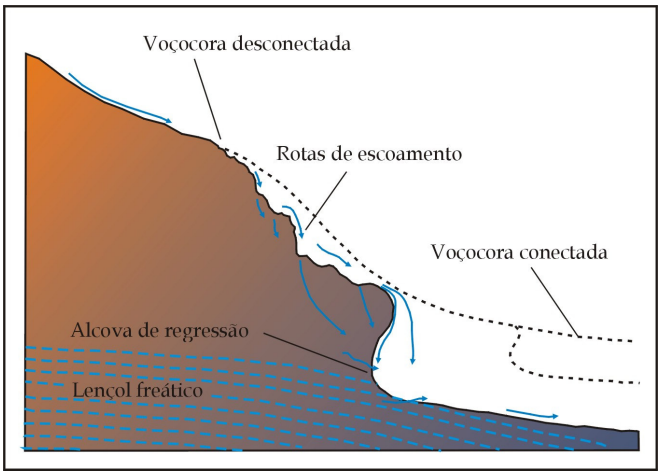


Figura 02- Principais rotas de fluxo no momento de integração entre voçorocas conectadas e desconectadas (adaptado de Oliveira, 1999).

Para Oliveira (1999) o estudo da evolução quaternária de setores de bacias hidrográficas que constituem articulação entre encostas e canais fluviais, sugere que áreas de risco atuais são áreas que no passado foram submetidas a processos erosivos e deposicionais similares, tratando-se, portanto, de reativação erosiva.

Baccaro (1999) no Triângulo Mineiro observou voçorocas desconectadas de cursos d´água que cortam verticalmente vertentes do topo ao fundo de vale, num traçado retilíneo e não realacionados aos anfiteatros de cabeceira de drenagem, sendo menos ramificadadas do que voçorocas conectadas, também sem alveolização no seu interior, porém profundas. Percebeu que, ao atingirem as proximidades da alta encosta em direção ao topo, havia uma tendência a ramificações laterais.

Em voçorocas conectadas, segundo Baccaro (1999), ao atingir camadas mais compactas e mais resistentes do arenito e conglomerado, a evolução deixa de ser predominante linear, passando para um recuo paralelo das vertentes, por meio de processos de solapamento basal, subsidência e queda de materiais, condicionados pela ação da exfiltração nos *pipe flows* (fluxos em dutos) e pelo alívio do aqüifero nas áreas de (res)surgências.

Segundo vários autores, na região dos cerrados, o número de voçorocas desconectadas se apresenta menor do que as conectadas, pois, segundo Oliveira (1999), nas cabeceiras de vale formam-se incisões erosivas, em razão de aí ocorrer maior convergência de fluxos hídricos superficiais e subterrâneos.

Bigarella & Mazuchowski (1985) atentam para o caráter cíclico das boçocoras [voçorocas] naturais, destacando a existência de quatro fases distintas referentes ao seu desenvolvimento: erosão do canal e encaixamento; retrocesso da cabeceira e rápido alargamento; recomposição e estabilização.

Torna-se necessário, portanto, a continuidade do estudo teórico dos mecanismos erosivos, inclusive dos fluxos de subsuperfície atuante, pois, somente após o entendimento dessa dinâmica se torna possível a tomada de decisões direcionadas à prevenção e o controle das ocorrências erosivas, bem como tornar as terras disponíveis

mais produtivas, evitando-se a necessidade de incorporação de área sensíveis e/ou preservadas como as cabeceiras de vale, para atividades agropecuárias.

DINÂMICA HIDROLÓGICA SUPERFICIAL E SUBTERRÂNEA NO SOLO E PROCESSOS EROSIVOS ASSOCIADOS

A Hidrologia estuda a dinâmica das águas em seus diversos estados e ambientes. Destaca-se aqui a importância desse estudo tendo em vista que, conforme Coelho Netto (1999) dentre as suas múltiplas funções, a água é um agente modelador do relevo da superfície terrestre, que controla, dentre outros fenômenos, tanto a formação como o comportamento mecânico dos mantos de solos e rochas (erosão, dissecação, etc.). Assim, o conhecimento da dinâmica hidrológica nos solos e rochas pode subsidiar medidas mitigadoras e preventivas dos problemas resultantes dos impactos do uso e ocupação que podem causar erosão e assoreamento acelerados.

O ciclo hidrológico é muito complexo, bem como os outros ciclos naturais chamados biogeoquímicos (carbono, nitrogênio, fósforo e enxofre, sendo os mais relevantes), pois corresponde à dinâmica e aos diferentes estados físicos em que a água se encontra na natureza (líquido, sólido ou gasoso); seja na atmosfera, sobre ou sob a superfície terrestre exposta.

De acordo com um esquema apresentado por Wisler & Brater (1964), o ciclo hidrológico contempla uma seqüência de fatos, que envolvem a acumulação de vapor de água na atmosfera, que pode condensar em forma de chuva, neblina, granizo, saraiva, neve, orvalho e geada; em seguida, ocorre a retenção superficial e acumulação por interceptação da água precipitada, que pode se infiltrar, escoar superficialmente ou evaporar, novamente retornando à atmosfera; a água que infiltra, umedece o solo, e pode saturá-lo; a água que escoa superficialmente, assim como a que infiltra, poderá alimentar os cursos d´água, formando os rios que escoam para o oceano; e parte da água contida no solo saturado pode abastecer os aqüíferos ou retornar à atmosfera por

evapotranspiração, e também a água dos oceanos por evaporação; reiniciando mais uma vez o seu ciclo.

Segundo Coelho Netto (1999) a água, como líquido, tem importância direta nos estudos hidrológicos, estando sob a forma de chuvas na atmosfera, nos lagos, rios e oceanos, na superfície ou abaixo da superfície, neste caso como água no solo ou como aqüífero subterrâneo.

Segundo Suguio & Bigarella (1990) o ciclo hidrológico pode ser expresso pela seguinte equação:

Precipitação = escoamento + infitração + evapotranspiração

A chuva, ao atingir o solo pode ser retida na vegetação, nas depressões no terreno e construções; pode infiltrar a pequenas ou grandes profundidades quando encontra boas condições de permeabilidade; pode escoar superficialmente de forma laminar ou concentrada quando o volume excede a capacidade de infiltração; pode evaporar a partir das superfícies de retenção; ou evapotranspirar (ser liberada em forma de vapor pelas folhas das plantas), retornando ao estado gasoso.

Também como lembra Guerra (1999), o ciclo hidrológico tem importância fundamental no processo erosivo, já que uma parte da água da chuva cai diretamente no solo e outra é interceptada pela cobertura vegetal, podendo retornar à atmosfera pela evaporação ou atingir o solo, através do gotejamento das folhas e pelo fluxo de tronco. Ao chegar no solo, a água pode desenvolver vários mecanismos: primeiro causa o *splash* (salpico ou salpicamento), em seguida se infiltra, aumentado o teor de umidade ou mesmo saturando o solo, e finalmente, pode se armazenar nas irregularidades do terreno formando as poças, que eventualmente poderão dar início ao escoamento superficial.

O fluxo superficial corresponde ao escoamento superficial pluvial (EP) que ocorre em nível das vertentes, na forma de lençol ou laminar, anastomosado (canais difusos e coalescentes) e concentrado (canais profundos e incisos) (Baccaro, 1999).

A duração, intensidade, freqüência e a regionalização desses dados das chuvas têm sido largamente investigadas por diversos campos da ciência, relacionados a diversas questões, como avaliação da disponibilidade de água para produção agrícola e consumo, problemas com enchentes, escorregamentos de encostas e margens fluviais, processos erosivos hídricos laminares e lineares, assoreamento, etc. Esses tipos de estudos requerem equipamentos com estações de coletas de dados, que utilizam desde pluviômetro e/ou pluviógrafo tradicionais, até estações meteorológicas completas e automatizadas que enviam informações diretamente para bancos de dados informatizados.

O conhecimento do comportamento das precipitações de chuvas, de suas intensidades, durações e freqüências, servem, por exemplo, para se prever a variabilidade de vazões de rios, principalmente suas enchentes e também para se estimar a quantidade de água que participa do *run off* (escoamento superficial), ou seja, que ultrapassa a capacidade de infiltração no solo e passa a escoar superficialmente. E também, o tipo e o tempo de precipitação, a umidade inicial do solo, e o tipo das superfícies de interceptação e retenção da água das chuvas, interferem significativamente na produção deste *run off* (Wisler & Brater, 1964).

Para Coelho Netto (1999: 100) "A precipitação [de chuvas] é um importante fator-controle do ciclo hidrológico e, portanto, da regulagem das condições ecológicas e geográficas de uma determinada região. As quantidades relativas de precipitações (volume), seus regimes sazonais ou diários (distribuição temporal) e as intensidades de chuvas individuais (volume/duração) são algumas das características que afetam a natureza e a magnitude do trabalho geomorfológico em bacias de drenagem e, portanto, o planejamento de áreas urbanas, industriais ou rurais".

Infiltração da água

A infiltração da água se refere à sua entrada no solo quando este oferece condições de passagem é o fenômeno que envolve a penetração da água no solo no sentido vertical descendente (Klar, 1991).

A capacidade do solo em favorecer ou não a infiltração da água da chuva depende de alguns fatores tais como, cobertura do solo ou condições de superfície, que, segundo Custodio & Llamas (1996) pode ser reduzida pela compactação natural, ou devida ao trânsito, sendo que, quando se trata de superfície desnuda, está exposta ao choque direto das gotas de chuva, promover o selamento, impedindo a infiltração; desse modo um solo com excelente drenagem, pode ter uma baixa capacidade de infiltração devido a este fenômeno.

Quando o solo está coberto por vegetação, esta protege o solo do selamento e assim freia o escoamento superficial possibilitando a infiltração, auxiliada inclusive por suas raízes que abrem fissuras no solo e facilitam a penetração da água (Custodio e Llamas, 1996). E ainda, segundo Klar (1991), a adição ou existência de materiais orgânicos favorece a infiltração nos horizontes onde atuam.

Para Coelho Netto (1996), as características físicas dos solos podem definir as quantidades de chuvas que infiltram ou que excedem para escoar na superfície do terreno. Considerando que a viagem da água sobre a superfície é mais rápida e é cada vez mais lenta em profundidade, pode-se dizer que os solos condicionam o volume do escoamento da chuva, a sua distribuição temporal e as descargas-máximas, tanto em superfície como em subsuperfície.

O teor de umidade antecedente também interfere na capacidade de infiltração do solo, pois este se satura mais rapidamente quando úmido dando origem à formação de poças e ao escoamento superficial, também mais rapidamente do que solos com menor umidade antecedente (Guerra, 1999). Paralelamente à medida que o solo se umedece, as argilas e colóides incham por hidratação, fechando os poros e fissuras diminuindo em conseqüência, a capacidade de infiltração.

Para Coelho Netto (1996:121) "A capacidade de infiltração varia não apenas em solos com composições diferentes, mas também durante o evento de chuva: decresce rapidamente após o início das chuvas quando algumas das variáveis descritas sofrem modificações em relação às condições antecedentes. Após certo tempo de precipitação (uma ou até três horas), verifica-se uma taxa de infiltração constante".

A infiltração pode ocorrer em diferentes velocidades em razão da textura do solo. Conforme Klar (1991) os solos de texturas mais grosseiras podem ter taxas de infiltração superiores a 25cm/h, e os argilosos, valores próximos a zero em caso de solos sem estruturação (agregação) ou maciços.

A porosidade do solo também é um fator importante na permeabilidade do solo e será enfocada adiante, no item sobre a movimentação da água no solo.

O uso intensivo da terra seja em área urbana ou rural, transforma a superfície de infiltração, pelo impacto e compactação em diferentes magnitudes dos horizontes superficiais dos solos, o que a reduz ou até mesmo a anula, promovendo o acúmulo das águas pluviais sobre a superfície dos terrenos, as quais passarão a escoar.

A infiltração abundante em terrenos recobertos por vegetação, não se apresenta tão eficiente quando repetidamente transitada por veículos e equipamentos agrícolas, bem como, em terrenos ocupados por residências, que usualmente apresentam quintais e calçadas recobertas por concretos e/ou similares. Marinho (2000) apresentou, para Alexânia/GO, um esboço sobre a influência da impermeabilização de superfícies nas bacias de contribuição e nas cargas de vazões, as quais dirigem os fluxos comumente para os focos erosivos.

Em espaços produzidos pelo desenvolvimento agrícola, são habituais as transformações degradadoras dos solos, principalmente em terrenos aplainados como os das chapadas, devido à utilização de máquinas pesadas para o preparo do solo e colheita. Costa (2001) identificou em Uberlândia áreas de cerrado com transformações estruturais macro e micromofológicas, em nível de compactação dos solos, decorrentes do cultivo convencional de soja, bem como sua recuperação estrutural e porosa com o cultivo em sistema de plantio direto.

O plantio direto (na palha) se revelou como uma alternativa de reestruturação do solo, em função da adição de matéria orgânica de efeito agregador e quebra das faixas adensadas pela sobrecarga exercida, promovendo a recuperação da fisiologia do solo pelo aumento da circulação hídrica (e de nutrientes), de aeração e

pelo subseqüente aumento da atividade microbiana apesar dos efeitos benéficos, dentre eles o controle de erosão, o maior obstáculo para disseminar sua utilização é o alto custo em agrotóxicos necessários para a alta produção agrícola no espaço modificado, que pode contaminar o solo, as plantas e os recursos hídricos. Presume-se que grande parte dos agrotóxicos e fertilizantes excedentes é carreada em taxas elevadas, pelo escoamento superficial e/ou subsuperficial rumo à jusante, ao encontro dos cursos d'água, seja na forma dissolvida, seja adsorvida nas partículas (argila, matéria orgânica) transportadas.

O uso diferenciado das terras conduz a possibilidades diversas de escoamento superficial, caso várias vertentes com características morfológicas idênticas, sejam submetidas a um mesmo episódio chuvoso.

Escoamento hídrico subterrâneo (no solo)

A movimentação da água no solo ocorre no sistema poroso e pode se dar em fluxo não saturado, fluxo saturado e equalização dos vapores (Brady, 1989). Neste estudo será dado enfoque apenas nos dois primeiros tipos.

De acordo com Azevedo & Alburqueque Filho (1998), o solo, segundo a infiltração da água, pode ser compartimentado em duas zonas: 1) situada imediatamente abaixo da superfície do terreno, se refere à **zona de aeração ou não saturada,** em que uma parte dos espaços intergranulares está preenchida com água e a outra parte com ar; 2) ocorre logo abaixo da zona de aeração, onde todos os espaços intergranulares estão ocupados por água, sendo este compartimento denominado **zona saturada.** O limite entre estas duas zonas compreende o **nível de água ou nível freático**. A Figura 03 ilustra a situação acima:

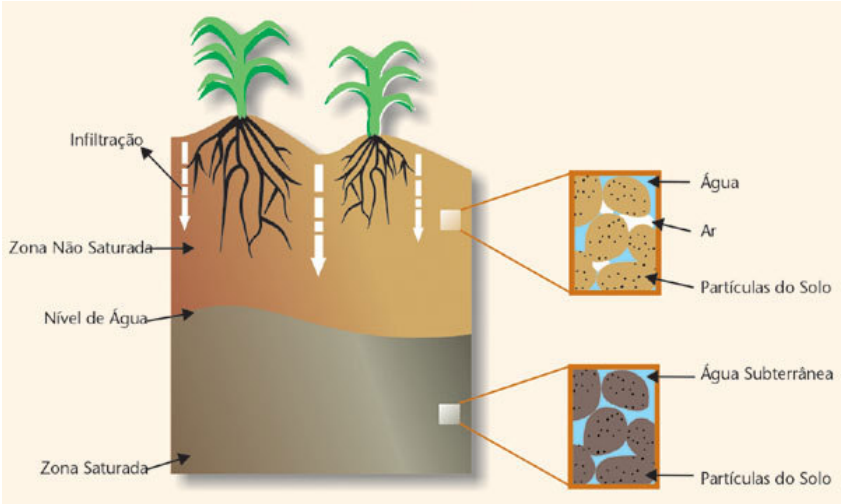


Figura 03 – Zonas no solo quanto à distribuição de água sub-superficial (Fonte: http://www.igm.pt/edições_online/diversos/agua_subterrânea/indice.htm).

Segundo estes últimos autores, a água que percola os meios naturais é somente uma parte da água intersticial, denominada água gravitacional ou água livre, pois escoa sob a ação da gravidade ou sob a ação de pressões externas.

Conforme Brady (1989) *energia livre* é o termo utilizado para caracterizar a condição de energia da água, perfeitamente apropriado, porque energia livre é o somatório de todas as outras formas de energia disponíveis para o trabalho. O movimento hídrico nos solos se processa de uma zona em que a energia livre da água é elevada para outra em que a energia é menor (diferença de potencial). Assim, ocorrerá movimentação de água de um solo saturado (alta energia livre) para outro seco (baixa energia livre).

Portanto, ocorrem variações no potencial hidráulico (h), a água se movimenta, sendo que o fluxo sempre será dos pontos de maior para os de menor potencial hidráulico e não no sentido das menores pressões hidrostáticas. Inclusive, a água pode escoar de baixa pressão para zonas de alta pressão se a diferença do potencial hidráulico for favorável. A diferença (Δh) do potencial hidráulico é denominada perda de carga, que representa a dissipação de energia devido à resistência que o meio oferece ao fluido (Azevedo & Albuquerque Filho, 1998).

De acordo com Brady (1989) as forças que exercem influência sobre a energia livre se referem: à adesão ou atração dos sólidos do solo (matriz) pela água, que proporciona uma força *matricial* e produz uma redução na energia livre das moléculas de água adsorvidas e mesmo sobre aquelas retidas mediante coesão. Neste sentido, a atração de íons e de outros solutos pela água resulta em forças *osmóticas* que exercem tendência para reduzir a energia livre da solução do solo. O estado de energia livre mais reduzido da solução se constitui na movimentação osmótica de água pura através de uma membrana semipermeável para o interior da referida solução. Segundo o mesmo autor, a terceira força se refere à ação *gravitacional* que tende a "puxar" o líquido para baixo.

Apesar de serem importantes os níveis de energia livre, a diferença de energia livre de um lugar para outro adjacente assume importância maior na prática. Esta diferença, denominada *potencial total de água do solo*, determina o comportamento da água no solo. Este potencial é a soma dos potenciais resultantes das diversas forças que atuam sobre a água do solo, ou seja, gravitacional, matricial e osmótico (Brady, 1989).

Apesar dos potenciais gravitacional, matricial e osmótico serem os mais significativos para interferirem na energia livre, Libardi (1995) apresenta ainda, outros potenciais que ocorrem no potencial total de água do solo: *potencial químico da solução*, *potencial de temperatura*, *potencial de pressão* (ação da sobrecarga dos sólidos) e *potencial pneumático* (variação da pressão do ar nos poros).

O potencial matricial é a combinação de dois tipos de forças: adsorção e capilaridade. Adsorção se refere à atração dos sólidos do solo e seu íons permutáveis pela água; enquanto a capilaridade é a combinação de duas forças: a) *adesão*, que é atração da água pelos sólidos, nas paredes dos canais ao longo dos quais se movimenta e b) *coesão* que é a tensão de superfície da água, principalmente devida à atração entre das moléculas de água (Brady, 1989).

O efeito combinado da capilaridade e da adsorção cria o potencial matricial, não permitindo por isso o estudo em separado, pois, a água dos meniscos capilares está

em equilíbrio com a água da película adsorvida às partículas, e a modificação do estado de um deles implica na modificação do outro (Kiehl, 1979).

De acordo com Cunha (2002), para se entender o comportamento da água no solo deve-se considerar que essa água não é pura e que a mesma está submetida a forças diversas, geralmente interdependentes. Diz ainda que, estas forças geradas pela gravidade, capilaridade e pelos fenômenos de interfaces, se manifestam, muito ou pouco, em razão das rápidas variações das condições físicas do meio, tornando as relações água/solo essencialmente dinâmicas. Segundo lembra o mesmo autor, a energia potencial da água seria determinada pela posição espacial que ela ocupa no solo e pelas suas características internas naquele ponto.

Para Prevedello (1996:31): "O armazenamento, disponibilidade e transporte da solução e do ar no solo não só depende da porosidade total, mas também, e principalmente, de como o espaço poroso total é distribuído por tamanho".

Castro (2002) apresenta classificação de dimensões de poros, conforme o Quadro 01.

Classificação	Sub-classificação	Dimensão	Observação		
Macroporos	Grosseiros	> 5000 μm	Olho nu		
	Médios	2000 – 5000 μm			
	Finos	1000 – 2000 μm		Microscopia óptica	
	Muito finos	75 – 1000 μm			
Mesoporos		30 – 75 μm			Ultramicroscopia
Microporos		5 – 30 μm			
Ultramicroporos		0,1 – 5 μm			
Criptoporos		< 0,1 μm			

Quadro 01 – Classes de porosidade do solo (adaptado de Brewer (1976) apud Castro (2002)).

Os diversos processos de transporte e de circulação da água ocorrem nos poros e em função das formas e dos tamanhos os mesmos. Os movimentos verticais, ascendentes e laterais da água no solo ocorrem no solo em razão das caracteristícias macro e micromorfológicas do mesmo, que apresentam diferentes arranjos estruturais, texturais e de porosidade. A circulação de ar e a percolação da água podem possuir maior ou menor velocidade de fluxo segundo, essencialmente, o arranjo do sistema macroporoso, que pode ser fortemente comunicante (>50% dos poros se conectam), moderadamente comunicantes (50% dos poros se conectam) e fracamente comunicante (< 50% se conectam) (Santos, 1995; Santos et. al. 1995).

Conforme Silva (1999), a identificação do arranjo das partículas do solo, da geometria dos seus horizontes e o conseqüente reconhecimento da circulação lateral subsuperficial da água, a partir de uma abordagem predominantemente morfológica em topossequência, pode contribuir de maneira significativa para o melhor equacionamento dos fluxos hídricos, e assim para um melhor diagnóstico sobre o processo erosivo.

Segundo Libardi (1995), no século passado, no ano de 1856, o engenheiro hidráulico Henry Darcy realizou uma experiência sobre infiltração vertical de solução (=água comum) em filtros (colunas) de areia homogênea sob condições de saturação. Após atingir a condição de equilíbrio dinâmico, ou quando o valor da vazão (Q) não variava mais com o tempo, Darcy chegou às seguintes conclusões:

1- a vazão Q, que é o volume de solução que atravessa a coluna por unidade de tempo, é proporcional à área A de sua seção transversal;

2- a vazão Q é proporcional à diferença de carga piezométrica (h_1-h_2) através do filtro;

3- a vazão Q é inversamente proporcional ao comprimento L do filtro de areia.

Foi obtida assim a Lei de Darcy:

$$\mathbf{Q= KA(h_1-h_2/L)}$$

Em que:

Q= vazão
KA= propriedades físicas do material
h1 e h2= cargas piezométricas
L= distância de percolação

A componente K, que é uma variável que diz respeito às características físicas do material (principalmente granulometria), influenciará numa maior ou menor velocidade de escoamento hídrico.

O movimento da água através de um maciço terroso, causa na carga total a sua dissipação e perda (Δh), principalmente pela ocorrência do atrito viscoso da água com as partículas do solo (Caputo, 2000). Essas perdas por atrito é que dão origem às chamadas "forças de percolação".

Segundo Silva (2000), os agregados laminares apresentam forte impedimento à circulação hídrica vertical e a disposição predominantemente lateral das partículas do solo cria descontinuidades na circulação da água, ar e vida vegetal e animal.

Movimentos ascendentes da água no solo

O principal fator para a *ascendência da água* no solo é a escassez de chuva e o descobrimento da superfície do solo pela cobertura vegetal, em destaque às de porte arbóreo. Os horizontes superficiais, com baixas taxas de umidade, adsorvem moléculas de água por força higroscópica dos horizontes subjacentes.

Segundo resumiu Cunha (2002), a evaporação é a base do fenômeno de subida capilar. A água do solo, ao passar para o estado de vapor na superfície do solo e nos poros dos horizontes superiores, produz uma importante sucção capilar.

A força ou potencial capilar é a responsável por essa movimentação ascendente da água. Segundo Kiehl (1979) a expressão potencial capilar sugere que os poros do solo são semelhantes a tubos capilares de geometria perfeitamente definida; entretanto, o espaço poroso do solo é inteiramente irregular, resultante da maneira como suas partículas formam a matriz.

Segundo Brady (1989) a altura de elevação num tubo capilar é inversamente proporcional ao diâmetro do tubo e diretamente proporcional à tensão de superfície, que é determinada, em grande parte, pela coesão entre as moléculas da água.

Os poros capilares maiores permitem uma ascensão rápida, entretanto com uma altura fraca, pois a gravidade equilibra ligeiramente o potencial de sucção, enquanto os poros mais finos permitem elevações notadamente mais significativas (Riou, 1990 *apud* Cunha, 2002).

Apesar do princípio de capilaridade ser tradicionalmente mostrado como um ajustamento para cima, também se realiza estes movimentos em qualquer direção, em atendimento à capilaridade, pois existe a mesma atração básica entre a água e os poros do solo, tanto no sentido vertical, quanto no horizontal (Brady, 1989).

Conforme Kiehl (1979), em solos arenosos, como os da área de pesquisa, com partículas e poros relativamente grandes, a adsorção é menos importante, predominando os fenômenos capilares na determinação do potencial matricial. Em solos com textura fina ocorre o contrário. Variações no potencial também se dão para um mesmo solo com diferentes teores de umidade. Assim, quando relativamente úmidos, as forças capilares são as mais importantes; quando a umidade vai decrescendo, as forças de adsorção vão tornando as preponderantes no processo de retenção de água.

Os aqüíferos livres com nível freático próximo à superfície do terreno ou submetidos a ação de plantas freatofitas, sofrem um efeito de evaporação e/ou evapotranspiração direta, que alcança um máximo valor durante o dia e um mínimo valor à noite (Custódio & Llamas, 1996). Segundo estes autores, as oscilações produzidas são mais intensas no verão do que no inverno, podendo desaparecer em épocas muito frias[1].

Movimentos laterais da água no solo

Segundo Brady (1989) o fluxo da água em estado líquido se processa em função dum gradiente no potencial da água do solo de uma zona para outra no mesmo solo. O fluxo dirige-se da zona com potencial de umidade mais elevado para aquela de potencial mais reduzido. Ocorre o fluxo de saturação quando os poros na porção mais molhada do solo estão completamente cheios (ou saturados) de água; e o fluxo não saturado quando os poros estão parcialmente cheios de água, mesmo nas zonas mais molhadas.

Segundo Prevedello (1996), o estado de energia (h) da água em um meio poroso é a soma das componentes energéticas de posição (z) e de pressão ($p/\varrho g$), sendo que a primeira é medida a partir de um plano de referência dado e a segunda pela altura da carga líquida sobre o ponto considerado.

De acordo com Salomão (1994), sendo o meio não salino, o componente osmótico do potencial total da água é nulo. Desta forma, o potencial total resume-se na soma dos componentes gravitacional e de pressão. Em aqüífero livre, o potencial total da água pode ser medido somente pelo potencial gravitacional.

A Figura 04 mostra elementos importantes para a compreensão desses fenômenos.

[1] A publicação é de origem espanhola, onde o clima apresenta temperaturas mínimas abaixo de 0ºC.

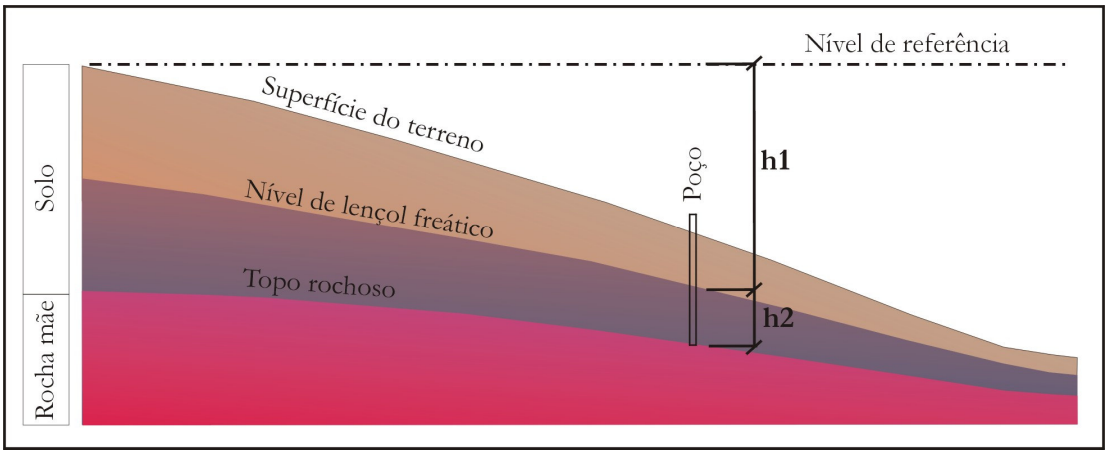


Figura 04 - Representação esquemática do nível do lençol freático, conforme o potencial gravitacional (Adaptado de Salomão, 1994).

Portanto, ainda conforme a Figura 04, **h2** indica o potencial hidráulico ao longo da encosta, e as diferenças entre **h1** e **h2** determinam a carga altimétrica ao longo da mesma. Com base nessa carga altimétrica, as linhas de mesmo potencial hidráulico são denominadas linhas eqüipotenciais. A perda carga Δh entre duas linhas eqüipotenciais adjacentes denomina-se queda de potencial. E, finalmente, com base na elaboração dessas linhas eqüipotenciais é possível representar graficamente o comportamento da rede de fluxos que expressam o comportamento geral do escoamento subterrâneo, conforme o seu sentido e a direção (Caputo, 1988), como será visto adiante.

O lençol freático nos estudos sobre erosão linear

Tendo em vista o enfoque desta pesquisa dado à influência da movimentação hídrica interna, como um agente desencadeador de processos erosivos por voçorocamento, é importante ressaltar alguns aspectos sobre estudos do lençol freático inerentes ao assunto.

Será dada atenção nessa pesquisa sobre o comportamento do ***lençol freático***, que se constitui em um tipo de aqüífero, de água subterrânea livre, submetida à pressões pressões à atmosférica. Outros tipos de aqüíferos, são os ***confinados*** (artesianos) e ***semiconfinados,*** e os correspondentes níveis d´água são denominados níveis piezométricos (Azevedo e Albuquerque Filho, 1998).

Conforme Ferris (1964) a expressão superfície piezométrica também pode ser aplicada a do lençol d´água, sendo que a recíproca não é verdadeira.

Custódio & Llamas (1996) lembram que para qualquer estudo sobre águas subterrâneas, deve-se partir da observação de superfícies piezométricas, estas obtidas mediante perfurações de poços de monitoramento, controlados segundo o conhecimento topográfico da mesma área. Segundo estes autores as superfícies piezométricas são lugares geométricos dos pontos que se assinalam potenciais hidráulicos (rever Figura 04).

A organização destas superfícies piezométricas ou freáticas em mapas subsidia a interpretação de seu comportamento, direcionando inclusive, o entendimento e controle de processos erosivos por voçorocamento. Tais mapas permitem ainda definir os gradientes hidráulicos, onde os limites e divisores da bacia hidrogeológica são eixos, ao longo dos quais, as cargas hidráulicas são máximas, relativamente às áreas adjacentes. As perdas de cargas, as áreas de recarga e descarga da bacia são áreas de máximo potencial hidráulico e se relacionam, em geral, às áreas de recarga, isto é, são porções do terreno onde ocorre a alimentação do aqüífero pela infiltração das águas de superfície (Braga, s/d).

O estudo do nível d´água que subsidiará a confecção dos respectivos mapas pode ser realizado por ***prospecção geoelétrica*** ou por perfuração de ***poços de monitoramento do nível d´água***, que possuem menor custo e são de fácil instalação.

Prospecção Geoelétrica

Trata-se do estudo geofísico do tipo geoelétrico. As técnicas de desenvolvimento de campo dos métodos geoelétricos podem ser de três tipos principais: sondagens, caminhamentos e perfilagens. A diferença entre estes está no procedimento de campo para se obter o parâmetro físico a ser estudado, ou seja, na disposição dos eletrodos na superfície do terreno e aos objetivos da pesquisa (Braga, s/d). Destacam-se a Eletroresistividade por sondagem elétrica vertical (SEV) e o radar de penetração no solo (GPR).

A SEV é muito utilizada na caracterização litológica (falhamentos e/ou fraturamentos, determinação do topo rochoso, estimativa da porosidade, transmissividade e permeabilidade dos sedimentos); na determinação do nível d´água e mapeamento da direção e sentido preferencial do fluxo d´água – mapas piezométricos; no levantamento de indicadores referentes à qualidade da água (identificação e mapeamento da pluma de contaminantes), etc. (Braga, s/d).

O GPR tem provado em ser uma técnica essencial em resolver muitos problemas ambientais e geotécnicos, incluindo: profundidade, espessura e caracterização de solos e *bedrock* (rocha sã); locação/mapeamento de materiais enterrados; delimitação de plumas contaminantes e derramamento de produtos tóxicos; locação/mapeamento de carst e canais enterrados; detecção de vazios e fraquezas em auto-estradas, aterros, represas e fundações; detecção de cabos, tubos, canos e adutores enterrados (Franco & Mello, 2000).

Poços de monitoramento do nível d´água

Segundo Batista et. al. (2002) os estudos do lençol freático são normalmente feitos utilizando-se furos de trado ou poços de observação do lençol freático, onde são medidas flutuações dos níveis de água. Os locais de instalação dos poços são aqueles com maior probabilidade de ascensão do nível freático (próximo aos fundos de vale ou várzeas).

A profundidade dos poços deve atingir a camada indicativa de oxi-redução, representada por mosqueados ou concreções, ou até encontrar a rocha mãe. O furo deve penetrar profundamente na zona indicativa de flutuação do lençol freático tomando-se a cautela de instalar o um poço que fique seco sazonalmente (Batista et al., 2002).

O modo como é realizada a instalação dos poços de monitoramento do lençol freático é apresentado no Capítulo II - Metodologia e Procedimentos Operacionais.

Na leitura dos poços e tabulação dos dados, a profundidade do nível piezométrico deve ser medido a partir de um determinado nível de referência, seja uma cota qualquer à montante ou a jusante, inclusive na margem do curso d'água.

Segundo Coelho Netto (1996) a instalação de piezômetros em diferentes pontos e profundidades do aqüífero permite mapear as variações de carga piezométrica, a partir das quais são traçadas linhas de igual carga ou potencial piezométrico, chamadas linhas ***equipotenciais***. Entre pontos de alta de baixa carga piezométrica, ocorrem os fluxos d´água subterrâneos, formando ângulos retos com as linhas equipotenciais.

O mapeamento do lençol freático é realizado com base nos dados dos poços ou medidores de nível d´água, em relação à topografia. As linhas de mesmo potencial hidráulico ou equipotenciais são obtidas mediante interpolação do referidos dados; e a direção dos fluxos é obtida traçando-se setas ortogonalmente às equipotenciais, no sentido do maior para o menor gradiente hidráulico. No Capítulo II-Metodologia e Procedimentos Operacionais se reiterará a forma de elaboração dos mapas do lençol freático.

O arranjo geométrico dos equipotenciais forma as superfícies piezométricas. Segundo a separação das linhas equipotenciais e suas concavidades/convexidades, ou ainda, de acordo com a disposição relativa das linhas

de corrente, podem ser assinalados vários tipos de superfícies piezométricas (Castany, 1963, 1968 apud Custódio & Llamas, 1996):

- *Superfície cilíndrica*: as equipotenciais são retas paralelas;
- *Superfície radial*: os equipotenciais são curvos e as linhas de corrente tendem a convergir. Quando a água converge para cima (equipotenciais convexos com água abaixo) se diz que a superfície é radial divergente e ao contrário, se chama radial convergente se as linhas de corrente tendem a convergir águas abaixo (equipotenciais côncavas com água abaixo);
- *Superfície plana*: a separação entre equipotenciais é constante;
- *Superfície parabólica*: a separação entre equipotenciais diminui em direção ao nível mais baixo;
- *Superfície hiperbólica*: a separação entre as equipotenciais aumenta em direção ao nível mais baixo; e
- *Superfície elíptica*: a separação entre equipotenciais aumenta a partir de um ponto comum, em sentidos opostos.

A Figura 05 ilustra as superfícies citadas acima:

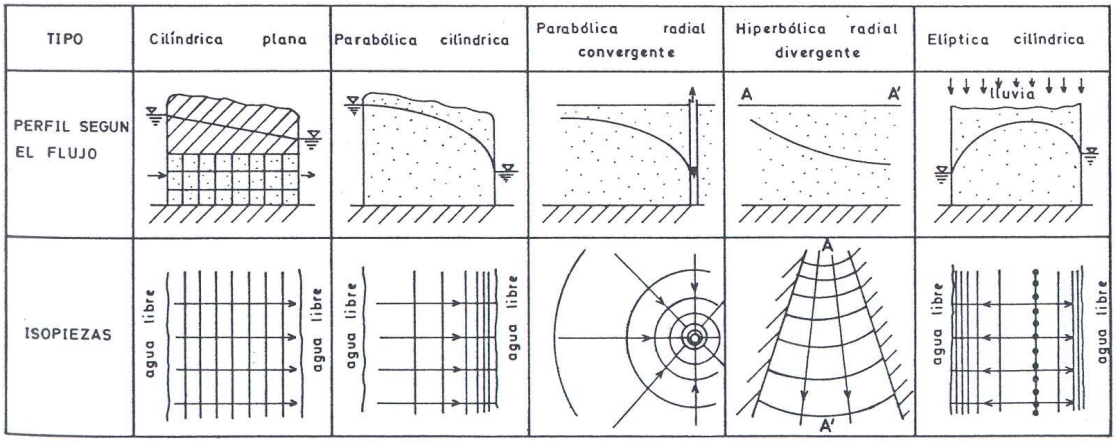


Figura 05 – Superfícies piezométricas (Custodio & Llamas, 1996). Obs.: termo equipotencial também pode ser substituído por isopieza, conforme apresentados neste quadro.

Em geral, as superfícies planas indicam movimentação lenta da água, ao contrário da parabólica e hiperbólica, em que o potencial gravitacional é mais significativo. As radiais indicam direções preferenciais de convergência e divergência do fluxo, enquanto as cilíndricas mostram um caminho mais ou menos linear desta circulação. As superfícies elípticas indicam maior complexidade na circulação hídrica, pois fatores naturais (falhas, fraturas, atitude da rocha originária, proximidade com rios, lagoas, etc.) e antrópicos (bombeamento ou drenagem, etc.) podem estar relacionados.

De acordo com Azevedo & Albuquerque Filho (1998) normalmente área de máximo potencial hidráulico se relacionam às áreas de recarga. Enquanto as zonas de menor carga hidráulica correspondem às áreas de descarga, para as quais convergem as linhas de fluxo. Estas áreas podem estar associadas aos elementos de drenagem superficial (rios, fontes, lagos, etc.), ou a elementos de drenagem artificial ou profunda de maciços (drenos em obras civis, escavações subterrâneas, cavernas em calcário, etc.), etc.

Segundo Coelho Netto (1999) a zona saturada recebe uma recarga de água advinda da zona não-saturada, que pode aumentar o volume de água estocada, elevando o nível do lençol freático. A elevação do lençol sugere um nível mais íngreme, aumentando a velocidade do fluxo.

Para uma área de fluxo d´água subterrânea uniforme as partes que apresentam espaçamentos mais largos entre as equipotenciais (gradientes brandos) terão permeabilidade maiores do que aquelas com espaçamentos mais estreitos (gradientes íngremes): a) linhas de fluxo próximas indicam alta velocidade e baixa pressão; b) linhas de fluxo afastadas indicam baixa velocidade e alta pressão (Braga, s/d).

Quando a superfície topográfica é cortada pela superfície piezométrica de aqüíferos livres, isso indica presença de fontes e mananciais (descarga em um rio) (Custodio & Llamas, 1996). Ou seja, indica a saída do lençol freático em superfície (exfiltração).

A composição granulométrica constituída por silte e argila contribui para a diminuição da permeabilidade do solo. Por isso o estudo hídrico subterrâneo deve ser acompanhado por estudo macro, micromorfológico e granulométrico do solo a fim de caracterizar o arranjo dos agregados, suas partículas e poros associados para esclarecer pontos a respeito da circulação hídrica interna.

O nível do lençol freático pode oscilar com o tempo de forma muito diversa; pode ocorrer de maneira muito rápida ou num período longo que se repete na base de um ciclo semi-anual, anual ou de vários anos (neste caso, preferencialmente em aqüíferos profundos). Oscilações de períodos médios ocorrem semanalmente (Custodio & Llamas, 1996).

As causas diretas que interferem no nível piezométrico de águas subterrâneas se devem a diversos fatores: sucessão de épocas secas e úmidas; variações nos níveis de rios e lagos; extração de água por bombeio. E as causas indiretas são: efeitos gravitacionais , em especial no que as marés estão associadas; trocas de pressão atmosférica; efeitos de sobrecargas rápidas e propagação de ondas elásticas (Custodio & Llamas, 1996).

Estes autores ainda citam várias possibilidades de oscilação do nível subterrâneo, mas para o estudo que segue, os fatores que são mais significativos se referem à evapotranspiração e principalmente, ao regime pluvial, estes sob as condições de permeabilidade do solo e a sua capacidade de armazenamento de água.

A evapotranspiração afeta os aqüíferos livres com o lençol freático próximo à superfície, com suas taxas altas durante o dia, e baixa à noite. Em geral, o efeito da evapotranspiração é atuante quando o nível do lençol freático está a 1m de profundidade (Custodio & Llamas, 1996).

De uma forma geral, a oscilação do nível freático, como será visto adiante, é condicionado intrinsecamente pelas chuvas que reabastecem o lençol, e diferentemente responde ao longo do ano, em razão da maior ou menor entrada de água no sistema pedohidrológico, este que por sua vez, é diferenciado para cada ambiente ou paisagem, devido às características naturais e modificadas dos elementos do meio físico que a compõem.

CAPÍTULO II
METODOLOGIA E PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS

OS PRINCÍPIOS METODOLÓGICOS E O ENQUADRAMENTO DO PROJETO DE PESQUISA

O Projeto intitulado "Diagnóstico, Prognóstico e Medidas de Controle de Erosões Urbanas e Rurais em Goiás e Mato Grosso" previu várias etapas de estudo do meio físico e desenvolvimento da pesquisa, por aproximações em escalas sucessivas, conforme metodologia inspirada em Ab´ Saber (1969), adaptada por Salomão (1994, 1999) e aprimorada por Castro & Salomão (2000) para estudos de erosão. O Quadro 02 sintetiza os níveis de tratamento e seus respectivos procedimentos e produtos.

As etapas iniciaram-se com estudo integrado do meio físico (1º nível), que tem por base a cartografia temática integrada e resultou na compartimentação de áreas homogêneas e na identificação das áreas críticas em termos de suscetibilidade e ocorrência de focos erosivos lineares (Barbalho, 2000). Selecionados os compartimentos mais críticos, no caso do estado de Goiás, aquele onde predomina a Bacia do Córrego Queixada, passou-se à etapa de levantamento e caracterização do Sistema Pedológico representativo (2º nível) e à etapa de monitoramento do lençol freático desse sistema, de ocorrência erosiva e das chuvas (3º nível). De posse dos resultados obtidos nestas duas etapas, é possível dar andamento às etapas finais (4º e 5º níveis) de maneira a elencar os indicadores espaciais e comportamentais dos processos erosivos, de modo que possam subsidiar a generalização cartográfica de risco erosivo e o conjunto de ações preventivas e corretivas.

A presente pesquisa correspondeu ao 2º e 3º nível de aproximação, isto é, aos estudos do sistema pedológico identificado no 1º nível como suscetível à erosão por voçorocamento e à caracterização de seu comportamento físico-hídrico, de modo a identificar os fluxos superficiais e subsuperficiais das águas pluviais, capazes de

funcionar como condicionantes dos processos erosivos. Trata-se de uma pesquisa que enfatiza e que busca a explicação sobre esses condicionantes.

O Quadro 02 a seguir, resume as etapas acima comentadas e ressalta aquelas em que se enquadrou a presente pesquisa.

NÍVEIS DE TRATAMENTO	PROCEDIMENTOS	PRINCIPAIS PRODUTOS
1º NÍVEL COMPARTIMENTAÇÃO DO MEIO FÍSICO (DIAGNÓSTICO REGIONAL)	- Estudos integrados e analíticos do meio físico e das ocorrências erosivas (escalas de 1:250.000 á 1:60.000).	- Mapas temáticos (geológico, geomorfológico, pedologico); - Mapa de ocorrências erosivas; - Mapa morfopedológico; - Mapa de capacidade de uso das terras; - Mapa de suscetibilidade; - Seleção de áreas para estudos de detalhe.
2º NÍVEL ESTRUTURA SUPERFICIAL DA PAISAGEM (DIAGNÓSTICO LOCAL)	- Estudo morfológico detalhado do sistema pedológico representativo e de ocorrência(s) erosiva(s) (topossequências, cadastro de focos e coleta de amostras) (escala 1:2000 ou maior).	- Representação bidimensional e caracterização morfológica dos perfis de solo do sistema pedológico; - Seleção de pontos para ensaios físico-hídricos e coletas de amostras.
3º NÍVEL FISIOLOGIA DA PAISAGEM (DIAGNÓSTICO LOCAL)	- Medições físico-hídrico dos fluxos do sistema pedológico e de ocorrência(s) erosiva(s) e áreas de contribuição; -Monitoramento pluviométrico / pluviográfico, piezométrico e geoelétrico (GPR, SEV).	- Caracterização do comportamento e funcionamento hídrico do sistema pedológico e suas relações com os processos erosivos.
4º NÍVEL GENERALIZAÇÃO DOS RESULTADOS (PROGNÓSTICO)	- Sistematização dos resultados: síntese das relações processos erosivos x sistemas pedológicos x tipos de relevo x substrato (escala 1:60.000) e seleção dos principais indicadores para generalização.	- Mapas de sistemas pedológicos; - Mapas de risco à erosão; Mapa de restrições ao uso e ocupação do solo.
5º NÍVEL INSTRUMENTAÇÃO DE PLANEJAMENTO	- Elaboração do plano de controle da erosão (preventivo e corretivo) com base nos mapas de risco à erosão e ao uso/ocupação.	- Plano de controle de erosão com diretrizes e medidas; - Manual técnico e Programa de Extensão para controle; - Programa de Educação Ambiental.

Quadro 02 – Roteiro Metodológico e Produtos Previstos, em que os campos destacados correspondem às etapas realizadas nesta pesquisa (adaptado de Ab'Sáber (1969) e Tricart & Kilian (1979) por Salomão (1994) e modificado por Castro (1999)).

Portanto, do ponto de vista do roteiro metodológico geral, esta pesquisa privilegiou as etapas correspondentes aos níveis ressaltados no Quadro 02 e o entendimento do problema erosivo no que se refere aos processos genético-evolutivos através de metodologias de estudo em campo e laboratório que enfocaram a caracterização morfológica e hídrica do sistema pedológico e suas relações com os processos erosivos.

Para tanto, nessas etapas a pesquisa foi desenvolvida em fases, como a seguir.

- 1ª FASE

Pesquisa bibliográfica e de documentação cartográfica

Foram reunidas bibliografias sobre erosão hídrica linear, com ênfase no comportamento hidropedológico, nas características do meio físico da área, nos métodos e técnicas operacionais de campo e laboratório, utilizando-se de procedimentos habituais, tais como levantamento, leituras, fichamentos, elaboração de textos críticos. Resultou nos capítulos relativos aos fundamentos teóricos da pesquisa, à metodologia e à caracterização do meio físico da microbacia do Córrego Queixada, esta selecionada como integrante do compartimento morfopedológico mais crítico do lado goiano, como já exposto.

Escolha da área piloto

Com base na identificação do setor sul da Alta Bacia do Araguaia, a partir dos estudos temáticos regionais e subregionais desenvolvidos, sobre documentação cartográfica e imagem de satélite Landsat TM 5 e TM 7, escala 1: 60.000 seguida de validação em campo (Barbalho, 2002) e na identificação do compartimento VII (bacia do Córrego Queixada como predominante), procedeu-se à escolha da área piloto para os estudos de detalhe numa vertente da bacia do Córrego Capivara afluente da margem direita do Córrego Queixada, a partir dos seguintes critérios: alto grau de criticidade na bacia devido à maior concentração de focos erosivos do lado goiano; formas suave onduladas convexas longas representativas da zona rebaixada pedimentar da Alta Bacia do Rio Araguaia; presença de 03 classes de solos que se sucedem do topo dos interflúvios aos fundos de vale (Neossolo Quartzarênico, Neossolo Quartzarênico Hidromórfico e Gleissolo) associadas à Formação Botucatu e igualmente representativa por ser dominante na região; e de sua vertente com pastagem degradada, com numerosos sulcos e ravinas associados a trilhas de gado convergentes para o

córrego, tipo esse de uso e indicados sobretudo de manejo inadequado, fato comum na área (Barbalho, 2002; Castro et. al., 2003).

Os critérios complementares para a escolha da vertente e do eixo para o levantamento dos solos em toposseqüência foram: presença de topo e vertente de interflúvio com mais de 800 m de comprimento, suavemente convexizados e representativos do tipo de modelado da região; e ocorrência erosiva (voçoroca) em estágio inicial, do tipo conectada a curso d'água (Córrego Capivara), com a sucessão lateral das três classes de solo acima mencionadas.

- 2º FASE

Levantamento topográfico da vertente da microbacia em campo

Este foi realizado com a utilização de uma estação de nível e um GPS, medindo-se a diferença de nível entre dois pontos georreferenciados ao longo de eixos. O registro das medidas posteriormente tratados, com auxílio do software AutoCAD®, no qual procedeu-se à plotagem do conjunto desses pontos e traçados das curvas de nível eqüidistantes de 1 metro. O produto obtido foi uma carta topográfica em escala de 1/2.000, onde foram lançados o eixo da topossequência e os contornos dos focos erosivos.

Seleção do eixo e levantamento topográfico da topossequência

O eixo selecionado correspondeu a uma secção longitudinal disposta do topo à base do interflúvio, na sua margem direita, em posição média da vertente e segundo o eixo e rumo de maior declive (Boulet, 1988). O eixo foi também selecionado em posição relativamente paralela ao foco erosivo principal (voçoroca Paraíso), de modo a permitir a identificação do sistema pedológico afetado pela erosão. Recomendado ainda por Boulet (1988), assim como resumido por Cunha (2000), o levantamento topográfico do eixo da topossequência foi feito com a utilização de uma bússola, um clinômetro, uma trena de 50m e metro de pedreiro (servindo como mira) de dois metros. O clinômetro é posicionado no rumo da seção, em nível projetado na

mira posicionada a uma distância visível no campo, medindo com a trena extendida no chão. O desnível entre os pontos, a partir da visada do clinômetro é feito em centímetros correspondendo à altura, descontada a altura do olho do observador. Esses dados foram lançados em tabela para posteriormente servirem à construção do perfil topográfico em papel milimetrado; os dados obtidos foram posteriormente trabalhados com auxílio do software AutoCAD®, que permitiu o desenho final da topografia registrada. Os pontos relativos ao alinhamento foram plotados também sobre a base cartografada da vertente.

Levantamento morfológico do sistema pedológico e coleta de amostras

O levantamento morfológico dos solos foi feito em topossequência com base no procedimento denominado de Análise Estrutural da Cobertura Pedológica, etapa da análise bidimensional, conforme proposta de Boulet (1988) e Queiroz Neto (1988), apoiado na idéia de *continuum*, em que a cobertura pedológica é percebida e restituída dimensionalmente ao longo das seções topográficas, ou seja, do topo do interflúvio ao fundo de vale.

Segundo Boulet (1988), para o levantamento morfológico dos horizontes da cobertura pedológica procede-se através da realização de furos de sondagem com trado manual (e mecânico, se necessário), seguidos da abertura de trincheiras para descrição dos horizontes dos perfis de solo alinhados no eixo topográfico. Cada furo permite o reconhecimento em profundidade e lateralmente dos horizontes de solo e suas transições, bem como de sua sucessão vertical. O intervalo entre os furos, em geral, se faz a cada 100 ou 50m, adaptando-se essa distância sempre que se percebem diferenças ao comparar um furo com o outro, com auxílio de pedocomparador onde pequenas amostras são alojadas; subseqüentemente procede-se à implantação de novo furo entre os dois anteriores quando eles são diferentes entre si e assim sucessivamente até que se localize o aparecimento ou desaparecimento de horizontes e feições pedológicas de interesse. Chama-se esse procedimento de aproximação geométrica, cujo resultado é desenhado progressivamente e em contínuo (Fernandes Barros et. al.,

1988) sobre papel milimetrado em escala. A locação das trincheiras é feita em pontos específicos do transecto com base na sucessão vertical e lateral dos horizontes levantados a trado e os objetivos do trabalho.

Ao todo foram realizados 16 furos de sondagem com profundidades que atingiram até 4 metros, a descrição morfológica de 4 perfis de solos em trincheiras representativas das 03 classes de solo presentes e 01 transicional com cerca de 2 metros de profundidade por 1,5 e 2 metros laterais. Uma delas foi locada no topo e as três restantes no começo, meio e fim do segmento inferior, onde ocorreram mudanças rápidas dos tipos de horizontes e seus arranjos.

O produto gráfico assim obtido representou a denominada Toposseqüência Paraíso com a identificação em *continuum* dos horizontes e do lençol freático tal como constatado, com base nas descrições macromorfológicas dos perfis verticais obtidos com os furos de sondagem e trincheiras. Comumente, em desenhos de topossequência é necessário o ajustamento das escalas verticais e horizontais, admitindo-se pequenos exageros a fim de obter-se uma melhor representação dos horizontes e feições morfológicas de pequenas espessuras (~10cm, por exemplo), respeitado o limite que incorre em distâncias geométricas, de modo a evitarem-se distorções.

De acordo com Silva (1999) o procedimento descrito permite identificar as transições laterais entre horizontes, comumente progressivas ao longo de encostas, e, partindo-se daí, também definir áreas ou zonas com maior ou menor suscetibilidade à erosão, em razão, notadamente, dos contatos e contrastes entre arranjos e constituição dos diferentes horizontes e suas implicações quanto à circulação hídrica.

Nas trincheiras foi realizada também a coleta de amostras deformadas e indeformadas dos horizontes dos solos e suas transições para análise granulométrica e estudo micromorfológico posterior, respectivamente. As amostras indeformadas foram colocadas em caixas de papelão de 8x5x4 cm e acondicionadas para transporte (Brewer, 1976) e as deformadas foram acondicionadas em sacos plásticos contendo cerca de 1kg cada (Lemos & Santos, 1996).

Foram escolhidos os horizontes representativos (A, C, Cg, inclusive o saprólito) de duas trincheiras, uma no topo, onde domina o Neossolo Quartzarênico

espesso e relativamente homogêneo, e outra no seguimento inferior, onde domina o Neossolo Quartzarênico Hidromórfico, menos espesso e morfologicamente mais contrastado e associado ao nível freático (piezométrico), no qual, também, deduziu-se a presença de maiores gradientes hidráulicos, de possíveis *pipings* e fenômenos de convergência de fluxos constatados nos mapas do lençol freático.

O roteiro de descrição macromorfológica dos perfis de solo seguiu as recomendações gerais de Lemos & Santos (1996) e Souza (1994), sendo observadas a cor, textura, estrutura, porosidade, cerosidade, consistência, cimentação, nódulos e concreções, nível d´água, características relacionadas à vegetação e suas raízes, ações biológicas (minhocas, formigas, cupins, tatus, etc), etc. Para descrição dos perfis com tradagem não foram observadas as estruturas devido à deformação causada pelo equipamento.

Monitoramentos

Foram realizados dois monitoramentos continuados, o das chuvas e o do nível do lençol freático. No primeiro foram utilizados pluviômetro e pluviógrafo. O pluviômetro fornece a quantidade total pluvial diária. Os números obtidos são dados em milímetros (mm), onde cada 01 mm corresponde a 1 litro (ml) de chuva precipitado em um metro quadrado (m^2) do terreno. O pluviográfico mede o volume de chuva continuamente em registro gráfico denominado pluviograma durante 24hs, quando é trocado por outro e assim sucessivamente. Por isso permite calcular o volume precipitado em mm, por episódio chuvoso.

Com a duração do episódio e o respectivo volume é possível calcular a intensidade das chuvas, destacando as intensidades máximas instantâneas, que são os momentos de pico mais significativos do episódio chuvoso do ponto de vista de sua energia erosiva. Com esses dados é possível gerar um gráfico indicando as curvas de intensidades máximas espontâneas segundo as classes de seus intervalos de tempo associados (Custodio e Llamas, 1996).

A Figura 06 mostra um pluviograma com 07 momentos chuvosos, com diferentes intensidades instantâneas, em que, num determinado momento, a precipitação de 3,8mm de chuva em um intervalo de 10 minutos gerou uma instensidade instantânea convertida de 22,8mm/h; portanto, desta forma conseguiu-se rastrear ao longo do período de monitoramento, as Intensidades Máximas Instantâneas, que foram organizadas em planilhas e gráfico do tipo Curva de Intensidade-Duração.

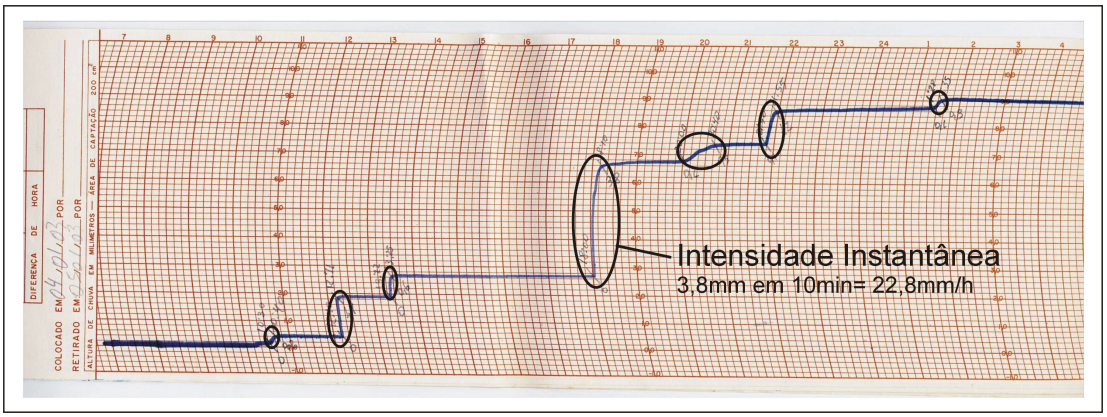


Figura 06 – Pluviograma do dia 05/01/03, indicando 07 momentos de intensidade instantânea.

Essas informações são utilizadas para caracterização pluvial e sua correlação com os fluxos superficiais e subsuperficiais (lençol freático), como se verá adiante no que se refere às leituras do lençol freático.

Os aparelhos pluviômetro e pluviógrafo são patrimônio do IESA/UFG e suas instalações foram realizadas na sede da Fazenda Paraíso, com apoio técnico do CPRM-GO, em posição de topo e próxima (~03 km) à toposseqüência. Um funcionário da fazenda ficou responsável pela coleta diária dos dados do pluviômetro e do pluviógrafo. Os dados obtidos e seus tratamentos foram apresentados por Ramos (2003) para a região e para a estação especialmente instaladas para o monitoramento na Fazenda Paraíso, próximo à toposseqüência.

Os resultados são apresentados nos capítulos de caracterização regional e dos resultados obtidos na presente pesquisa.

No segundo tipo de monitoramento foi implantada uma estação de monitoramento do lençol freático com medidores de nível d´água (piezômetros).

O medidor de nível d´água consiste de um tubo de PVC fincado em uma perfuração feita a trado manual e/ou mecânico, até a profundidade desejada onde a parte inferior apresenta pequenos furos que permitem a entrada da água do lençol freático em seu interior. Esta parte do tubo é recoberta com um tecido geotêxtil ou filtro de feltro para a retenção de partículas finas de modo que a água entre límpida no interior do piezômetro, envolve-se a base do tubo com areia para permitir melhor circulação hídrica em seu entorno. Foram instalados 27 furos em julho de 2001 (início do monitoramento continuado) distribuídos em espaçamentos que variam de aproximadamente 30m na porção mais a montante e de 5 a 10m na jusante da estação de monitoramento do nível d´água.

Tal distribuição dos furos seguiu critérios adotados por Salomão (1994), estabelecidos com base em um plano prévio de locação, considerando-se a topografia do terreno, a cobertura pedológica, a disposição geral provável do lençol freático e a evidência de surgências d'água ou de fluxos subsuperficiais concentrados, diretamente relacionadas aos fenômenos de *piping*, de interesse para o estudo de voçorocamento. As Fotos 01 e 02 mostram a instalação dos medidores de nível d´água.

Foto 01 – Perfuração do solo com trado mecânico para instalação dos medidores de nível d´água.

Foto 02 – Medidor de nível d´água instalado.

A leitura foi feita quinzenalmente por um operador (o mesmo que coletou os dados de chuva), com auxílio de um aparelho específico para as medições de profundidade do lençol (o "piu"), que emite um sinal sonoro quando em contato com a água no interior do tubo, bastando medir-se a altura entre a superfície do terreno e o nível d'água.

Os resultados tratados graficamente e espacialmente como se verá adiante, serviram para mapear a profundidade do lençol durante os períodos considerados, os quais puderam ser correlacionados com os totais pluviométricos, as intensidades e durações dos episódios chuvosos, de modo a calcular-se o tempo de resposta do freático, as oscilações durante o período, os gradientes hidráulicos representativos e a convergência dos fluxos, indicadores importantes de recarga, de exfiltração e de *pipings*, bem como da direção dos fluxos hídricos.

O terceiro tipo de monitoramento foi realizado em dois momentos do ano hidrológico (período seco e chuva) utilizando-se de geofísica para identificar as características geológicas, pedológicas e níveis freáticos. O eixo de prospecção geofísica foi o mesmo da toposseqüência para a comparação dos níveis piezométricos mais elevados e mais baixos.

Foram utilizados dois tipos de equipamentos, o GPR e a SEV. O radar de penetração de solo, georadar, *ground penetrating radar*, ou ainda simplesmente GPR, é um termo geral aplicado à técnicas de prospecção eletromagnética em geofísica de investigação não-invasiva e não-destrutiva que emprega ondas de rádio com freqüências entre 1 e 2000 MHz para mapear feições na subsuperfície, sejam elas naturais ou artificiais. O GPR utiliza uma antena eletromagnética (ondas de rádio) sintonizada em freqüência capaz de penetrar em solos, rochas, asfalto, concreto e outros materiais naturais ou feitos pelo homem, e informa as condições de subsuperfície emitindo pulsos de ondas de rádio de alta freqüência para o solo por meio dessa antena transmissora localizada na superfície. As estruturas em subsuperfície refletem parte das ondas de energia que volta para a superfície, enquanto o resto da energia penetra mais profundamente. A energia da onda refletida é capturada por uma antena receptora em superfície (Franco & Mello, 2001).

Esses sinais são processados e plotados em um visor com a distância versus tempo-profundidade. Assim, como a antena é lentamente movimentada pela superfície, um contínuo corte transversal, a imagem das condições de subsperfície é gerada. As reflexões do radar são causadas pela resposta das ondas em interfases de materiais que possuem propriedades elétricas diferentes (Franco & Mello, 2001). Assim, os resultados foram tratados graficamente, depois de armazenados em um *laptop*, dotado do software RAMAC/GPR versão 2.28.

O segundo tipo de prospecção geoelétrica foi feito para se efetuar medições de resistividade de terrenos soterrados. É utilizado normalmente o método geofísico denominado "quadripolo simétrico Schlumberger" comumente chamado Sondagem Elétrica Vertical ou simplesmente SEV (Área Geofísica, 2002).

A SEV é utilizada para averiguar a distribuição vertical de resistividades das sucessivas camadas no subsolo abaixo do ponto de investigação. Este método consiste na emissão de corrente elétrica contínua no terreno e na medição da diferença de potencial existente em dois pontos fixos, segundo o sistema geométrico a 4 eletrodos conforme a Figura 07.

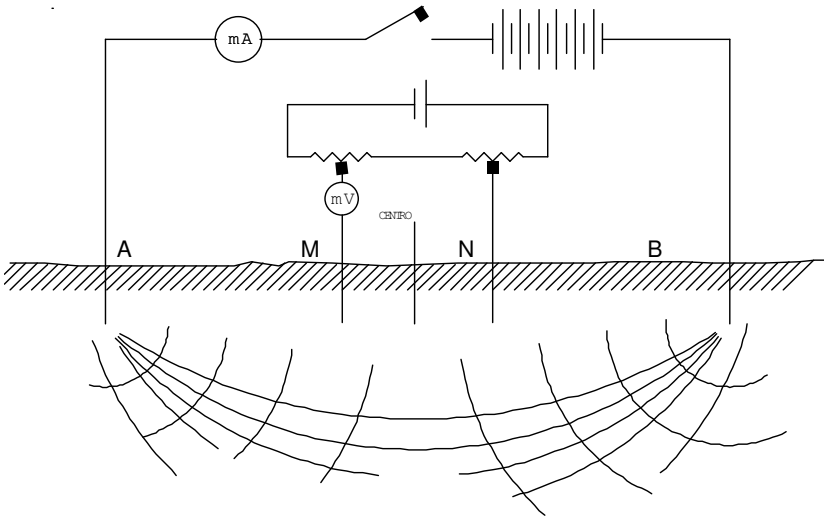


Figura 07 – Esquema da prospecção geoelétrica com SEV (Área Geofísica, 2002).

Os dois eletrodos externos *A* e *B* transmitem ao terreno corrente elétrica contínua gerada com uma série de baterias a seco ou com alguma fonte alternativa,

enquanto os dois eletrodos centrais *M* e *N* medem a diferença de potencial induzida no solo pela passagem da corrente elétrica entre *A* e *B*.

A medição da intensidade de corrente (I) é efetuada por um miliamperímetro, enquanto que a medição da diferença de potencial (ΔV) é medido com um milivoltímetro de precisão dotado de um circuito que anula os efeitos dos potenciais espontâneos existentes nos terrenos.

A partir das medições realizadas é calculada a resistividade aparente (ρa) do terreno, segundo a seguinte fórmula, com base na Lei de Ohm:

$$\rho_\alpha = \frac{S}{L} \times \frac{\Delta V}{I}$$

em que S e L são fatores que dependem das características geométricas da rede elétrica. S indica a distância entre os eletrodos de corrente *A* e *B*, e L a distância entre os eletrodos de medição de diferença de potencial *M* e *N*.

Quando se deseja estender as medições de resistividade às camadas ou extratos mais profundos sucessivamente, se aumenta a distância entre os eletrodos de corrente *A* e *B*, permitindo de tal maneira que as linhas de corrente possam penetrar a maior profundidade no terreno.

Posteriormente são construídos diagramas de resistividade aparente (ρa) em função da semidistância *AB* (*AB* /2). Os valores da distância *AB* (medidos em metros), e os de resistividade aparente (medidos em ohm.m) são plotados em papel bilogarítmico. Os dados coletados pelo método de SEV foram tratados no programa IPI versão 7, pela equipe da UFMT que participou dos trabalhos de campo.

Com base no diagrama das curvas de resistividade aparente geradas, é possível calcular a resistividade real e a profundidade dos distintos estratos com diferenciadas resistividades. As curvas são interpretadas segundo os métodos do ponto auxiliar e da sobreposição sobre curvas teóricas padrão, e sucessivamente se procede ao controle automático mediante computador com a utilização de um modelo matemático

baseado no método dos filtros GHOSH. Sendo o controle automático (*fitting*) positivo passa-se, em seguida, às curvas do controle geológico da interpretação.

Por fim, são obtidas as interpretações definitivas das distintas curvas, que permite a elaboração dos cortes eletroestratigráficos e mapas de resistividades no software IPI versão 7.

O monitoramento geofísico permite reconhecer o substrato rochoso e suas estruturas, a cobertura pedológica (solo) e o nível freático, além da convalidação do monitoramento piezométrico.

- 3º FASE

TRABALHO DE GABINETE

Consistiu basicamente do tratamento e análise das informações obtidas em campo, como a seguir: tratamento dos dados numéricos em planilha eletrônica Excel e processamento dos mesmos em tabelas e gráficos; tratamento do material do levantamento topográfico da topossequência e da carta topográfica em escala 1:5.000, em software gráfico AutoCAD® em suas devidas escalas; tratamento dos dados dos piezômetros, pluviógrafo e pluviômetro, afim de se quantificar a oscilação do lençol freático, o gradiente hidráulico e deduzir o comportamento hídrico interno relacionado com os episódios chuvosos.

Os produtos obtidos foram o desenho da topossequência, os mapas do lençol freático, os gráficos conjugados de precipitação e curvas piezométricas e de gradiente hidráulico, resultantes do tratamento das leituras obtidas nos piezômetros, realizada sobre a planta planialtimétrica da área, para a determinação dos potenciais hidráulicos. Os equipotenciais presentes nos mapas piezométricos foram elaborados com base na análise da densidade de fluxo e do gradiente hidráulico, obtidos aplicando-se a equação de Darcy, a partir da qual se obtém a velocidade de percolação da água. A área em questão tem a característica de possuir aqüífero livre ou não confinado e não salino, por isso, como potencial hidráulico aplicou-se apenas o potencial gravitacional, dado pelas cotas do nível d'água, obtidos pela leitura dos medidores de nível d´água.

De acordo com Azevedo & Albuquerque (1998), o traçado dos mapas do lençol freático é realizado à semelhança dos mapas topográficos, onde as curvas assemelham-se às de nível e correspondem às ***isopiezas*** ou linhas ***eqüipotenciais***. Utilizam-se as técnicas de interpolação e extrapolação de pontos, onde a eqüidistância das isopiezas é definida em função da quantidade de informações disponíveis, escala e objetivos do trabalho. Uma vez delineados os equipotenciais, o sentido do fluxo passa a ser facilmente conhecido, uma vez que as linhas de fluxos principais podem ser traçadas, gerando malhas, aproximadamente quadrangulares, nas quais as linhas equipotenciais e as linhas de fluxo são sempre ortogonais entre si. Em suma, o produto obtido desta análise é um mapa com cotas a cada 01 metro, que representam as linhas eqüipotenciais (de mesmo potencial hidráulico) e que permite, por sua configuração, deduzir as direções preferenciais dos fluxos hídricos subsuperficiais, conforme o regime pluvial.

Foram elaborados vários mapas do lençol freático, e dentre eles foram selecionados os mais representativos do período de 2 anos consecutivos do monitoramento que ressaltaram os máximos de cada estação (seca e chuvosa) e suas transições entre estações do ano hidrológico. Relacionou-se, por fim, essas informações com as leituras dos dados de precipitação distribuídos no tempo, obtidos com o pluviógrafo e com o pluviômetro, com base em gráficos conjugados.

Os gráficos conjugados (lençol freático X chuvas) foram elaborados inicialmente de modo completo (para os 2 anos de monitoramento) a partir do qual foi seccionado em momentos considerados chave para a interpretação dos fluxos, principalmente para recarga do freático e risco de exfiltração.

Os gráficos de gradientes hidráulicos dos níveis do lençol freático foram elaborados para as datas consideradas representativas, como nos anteriores, plotando-se os dados em perfil e simultaneamente de vários registros dos diferentes piezômetros.

- 4ª FASE

TRABALHO DE LABORATÓRIO

Foram realizadas as análises granulométricas das amostras deformadas e preparação e descrição de lâminas delgadas das amostras indeformadas, como a seguir.

As análises de laboratório seguiram fundamentalmente as diretrizes propostas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT).

As texturas e sua classificação são importantes para a compreensão dos fluxos hídricos.

Análise Micromorfológica

O estudo micromorfológico compreendeu as seguintes fases:

→ Preparação das lâminas delgadas, realizada pela UNESP/Rio Claro, com base nas recomendações de Brewer (1976) e compiladas por Castro (2002) para a preparação das amostras, a partir de impregnação com resina à base de poliéster que após a polimerização foram cortadas finamente (~30μm), polidas e coladas em lâminas delgadas, de tipo petrográfico, sem cobertura.

→ Interpretação das lâminas em microscópio óptico do tipo polarizante, do tipo petrográfico, binocular com coleção de objetivas que variam de aumentos pequenos 2,5X, até maiores, de 40X (Castro, 2002). Utilizou-se câmera fotográfica acoplada ao microscópio para o registro das feições interessantes à pesquisa. Segundo Salomão (1999) a observação micromorfológica de solos em lâminas delgadas para o estudo de erosões é realizado para análise da textura, estrutura, geometria e arranjo do sistema poroso, fornecendo subsídios para o entendimento dos atributos físico-hídricos da cobertura pedológica, podendo complementar as interpretações relativas à circulação hídrica.

Segundo Santos (2000) e Resende et. al. (2002) o estudo micromorfológico compreende três etapas básicas:

1) identificação dos constituintes do fundo matricial:

a) plasma: fração granulométrica de tamanho coloidal igual/menor a 2μm, constituído por material mineral e orgânico relativamente solúvel, que é capaz de ser ou de que tenha sido movimentado e/ou concentrado pelos processos de formação do solo;

b) esqueleto: que compreende em geral aos minerais primários e os fragmentos orgânicos duros de fração granulométrica compreendida entre 2 e 2000μm;

c) poros: parte do volume do solo não ocupado por partículas sólidas, por onde circulam água, os gases e os organismos. Manifestam-se sob diferentes tamanhos (micro-, meso-, e macroporos) e formas (fendas: poros muito longos em relação à abertura; cavidades: poros tão longos quanto largos, apresentando as formas mais variadas; vesículas: poros isolados, de forma circular).

2) identificação das organizações estruturais (microestruturas)

a) estruturas plásmicas: arranjo espacial das partículas da fração argila, entre si, segundo diferentes direções;

b) estrutura de base: produto do arranjo espacial entre plasma, esqueleto e poros, a qual compõe o fundo matricial, segundo a classificação de Stoops & Jongerius (1975) apud Santos (2000).

3) identificação das principais feições pedológicas (pedotúbulos, cutãs, etc.)

O roteiro metodológico de análise e descrição lâminas delgadas pode ser encontrado em Castro (1989, e 2002). A interpretação priorizou a observação do sistema macro e mesoporoso e valorizou a dedução sobre os fluxos hídricos internos verticais (entre horizontes dispostos verticalmente nos perfis de solo) e laterais (entre horizontes dispostos lateralmente na toposseqüência)

- 5ª FASE

TRABALHO DE GABINETE

- Comparação entre a morfologia dos solos, granulometria e micromorfologia, a fim de caracterizar os solos da topossequência;
- Interpretação dos registros do monitoramento geofísico com SEV e GPR, e dos níveis do lençol freático neste último, na estação seca e chuvosa;
- Análise dos dados de chuva e de piezometria a fim de analisar o comportamento do lençol freático frente aos episódios chuvosos;
- Interpretação das análises físico-hídricas do solo a fim de caracterizar o funcionamento pedohidrológico;
- Interpretação final, com base nos produtos relativos à pluviosidade e ao lençol freático, quanto aos fluxos condicionantes da suscetibilidade erosiva linear e os setores de risco na vertente;
- Redação final da dissertação, seguindo a estrutura acadêmica usualmente exigida.

CAPÍTULO III

CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA SUB-BACIA DO CÓRREGO QUEIXADA E DA MICROBACIA DO CÓRREGO CAPIVARA

Como exposto anteriormente, a bacia do Córrego Queixada foi selecionada para o desenvolvimento de estudos detalhados em razão de sua representatividade em termos das características físicas e do uso das terras regionais do Setor Sul da Alta Bacia do Rio Araguaia, e por integrar o compartimento morfopedológico mais crítico do ponto vista do número de focos erosivos, do lado goiano.

A caracterização física da sub-bacia do Córrego Queixada e da área piloto do córrego Capivara, seu afluente, será realizada de maneira a integrar e associar os seus elementos constituintes, numa perspectiva geográfica, sistematizada, sobre a dinâmica da paisagem, procurando as suas relações com as ocorrências erosivas associadas a estas características, com ênfase na busca dos condicionantes e da dinâmica dos processos erosivos.

A Sub-bacia do Córrego Queixada situa-se na porção leste da Alta Bacia do Rio Araguaia (Figura 01), tendo o escoamento no canal principal deste córrego o sentido Leste-Oeste, percorre cerca de 25km desde a sua nascente principal até deságüe no Rio Araguaia.

A microbacia do Córrego Capivara, onde se instalou as estações de monitoramento físico-hídricos e se procedeu ao levantamento detalhado aos solos em toposseqüência, conforme já ressaltado, situa-se na porção oeste da Sub-bacia do Córrego Queixada (Figura 08).

CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS – aspectos pluviais

Com base em Nimer (1985), à montante da cidade de Aruanã-GO, predomina um clima tropical sub-úmido com freqüentes ingressões de massas de ar ao longo do ano resultando em duas estações bem definidas: uma seca, predominante no

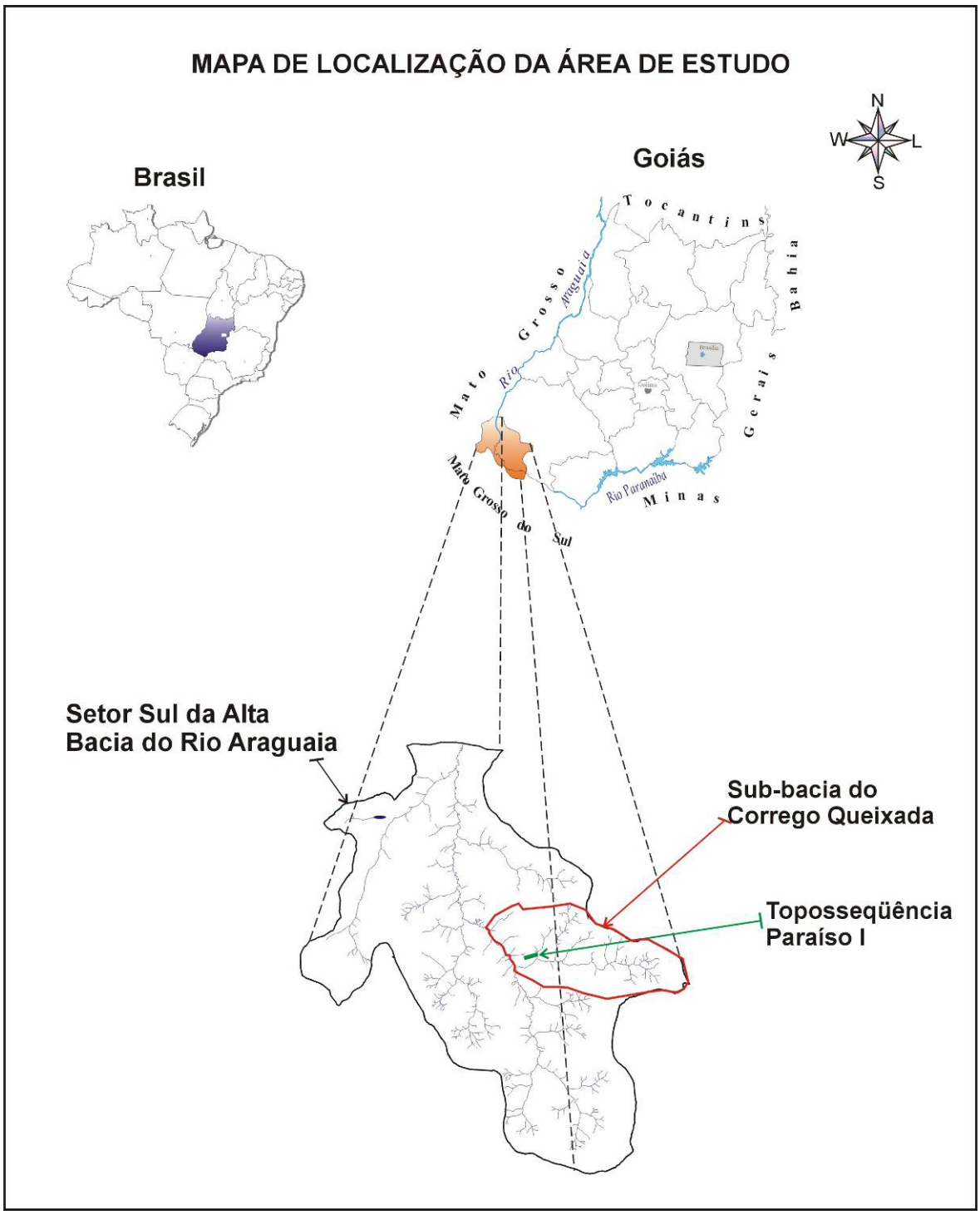


Figura 08- Mapa de localização da área de estudo.

inverno, e outra úmida, caracterizada pelos maiores índices pluviométricos que ocorrem no verão sendo que a precipitação anual gira em torno de 1500mm. A distribuição sazonal das chuvas na bacia do Córrego Queixada, bem como da bacia do Rio Araguaia, apresenta durante o ano um período de estiagem compreendendo os meses de junho a setembro e um período chuvoso, que compreende os meses de outubro a março; abril e maio sendo, os meses de transição para o período seco.

Apesar de janeiro e fevereiro serem muito chuvosos, é comum o período de estiagem conhecido como "veranico" (período sem chuva), que é muito prejudicial às culturas de sequeiro, pois, grosso modo, abala as plantas no momento de formação ou desenvolvimento dos grãos.

Trata-se de área passível de chuvas intensas concentradas no verão, supostamente de alto poder erosivo, como revelaram depoimentos de proprietários, inclusive o da área específica da pesquisa.

Conforme Assad et. al. (1994) a variabilidade espacial e temporal na região dos cerrados é muito grande. Áreas que apresentam altas intensidades de chuva num mês em relação às outras áreas, num momento seguinte podem ter um decréscimo brusco desses valores; o inverso também é verdadeiro.

Conforme os mesmos autores o conhecimento sobre a intensidade e a freqüência das chuvas e sua distribuição espaço-temporal é possível mediante a coleta de dados pluviais, que são poucos no estado de Goiás. Destacam ainda, a importância que o conhecimento sobre as chuvas tem para agricultura (uso de máquinas agrícolas, germinação das plantas, controle de erosão, etc.) e para a projeção de obras de engenharia, principalmente aquelas que envolvem a movimentação de terra.

Será apresentado adiante um item especifico sobre a intensidade, duração e freqüência das chuvas na área em que está compreendida a bacia do Córrego Queixada.

CARACTERÍSTICAS DO MEIO FÍSICO

A bacia do Córrego Queixada apresenta 21 ocorrências erosivas de grande porte, sendo a maioria delas, como será visto adiante, associadas às ações antrópicas que modificaram a paisagem natural. Algumas ocorrências erosivas estão conectadas aos cursos d´água cujo padrão de drenagem é do tipo dendrítico (Figura 09), com alguma associação a falhas que possivelmente favoreceram o encaixe de alguns dos córregos afluentes do Queixada e ele próprio (Figura 10).

A estratigrafia presente na atual Sub-bacia do Queixada compreende 04 unidades geológicas: Formação Botucatu (Jurássico); Formação Serra Geral (Triássico/Cretáceo); Coberturas Detrítico Lateríticas (Tércio-Quaternário); e Aluviões (Holoceno), pertecentes à Bacia Sedimentar do Paraná, integrando a morfoestrutura do Planalto Setentrional (Figura 10).

De acordo com Mamede (2000), a região dos planaltos Setentrionais da Bacia Sedimentar do Paraná, onde se insere a área de pesquisa, reproduzem conjuntos de relevos de feições complexas, apresentando sulcos adaptados às estruturas, bordas escarpadas em alcantis com reversos em rampas pouco declivosas, geralmente interrompidas por relevos residuais de topos tabulares e níveis topográficos embutidos na superfície geral dos planaltos.

É relevante considerar que o principal pacote geológico do Período Jurássico foi elaborado por processos de deposição/sedimentação eólica, compondo a Formação Botucatu, do Grupo São Bento, o mais expressivo suporte em área do relevo atual da Alta Bacia do Rio Araguaia, que passou por processos morfogenéticos por tectônica, erosão e possível recuo paralelo das vertentes, vindo a encaixar as cabeceiras alveolares do rio Araguaia mais recentemente por dissecação.

A Formação Botucatu é constituída por arenitos de deposição eólica, predominantemente finos, normalmente apresentando boa seleção, com grãos variando de sub-arredondados a arredondados. Raramente são encontrados grãos

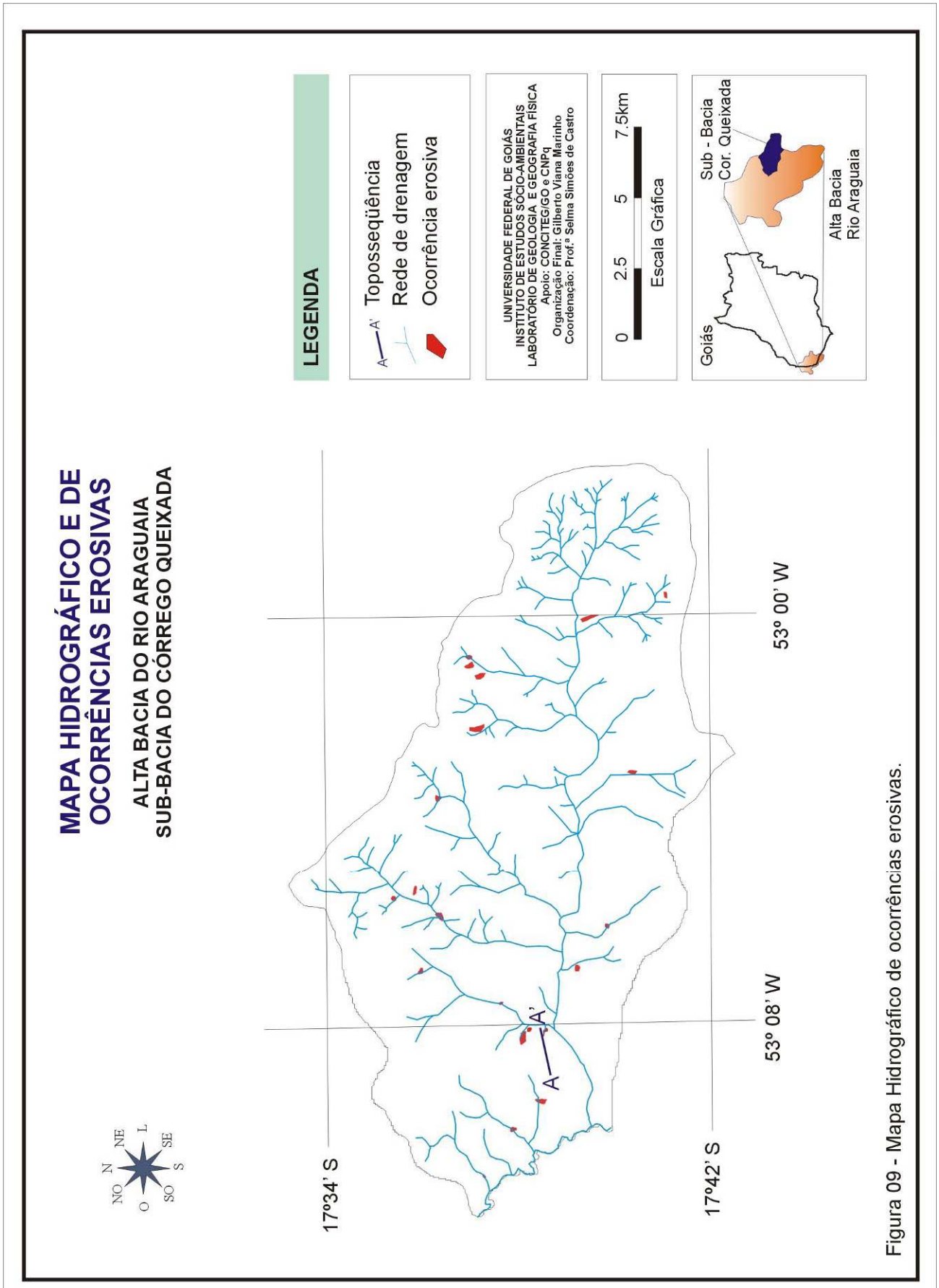


Figura 09 - Mapa Hidrográfico de ocorrências erosivas.

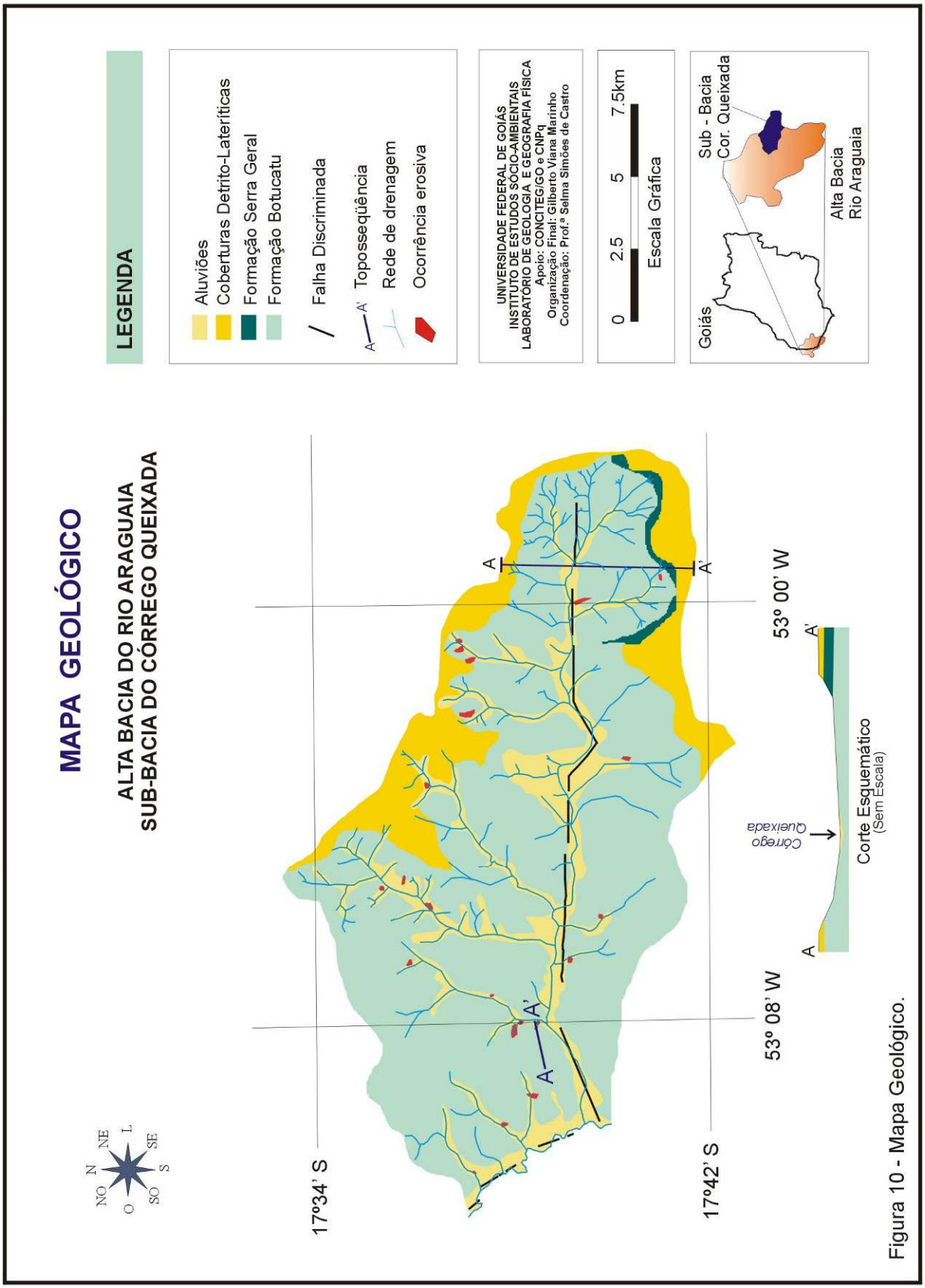


Figura 10 - Mapa Geológico.

grosseiros dispersos na massa arenítica. As colorações variam de esbranquiçadas, amarelo-avermelhadas, róseo-avermelhadas, e até vermelho-carne quando bem silicificados.

Compõem espessos estratos de aspecto maciço, estraticações cruzadas de grande a médio porte e estratos plano-paralelos contendo subordinadamente laminações de mesma natureza. São registrados intensos fraturamentos e diáclases superficiais, quando os litótipos se apresentam com alto grau de silificação. Os morros testemunhos com formas tabuliformes e outras estruturas ruiniformes fazem parte da configuração morfológica da paisagem; ocorrem em razão da alta silificação dos grãos (Souza Júnior et al., 1983).

Mais especificamente, a estratificação cruzada de porte médio a grande, apresenta inclinação em torno de 30º. Os grãos entre 0,25 e 0,50mm têm, de modo geral, arredondamento entre 0,25 e 0,40 e esfericidade superior a 0,80 (Petri & Fúlfaro, 1988). Segundo os mesmos autores, são raros os achados de fósseis neste pacote.

A Formação Botucatu, sob estas características, associadas às grandes extensões dos depósitos, são interpretadas como de formações eólicas de ambiente desértico, em que as dunas poderiam atingir até 15m de altura e 100m de comprimento (Petri & Fúlfaro, 1988).

Segundo a CPRM (2001), durante o período de formação do referido pacote, localmente e em períodos efêmeros, coexistiram drenagens e pequenos lagos, que condicionaram a deposição de arenitos conglomeráticos e conglomerados de ambiente flúvio-lacustre. A formação do chamado Arenito Botucatu persistiu na época do vulcanismo, no Jurássico, tendo desaparecido provavelmente por recobrimento das dunas e também da área fonte mais próxima (Souza Júnior et al., 1983).

É relevante destacar o potencial aqüífero que o arenito Botucatu comporta. Os estudos sobre o aqüífero denominado guarani, ainda são pouco, entretanto, estima-se que seja uma dos maiores do mundo. Conforme CPRM (2001) o pacote do arenito Botucatu possui 800m de espessura em alguns pontos da bacia; entretanto, os valores de profundidade são muito diferenciados, segundo as localidades.

Os litótipos da Formação Botucatu desenvolvem um relevo ondulado, com vales abertos, formando extensos chapadões arenosos, com significantes quebras topográficas, podendo constituir relevos tabulares (Souza Júnior et al., 1983). São notórias as fortes dissecações (Formas de Dissecação) (Figura 11) nos espessos estratos, que segundo Souza Júnior et al. (1983), em imagens de radar são ressaltadas, o que proporciona o aparecimento acentuado de configurações de quebras positivas e negativas de relevo, delineadas por longas distâncias, principalmente entre as cotas 725 a 775m (Figura 12), onde ocorrem as rupturas de declive convexas (Figura 13.). Percebe-se ainda que estas rupturas delimitam em geral os topos dos interflúvios. Já as côncavas na maioria delimitam os fundos de vale. Entre as duas rupturas ocorrem vertentes retilíneas ou suavemente convexizadas (rampas longas).

Os declives que ocorrem neste recorte compreendem de 0-3% nas faixas dos topos das vertentes, com maior freqüência, 3-6 e 6-12% que ocorrem mais ou menos distribuídos em áreas similares, ou seja na meia encosta, e 12-20% que ocorrem em menor escala, próximo aos fundos de vale.

Segundo Christofoletti (1980) a presença de convexidade longa e suave é propiciada pela atuação dos processos de transporte do material para o sopé das vertentes atuais (regularização), comumente nos casos em que a intensidade do transporte está relacionada somente à declividade.

Outra unidade geológica que ocorre nesta sub-bacia é a Formação Serra Geral (Figura 10),presente na porção sudeste, próxima às nascentes principais do córrego Queixada. Essa formação compreende um espesso pacote de rochas vulcânicas que ocorre na Bacia do Paraná, formada por uma extensa sucessão de derrames, que se estende desde a borda norte, em Goiás e Mato Grosso, até o seu extremo-sul, fora do território brasileiro. São de natureza basáltica, ocorrendo, restritamente, as de composição ácida e intermediária. As rochas basálticas apresentam-se normalmente com aspecto maciço, cor cinza-escura, granulação fina a média, ocasionalmente com a presença de amígdalas e muito fraturados. Apresentam disjunções colunares, indicando derrames mais espessos, se tornando comuns as ocorrências de *sills* e diques de diabásio associados a esta unidade, caracterizandos por

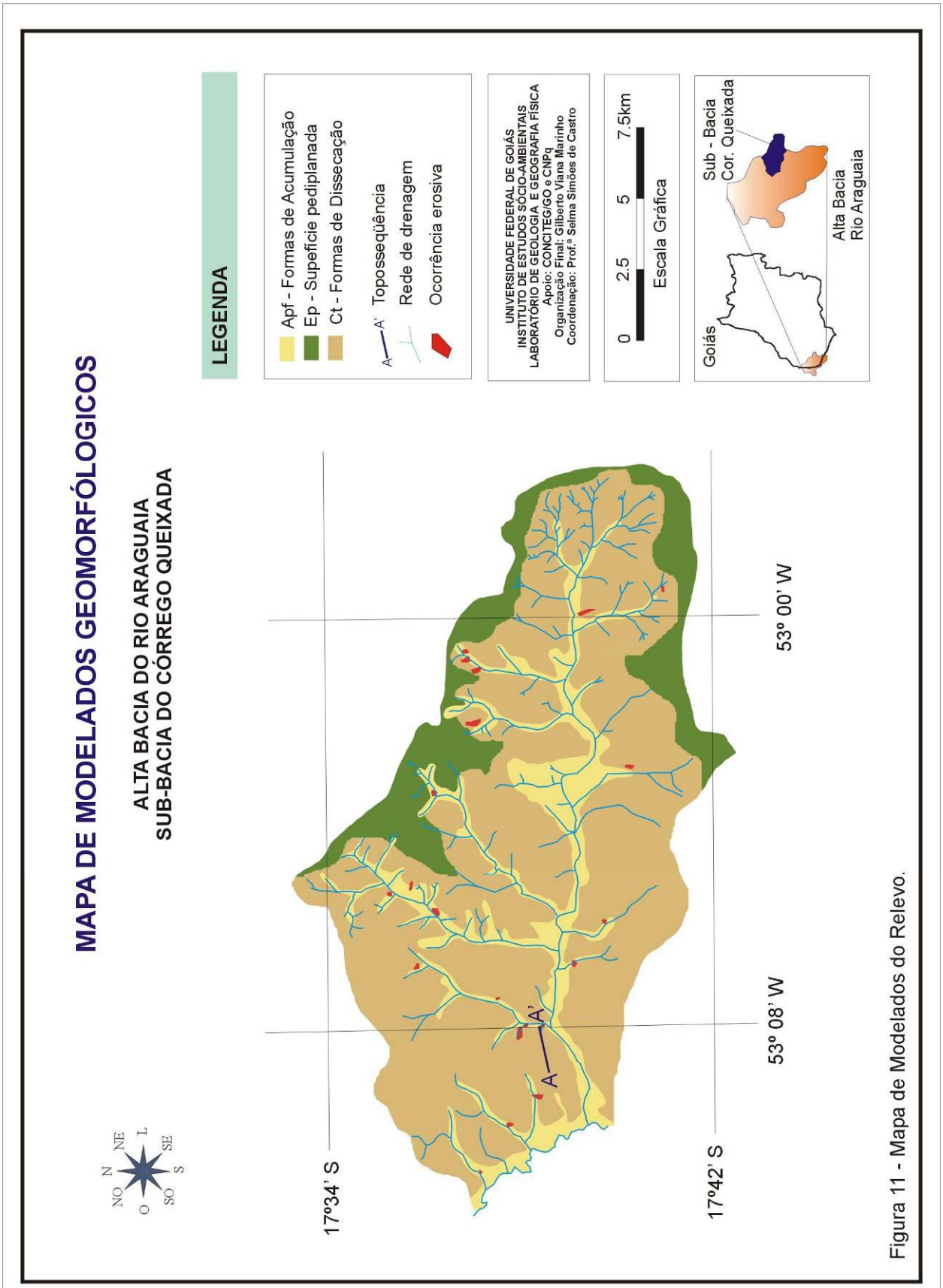


Figura 11 - Mapa de Modelados do Relevo.

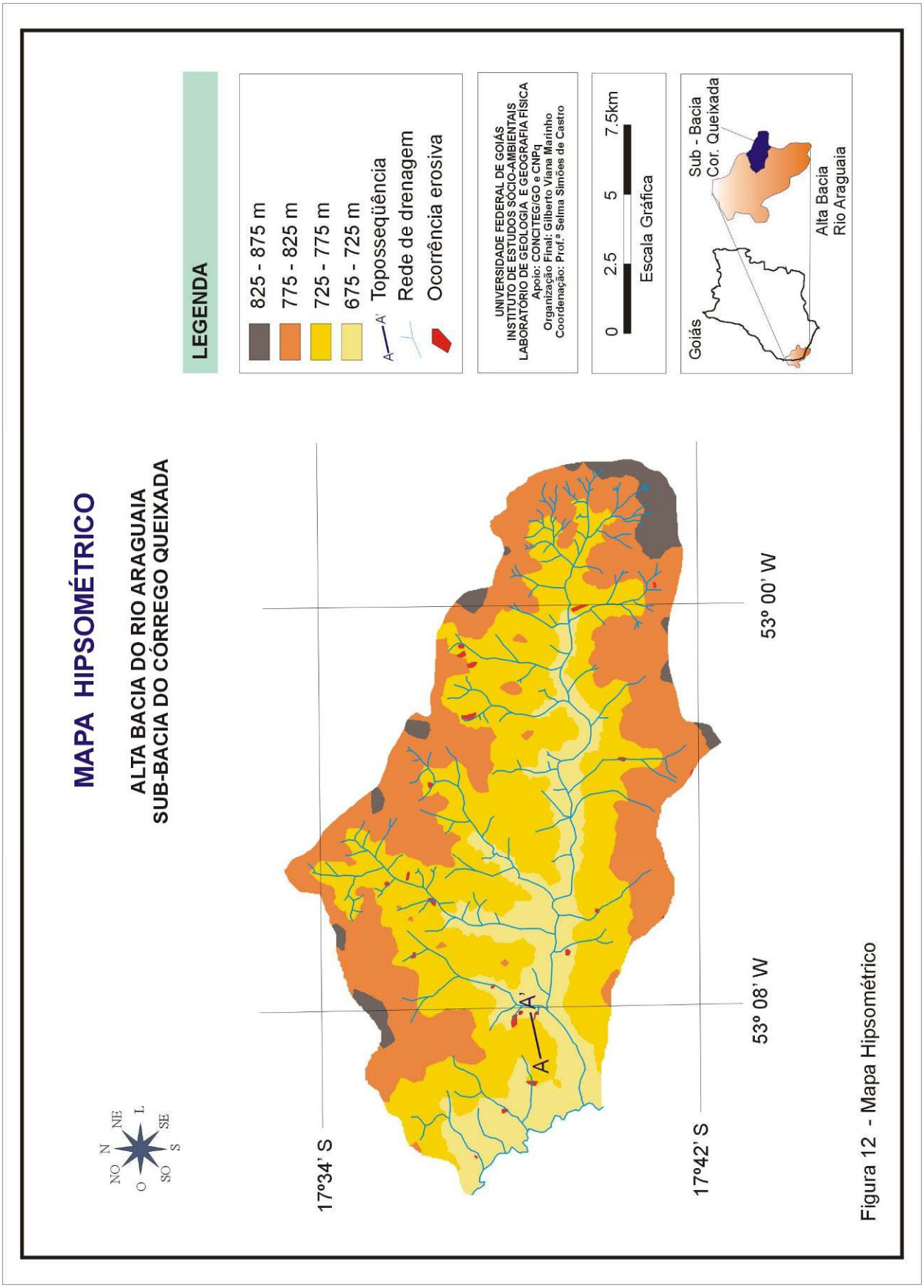


Figura 12 - Mapa Hipsométrico

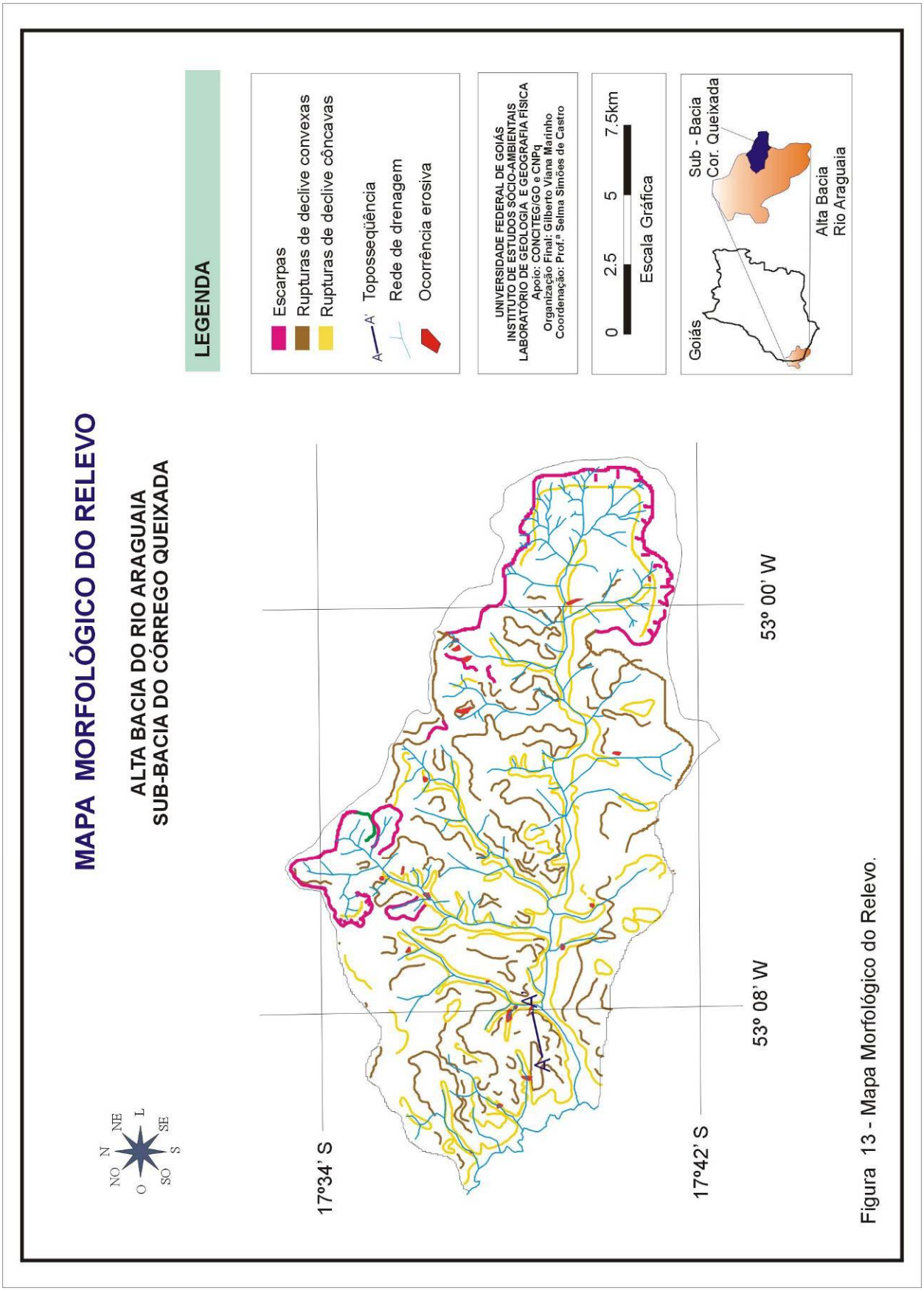


Figura 13 - Mapa Morfológico do Relevo.

cor normalmente escura, granulação média a fina, homogêneas e presença de esfoliação esferoidal quando submetidos a intemperismo (Lacerda Filho, 2000). Na sua composição apresenta plagioclásio, piroxênio, clorita e opacos, possuindo em alguns casos, óxidos de ferro e apatita. São de derrames vulcânicos em ambiente continental, sob o domínio do clima árido e semi-árido (CPRM, 2001).

As associações ou contato da Formação Serra Geral com a Formação Botucatu indicam a coexistência de ambas na fase inicial do vulcanismo, ao fim do Jurássico e início do Cretáceo, evidenciada pela presença de contatos térmicos e intercalações de porções arenosas na base do pacote (Lacerda Filho, 2000). A separação dos continentes América do Sul e a África começou no início do Cretáceo. Antes, no Jurássico, depositaram-se os arenitos eólicos da Formação Botucatu. Os derrames basálticos da Formação Serra Geral correspondem ao momento de abertura do *rift* que afastou os dois continentes (Moreton, 2001). Segundo Moreton (2001) os arenitos intertrapeados pelos derrames são geralmente lenticulares, com coloração rosa, vermelha e amarela e grãos bem selecionados, arredondados, contendo intercalações subordinadas síltico-argilosas.

A Formação Serra Geral aparece exumada em uma área escarpada na Sub-bacia do Queixada (Figura 10) entre as cotas 775 e 825m (Figura 12), demonstrando uma sobreposição ao arenito Botucatu neste setor. No mais predomina esta Formação, abaixo de 775m.

Associados à Formação Botucatu (arenitos essencialmente quartzosos) ocorrem os Neossolos Quartzarênicos (Figura 14) anteriormente denominados Areias Quartzosas. Apresentam seqüência de horizontes A-C, sem contato lítico dentro de 50cm de profundidade, apresentando textura arenosa ou arenosa franca nos horizontes até, no mínimo, a profundidade de 150cm a partir da superfície do solo ou até um contato lítico. São essencialmente quartzosos, apresentando nas frações areia grossa e areia fina 95% ou mais de quartzo, calcedônia e opala e, praticamente, ausência de minerais primários alteráveis (menos resistentes ao intemperismo) (Embrapa, 1999). Segundo Novaes et. al. (1982) são solos minerais, não hidromórficos de textura arenosa, muito profundos, pouco desenvolvidos, excessivamente drenados, formados

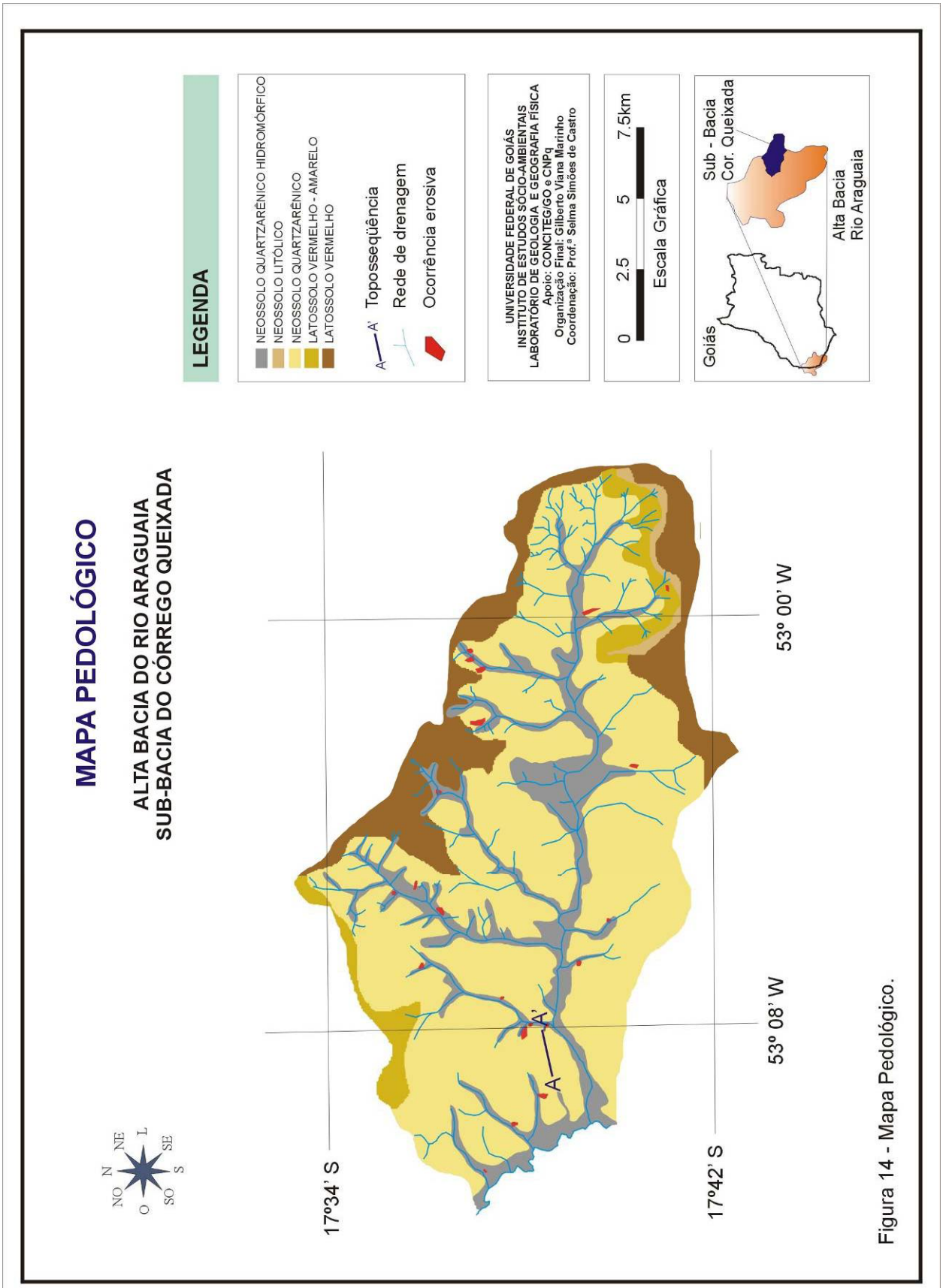


Figura 14 - Mapa Pedológico.

por material arenoso virtualmente destituído de horizontes minerais facilmente intemperizáveis.

Associados à Formação Serra Geral, na porção sudeste da bacia, ocorrem os Neossolos litólicos e os Cambissolos (Figura 14) nas escarpas. E logo abaixo, no depósito de tálus no sopé do *front*, com morfologia côncava (Figura 13), ocorre o Latossolo Vermelho-Amarelo (Figura 14), cujo material de origem é provavelmente alóctone, oriundo da contribuição dos derrames basálticos da Formação Serra Geral, em superfície geomórfica correspondente aos prolongamentos suavizados. Também associa-se ao Arenito Botucatu na porção noroeste da sub-bacia (Figura 10), no topo das chapadas com as cotas altimétricas variando comumente entre 775 e 825m e em dois trechos mais significativos, entre 825 e 875m (Figura 12). De acordo com Fleury (1975) a coloração amarelada dos solos está associada, na maioria das vezes, ao grau de hidratação dos óxidos de ferro. Esta cor indica condições mais úmidas que a vermelha.

Nas cotas inferiores (entre 725 e 775m e comumente entre 675 e 725m) ocorrem os Aluviões Holocênicos (Figura 10), originários do processo de erosão, transporte e deposição, sob agente aquoso, acomodados nos vales, se apresentando modelado geomorfológico denominado por Formas de Acumulação (Figura 11)

Os aluviões constituem-se por sedimentos inconsolidados, dominantemente arenosos, representados por areias, com níveis de cascalhos, e lentes de material silto-argiloso e turfa. Distribuem-se principalmente nas planícies de inundação e ao longo das drenagens de maior porte, com feições anastomosadas, verificadas na Bacia Hidrográfica do Rio Araguaia (Lacerda Filho, 2000).

Associados aos Aluviões Holocênicos ocorrem os Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos (Figura 14) (Embrapa, 1999), anteriormente denominados de Areias Quartzosas Hidromórficas. Segundo Novaes et. al. (1983) esta classe compreende solos hidromórficos minerais, areno-quartzosos, pouco desenvolvidos, imperfeitamente ou mal drenados, que possuem na fração areia, mais de 95% de quartzo. "Diferem das Areias Quartzosas por ter o lençol freático próximo à superfície, durante algum período do ano ou presença de hidromorfismo ao longo do perfil, como mosqueados e indícios de gleização" (p.472).

A faixa de contato entre os solos Neossolos Quartzarênicos e Neossolos Quartzarênicos Hidromórficos apresenta normalmente rupturas de declive côncavas (Figura 13) relacionado ao trabalho morfogenético de entalhamento do talvegue no Quaternário, sobretudo no Holoceno, que esculpiu os relevos desta sub-bacia, desde as coberturas Detrito-Lateríticas até chegar nas rochas do Arenito Botucatu.

Foi notada também em campo a ocorrência de Gleissolo associada a esta unidade, próximo aos cursos d'água. Em geral, a declividade das Formas de Acumulação varia de 0 a 3% . Segundo a antiga classificação, são solos hidromórficos gleizados, imperfeitamente a muito mal drenados, pouco profundos a profundos. Ocorrem em pequenas áreas, sujeitas a inundações, muito pouco explorados para finalidades agrícolas (Novaes et. al., 1983).

A maioria das ocorrências erosivas lineares de grande porte (voçorocas), comumente conectadas a cursos d'água, associam-se aos Neossolos Quartzarênicos, como já ressaltado e demonstrado por Barbalho (2002).

As Coberturas Detrito-Lateríticas Indiferenciadas (Figura 10) formam as superfícies pediplanadas (vide Figura 11) que elabora o trecho da porção leste dos divisores d'água da sub-bacia do Queixada. Grande parte dessas superfícies pediplanadas apresenta cotas altimétricas entre 775 e 825 metros, com algumas áreas entre 825 e 875 metros, esta, notadamente no setor sudoeste da sub-bacia (Figura 12).

Associadas a esta superfície pediplanada, adentrando a sub-bacia, ocorrem as superfícies de feições escarpadas, que formam os anfiteatros nos setores norte e leste/sudeste da sub-bacia. Nestes anfiteatros ocorrem os surgimentos de diversos cursos d'água, compreendidos como de 1ª ordem, que irão alimentar o canal principal, o Córrego Queixado.

Às Coberturas Detrito-Lateríticas associam-se os Latossolos Vermelhos, amarronzados, com estrutura variada e textura areno-argilosa, com predominância de hidróxido de ferro (goethita) e subordinadamente caolinita e gibsita e mostra o desenvolvimento de perfis lateríticos maturos e imaturos, em que ocorrem níveis de linhas de pedras (*stone lines*, sobressaindo os fragmentos angulosos de quartzo, geralmente dispostos na porção superior dos mesmos (Lacerda Filho, 2000)).

CARACTERÍSTICAS DO USO DAS TERRAS

O uso da terra compreende as diferentes formas que o homem ocupa e explora o solo para fins de produção e/ou subsistência e também as coberturas vegetais remanescentes ou naturais, alteradas (em degradação).

De acordo com a classificação de Magnago et. al (1983), a região de Savana foi generalizada como denominação para várias formações herbáceas da zona neotropical, intercaladas por pequenas plantas lenhosas até arbóreas, em geral serpenteadas por florestas-de-galeria. Esta região fitoecológica caracteriza-se pelas formações árboreas Densa e Aberta, Parque e Gramíneo-Lenhosa.

A vegetação da bacia do Córrego Queixada, conforme trabalhos anteriores e observações preliminares, atualmente se restringe a fragmentos de cerrados, em alguns pontos devido as formas dissecadas do relevo, a pequenas áreas de várzea (veredas) e em algumas nascentes. A área restante foi desmatada para a incorporação de novas terras à produção agrícola e pecuária, sobretudo nos últimos 30 anos.

Na sub-bacia do Queixada foram identificadas as seguintes formas de uso da terra: aproximadamente 50% da área é ocupada por vegetação de Savana: Arbórea Aberta, que ocorre na porção norte da sub-bacia e Arbórea Densa, na porção sul. Existem áreas consideráveis de matas ciliares nas porções norte, central e leste da sub-bacia. A oeste há um fragmento de regeneração de cerrado e os outros 50% da área são utilizados para fins agropecuários (Figura 15).

Savana Arbórea Aberta

É formação de subclímax, com pequenas árvores esparsas entre 2 a 5m de altura, espalhadas e bastante tortuosas, dispersas sobre um tapete contínuo de hemicriptófitas, intercaladas de plantas arbustivas baixas e outras lenhosas rasteiras, geralmente providas de xilopódios[1] (Rachid, 1947 apud Magnago et. al., 1983).

[1] O xilopódio é um órgão perene, que permite às plantas resistirem a condições ambientais inclementes [de queimadas]. (Aurélio, 1997)

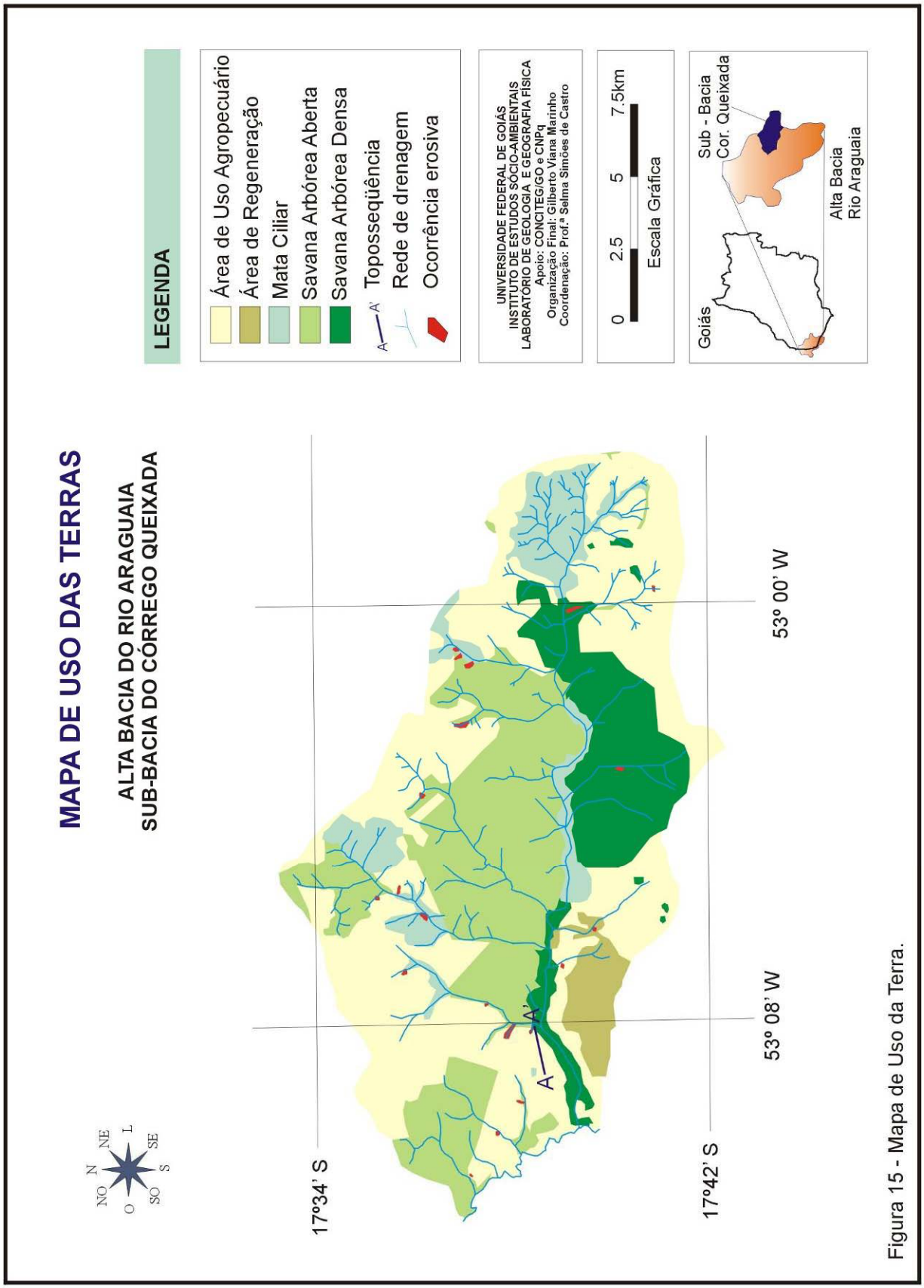


Figura 15 - Mapa de Uso da Terra.

É uma formação campestre com arvoretas (*scrub*) exclusivas das áreas areníticas lixiviadas, em geral com queimadas periódicas. A sua composição florística é semelhante à da Savana Arbórea Densa, mas de estrutura mais aberta e bem mais baixa (+- 5m). No Centro Oeste é chamado de Campo Cerrado sendo caracterizado por um contínuo tapete gramíneo-lenhoso, entremeado de árvores gregárias, geralmente raquíticas e/ou degradadas pelo fogo anual (Veloso & Goés Filho, 1982 apud. Magnago et. al., 1983).

Savana Arbórea Densa

É uma formação clímax do tipo Savana Arbórea, comumente com um pouco mais de 5 m de altura, árvores densamente dispostas, mas cujas copas não se tocam, sem um nítido estrato arbustivo e com um tapete graminoso ralo, em tufos, onde frequentemente se intercalam palmeiras anãs e plantas lenhosas rasteiras (Veloso et. al, 1974, *apud* Magnago et. al., 1983)

A Savana Arbórea Densa é uma formação campestre e florestada com árvores baixas exclusivas das áreas areníticas lixiviadas do clima tropical, eminentemente estacional. No Brasil é também conhecida por Cerradão e sua principal característica estrutural é arbórea, xeromórfica, de esgalhamento profuso, providas de grandes folhas coriáceas e perenes e casca corticosa, sem estrato arbustivo nítido e com um tapete graminoso hemicriptofítico em turfos, entremeados de plantas lenhosas raquíticas providas de xilopódios e palmeiras anãs (Veloso & Góes Filho, 1982, *apud* Mangnago et. al., 1983).

Quanto ao uso da terra apresenta-se de forma bem diversificada, sobretudo na área que corresponde ao Neossolo Quartzarênico, pois esta abrange a maior área em relação a outras unidades pedológicas da sub-bacia do Queixada (Figura 15).

De uma maneira geral, as áreas destinadas à produção agropecuária ocupam aproximadamente 60% da área da sub-bacia. As porções leste e oeste da sub-bacia são as mais ocupadas para a agricultura e pecuária.

Os topos pediplanados (chapadas) são os mais intensamente utilizados para a produção agrícola motomecanizada, pois, apesar de possuírem solos ácidos, são

profundos e passíveis de correção por calagem e fertilizantes químicos. O limite de utilização dessas áreas chega até as bordas dos platôs, o que demonstra a sensibilidade em o ambiente está prediposto devido à interferência antrópica. As áreas planas que contornam esta sub-bacia são intensamente utilizadas para a produção agrícola, no qual se emprega o uso de máquinas agrícolas, como tratores, plantadeiras e colheitadeiras. Lembrando que a utilização destas máquinas também ocorre também em outras áreas de relevo um pouco mais acidentado.

Matas Ciliares

Ocupam notadamente áreas ribeirinhas de acumulações quaternárias. Apresentam árvores de porte médio a alto (5-7m), com menos tortuosidades do que a Savana.

Compõem os resquícios de vegetação menos atacados pela pressão antrópica, pois devido ficarem próximas aos sinuosos cursos d´água, que apresentam terraços com vertentes muitas vezes côncavas e íngremes, são destinadas das na maioria das vezes à conservação, inclusive para compor os 20% de áreas de reserva legal da propriedade rural. Entretanto, em vários lugares nota-se a eliminação total ou parcial dessas faixas de matas ciliares.

Áreas de Produção Agropecuária

São áreas antropizadas destinadas à produção de grãos e criação de gado, normalmente em latifúndios. No primeiro caso, a modernização da agricultura, com o uso de máquinas de grande porte e agroquímicos (fertilizantes, defensivos, secantes, etc.) é incorporado no plantio a fim de elevar-se a produtividade por área, o que por outro lado causa um efeito muito impactante e devastador na paisagem natural e na população envolvida, principalmente de natureza social relacionada à saúde e ao bem-estar.

Quanto a criação de gado, que é na maioria dos casos extensiva, tem-se enormes áreas, principalmente aquelas moderadamente onduladas, forradas por *Brachiaria spp* (braquiária) e *Panicum maximum* (colonião) que apresentam maiores

valores nutricionais, tornando possível a pastagem de um número maior de reses por hectare, do que seria com outro tipo de capim.

O modelo de produção agrícola que presenciamos atualmente na bacia do Córrego Queixada foi incorporado no decorrer dos anos 70, sob o incentivo da modernização da agricultura, viabilizada por diversos programas de financiamento para que máquinas e insumos agrícolas fossem cada vez mais adquiridos pelos proprietários goianos, mineiros e sulistas, estes que passaram a ocupar notavelmente esta região da Alta Bacia do Rio Araguaia e entorno, desde então.

As áreas de pastagem, que desde o início do séc. XIX vinham sendo utilizados para a produção extensiva de gado, foram aumentadas consideravelmente para essa prática e também para produção agrícola.

Os topos aplanados das chapadas, onde dominam os latossolos, foram as áreas mais intensamente ocupadas, e a vegetação natural foi totalmente dizimada, substituída pelo cultivo de grãos, notadamente a soja, e mais recentemente, o algodão, as que mais se mostraram praticáveis, isso em razão do mercado rentável e de toda uma (infra) estrutura planejada e organizada para essa finalidade. Além dessas, o milho, o sorgo e o arroz também são cultivados, entretanto em menor escala do que as anteriores.

Nas áreas dissecadas, de solo arenoso (Neossolo Quartzarênico), são plantados grãos em caráter rotativo e em consórcio com as pastagens. A utilização de terraceamento ou *murundus* são práticas comuns nesse tipo terreno.

Veredas

Vereda é a fitofisinomia onde ocorre a palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* (buriti), em meio a agrupamentos mais ou menos densos de espécies arbustivo-herbáceas. As veredas são circundadas por Campo Limpo, geralmente úmido, em solos HIdromórficos e os buritis não formam dossel como ocorre no Buritizal. Na vereda os buritis caracterizam-se por altura média de 12 a 15 metros e a cobertura varia de 5 a 10% (Ribeiro e Walter, 1998).

As Veredas são encontradas em solos hidromorfizados, saturados durante a maior parte do ano. Em geral, ocupam os vales ou áreas planas acompanhando linhas de drenagem mal definidas, geralmente sem murundus. São comuns também numa posição intermediária do terreno, próximas às nascentes, ou na borda de Matas de Galeria (Ribeiro e Walter, 1998).

Áreas de regeneração

Algumas áreas de regeneração de cerrado foram evidenciadas na porção sudoeste da sub-bacia. Provavelmente são posteriores ao esgotamento da fertilidade natural do solo, que tornou inviável a continuação da atividade agropecuária nessa área e que se recompôs naturalmente. Esses locais seriam ideais para o estabelecimento de áreas de conservação.

CAPÍTULO IV

CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-HÍDRICA DOS SOLOS DA TOPOSSEQÜÊNCIA PARAÍSO, NA MICROBACIA DO CÓRREGO CAPIVARA

A microbacia do Córrego Capivara, afluente do córrego Queixada e este do Rio Araguaia, comporta as propriedades do Sr. Nelson Kalina e do Sr. Luís Carlos Carvalho, que possui a Fazenda Paraíso, onde se insere a área de monitoramento de estudo em detalhe.

A área em questão situa-se na porção oeste meridional na Sub-Bacia do Queixada, próxima a esta e ao leito principal do Rio Araguaia, segundo a escala em que se observa nas figuras anteriormente apresentadas.

A microbacia em estudo apresenta área extensa com cerrado na margem esquerda do Córrego Capivara e pastagem com pecuária extensiva dominante (gado Nelore para corte), e, cultura de soja e sorgo, dominantes na margem direita, onde se insere a vertente selecionada para o estudo detalhado; escolhida por apresentar rampas longas e retilíneas, que são corriqueiras na Alta Bacia do Rio Araguaia e por conter o maior número de ocorrências erosivas de médio e grande porte, associadas à pastagem.

A Figura 16 mostra a vertente da microbacia do Córrego Capivara, área de estudo, onde se realizaram as sondagens, abertura de trincheiras, levantamento topográfico e monitoramento piezométrico.

O topo da vertente apresenta um fragmento de vegetação arbórea, que certamente serve de refúgio para o gado em momentos de alta insolação. Ao longo da vertente encontra-se pastagem rala, com vários arbustos e gramíneas do cerrado. Ao fundo de vale, ou várzea, a faixa coberta por vegetação apresenta largura aproximada de 50m, do lado que compreende esta vertente. Do lado oposto, a vegetação se encontra preservada.

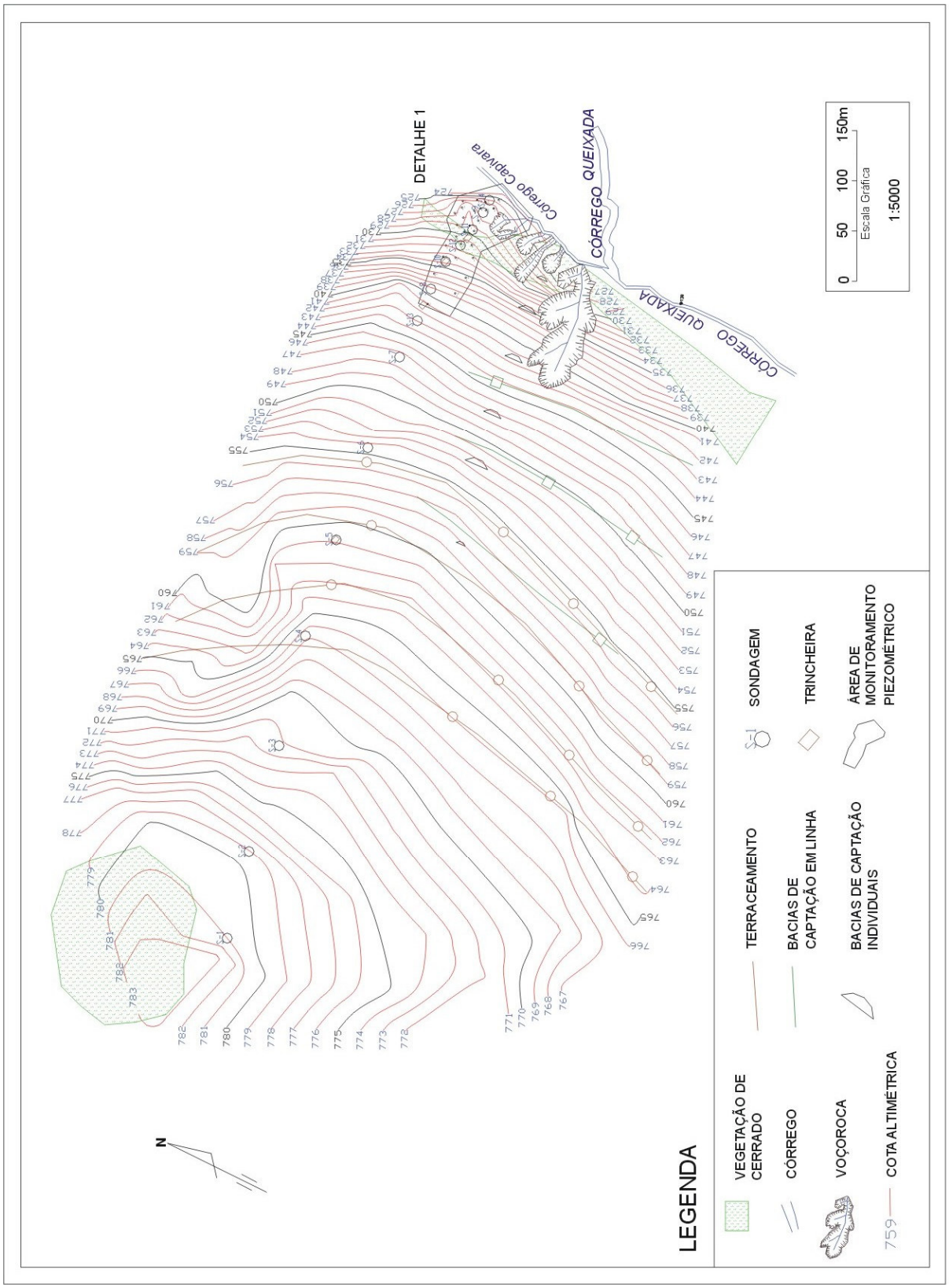


Figura 16 - Área de Estudo - Vertente da Microbacia do Córrego Capivara.

Ao final de 2002 a fim de realizar o controle erosivo foram efetuadas práticas de caráter mecânico. Na meia encosta foram dispostos em nível, terraços com base e altura de 2 metros aproximadamente, também denominados de "murundus", e reservatórios de retenção em linha e individuais, mais à jusante, acima da cabeceira da Voçoroca Paraíso. Estas alterações no terreno são utilizadas para reter ou diminuir o escoamento pluvial que incidiria na incisão erosiva, forçando-o a infiltrar.

Observou-se que os reservatórios de retenção se encontravam bem assoreados. Tendo em vista o pouco tempo de sua execução, permite deduzir acentuado escoamento superficial, com respectivo efeito erosivo laminar; estes associados à cobertura rala de pastagem sobre um solo friável de granulometria fina a muito fina, passível de selagem superficial sob efeito *splash*, favorecendo o escoamento hídrico laminar, e também concentrado em trilhas de gado em sentido do topo ao fundo de vale, formando sulcos erosivos. Principalmente a partir da ruptura de declive, a área de várzea se encontra muito desconfigurada por processos erosivos, inclusive pela Voçoroca Paraíso, já mencionada.

A Toposseqüência Paraíso possui 840m de comprimento formando uma vertente plana muito suavemente ondulada nos terços superior e médio, e convexa no terço inferior, neste caso, numa possível área de deposição aluvionar pretérita. As cotas altimétricas variam de 702 a 772m, ou seja, 70m de desnível do topo ao sopé, o que gera um declive médio de 8,3% ou 5º, sendo que no terço inferior esse valor é um pouco maior (Figura 17).

CARACTERIZAÇÃO MACROMORFOLÓGICA DOS SOLOS

A toposseqüência Paraíso (Figura 17) revela a existência, de montante para jusante, dos seguintes solos:

a) Neossolo Quartzarênico de textura arenosa fina, muito porosa, friável, de coloração acinzentada na superfície e Bruno amarelado, Bruno forte e Vermelho amarelado em profundidade;

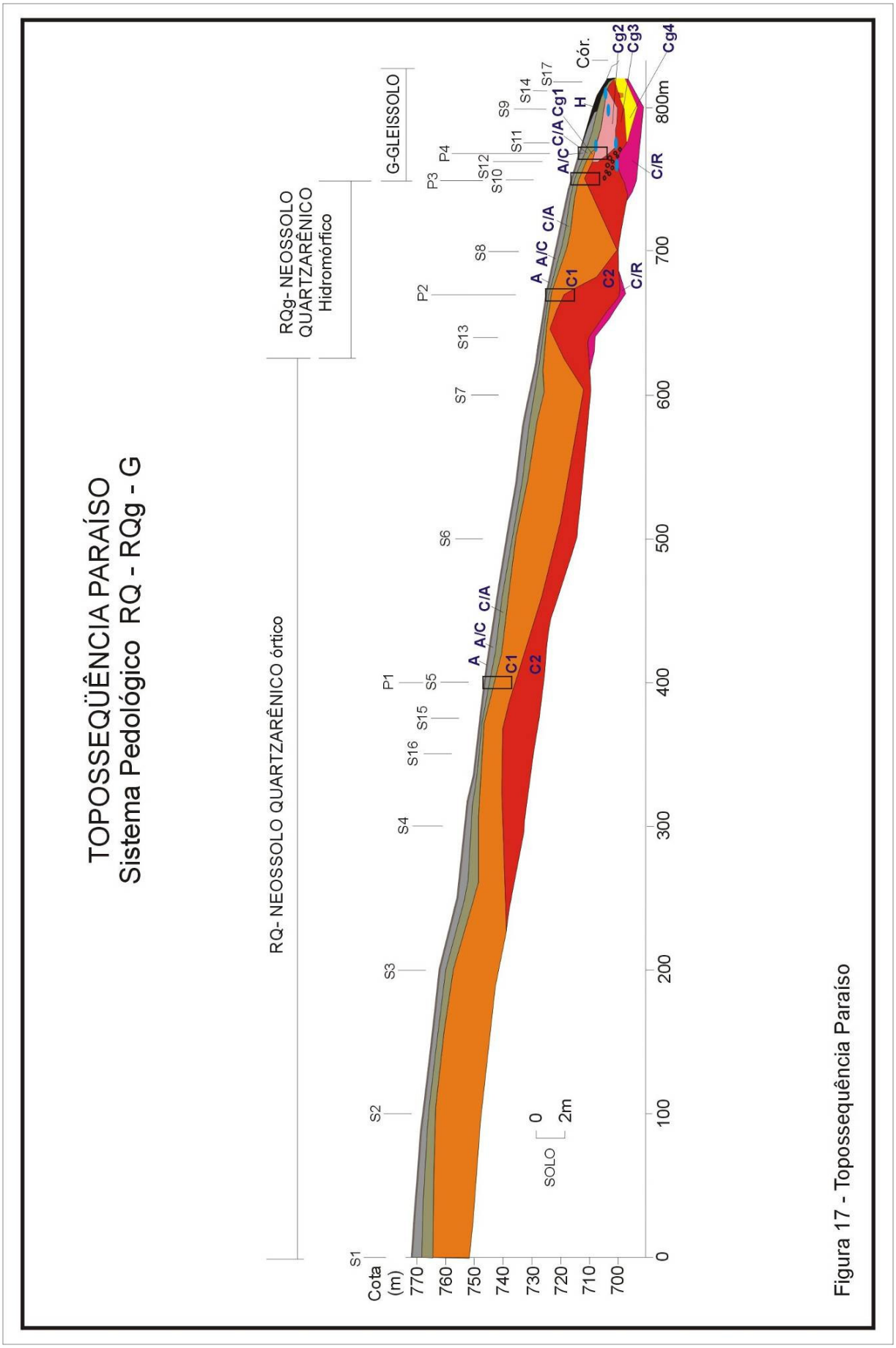


Figura 17 - Toposseqüência Paraíso

CONVENÇÕES CARTOGRÁFICAS

S1 - Sondagem

- P1 - Perfil de solo (trincheira)

- NA -Nível d'água

Nódulos concrecionários

LEGENDA

(RQ) NEOSSOLO QUARTZARÊNICO

A Horizonte A - Bruno amarelado (10YR 4/4 e 5/4); arenoso fino; blocos subangulares médios a grandes; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; presença de pequenos volumes de areia lavada em 60-80cm a montante, aprofundando-se até S6 (30-300cm); transição gradual plana.

A/C Horizonte A/C - (10 YR 6/3.5); numerosos volumes arredondados (pedotúbulos) em 10 YR 4/2, areia franca; sem estrutura, maciça incoerente; solta, friável, não plástica e não pegajosa; porosidade intergrãos; raízes fasciculares finas comuns; areia lavada esbranquiçada associados aos pedotubulos; transição gradual e plana.

C/A Horizonte C/A - Bruno amarelado (10 YR 5/4); arenoso; maciço incoerente; porosidade intergrãos; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; raízes fasciculadas finas muito poucas; volumes de pedotúbulos brunos contrastados com volumes de areia lavada; transição gradual plana.

C1 Horizonte C1 - Bruno a Bruno forte (7.5YR 5/4 e 5/6; areia franca; maciça incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; transição difusa plana.

C2 Horizonte C2 - Bruno forte (7.5YR 5/6 e 5/8) e Vermelho amarelo (5YR 5/8) em S16 e S15); areia franca; maciça incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso.

(RQg) NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Hidromórfico

A Horizonte A - Bruno amarelado (10YR 5/4) a Bruno (10YR 5/3) para jusante; arenoso fino; blocos pequenos e muito pequenos fracos em 0-3cm e maciça incoerente abaixo; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso, transição gradual plana.

A/C Horizonte A/C - Bruno (10 YR 6/3); arenoso; blocos subangulares médio a pequenos (20-5mm) fraca; ligeiramente duro, friável, não plástico e não pegajoso; porosidade intergrãos tubular pouco fina; raízes fasciculadas muito finas comuns;, transição clara ondulada.

C/A Horizonte C/A - Bruno claro (7,5 YR 6/4) arenoso; maciça incoerente; solto, numerosos volumes brunos milimétricos, alguns pedotúbulos centimétricos brunos moderadamente contrastados e resíduos agregados do horizonte A, similares aos agregados do horizonte A/C; muito friável, não plástico e não pegajoso; raízes fasciculadas finas, muito finas poucas, raras pivotantes; transição clara plana.

C1 Horizonte C1 - Bruno forte (7.5YR 5/6 e 5/8); arenoso; maciça incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; transição difusa plana.

C2 Horizonte C2 - Vermelho amarelo (5YR 5/6 e 5/8); com um pouco de argila e algumas manchas de areia lavada; maciça incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; entre 220-260cm aparecem nódulos concrecionários centimétricos avermelhados; transição gradual irregular.

C/R Horizonte C/R - Vermelho (2YR 5/8) arenoso; maciça incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso.

(G) GLEISSOLO

H Horizonte A hístico turfoso - Preto (2.5Y/1); com matéria orgânica e raízes fasciculadas finas em decomposição; arenoso fino, argilo-arenoso e argilo-siltoso à jusante; blocos arredondados pequenos e muito pequenos fracos; plástico e pegajoso.

A/C Horizonte A/C - Bruno amarelado escuro (10YR 4/4); arenoso fino; blocos pequenos e muito pequenos fracos em superfície e maciça abaixo; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; transição gradual plana.

C/A Horizonte C/A - Bruno acinzentado (10 YR 6/3); arenoso; com volumes em 7,5 YR 5/6 irregulares esparsas relacionados a oscilação NA; porosidade tubular fina e muito fina abundante; canais de formigas centimétricas, raízes fasciculadas finas a muito finas comuns; friável, não plástico e não pegajoso; transição clara plana.

Cg1 Horizonte Cg1 - Bruno forte (7.5YR 5/8); areia franca; maciça; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; transição gradual plana.

Cg2 Horizonte Cg2 - concrecionário, Vermelho amarelo (5YR 5/6, 5/8); arenoso; maciça incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; apresenta nódulos ferruginosos e de argila centimétricos 170-230cm; aparece o lençol suspenso em 250cm na porção mediana desta unidade e entre 40 e 90cm na porção inferior, aproximando-se do córrego Capivara; transição gradual plana.

Cg3 Horizonte Gleizado - Saprólito grosso 1 - Bruno avermelhado claro (2.5YR 7/4) e vermelho claro; areia grossa com manchas róseas e avermelhadas e nódulos subcentimétricos duros; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; Ocorre lençol suspenso neste horizonte.

Cg4 Horizonte Gleizado - Saprólito grosso 2 - Amarelo (10YR 7/6, 7/8); areia grossa com nódulos róseos a avermelhados; maciça incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso; transição difusa irregular.

C/R Horizonte C/R - Vermelho (2.5YR 5/8, 4/8 abaixo); arenoso; maciça incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso.

b) Neossolo Quartzarênico Hidromórfico com as cores Bruno amarelada, Bruno forte, Vermelho amarelo e Vermelho, textura arenosa fina, porosidade intergrãos, e, com manchas de areia lavada e nódulos concrecionários; e

c) Gleissolo no fundo de vale, com horizonte cinza bem escuro devido à presença de matéria orgânica, podendo ser turfoso, como constatado bem próximo ao córrego, sobre horizonte argiloso, cinza. No sopé, nesse solo, o ambiente é úmido ou saturado tanto em superfície como em subsuperfície.

Estes solos estão assentados sobre arenitos róseos e avermelhados da Formação Botucatu, estes apresentando estratificações planas e cruzadas, em geral com grãos finos e uniformes, conforme observações nos taludes das erosões e nas sondagens realizadas em trabalho de campo.

Com base nas sondagens e descrição de trincheiras foi possível caracterizar macromorfologicamente os solos da Topossequência Paraíso (Vide Figura 17) da seguinte forma:

Neossolo Quartzarênico órtico (RQ)

Ocorre no terço superior e médio da vertente, com declividade máxima em torno de 5%, onde se encontra. É recoberto um pequeno fragmento de cerrado arbóreo no topo e pastagem rala (brachiária) para criação bovina, ao longo da vertente.

É profundo, excessivamente drenado, com textura arenosa, originário do Arenito Botucatu, com grãos finos a muito finos, e insignificante participação de material orgânico e atividade biológica. Observa-se presença de poucas raízes, a pequena profundidade, e resquícios vegetação do cerrado (Foto 03).

Apresenta um perfil de alteração bem homogêneo, com cores Bruno amarelado (10YR 4/4, 5/4) em superfície e Bruno forte (7.5YR 5/6 e 5/8) logo abaixo. Em S16 e S15 surge a coloração Vermelho amarela (5YR 5/8). Apresenta partículas finas a muito finas, com blocos subangulares médios a grandes no horizonte A e maciça incoerente no A/C e C/A, maciça no C1 e novamente maciça incoerente no C2. Em todo perfil apresenta porosidade intergrãos; muito friável; não plástico e não

pegajoso. Aparecem algumas zonas de areia lavada em 60-80cm na porção jusante, que, aprofundam-se em mais de 300cm em direção montante (S6).

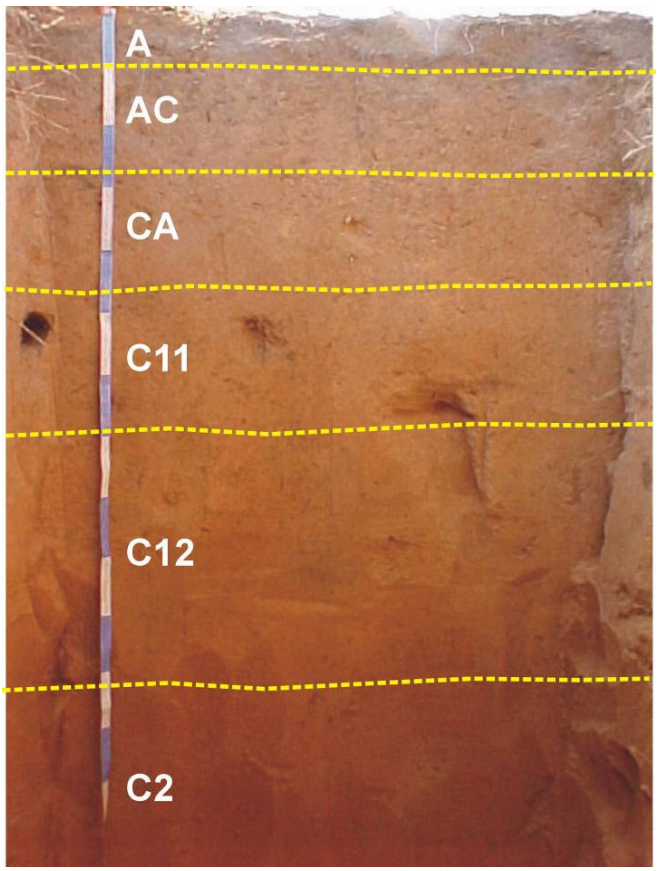


Foto 03 – Perfil do Neossolo Quartzarênico órtico, com estrutura maciça, pouco coeso e composto basicamente por grãos simples.

Neossolo Quartzarênico hidromórfico (RQg)

Está situado logo abaixo do terço médio da vertente, com declive próximo a 8%. O uso da terra consiste em pastagem rala e uma pequena faixa de cerrado arbóreo aberto junto ao Córrego Capivara.

O horizonte A é Bruno amarelado (10YR 5/4) passando a jusante para Bruno (10YR 5/3); arenoso fino, com estrutura em blocos pequenos e muito pequenos

fracos, blocos subangulares médios a pequenos em A/C e maciça abaixo. Todo o perfil apresenta porosidade intergrãos; friável, não plástica e não pegajosa (Foto 04).

Em C1 é Bruno forte (7.5YR 5/6), com areia franca, maciça, incoerente. Em C2 é Vermelho-amarelo (5YR 5/6 e 5/8), com um pouco de argila e algumas manchas de areia lavada; próximo à transição lateral para o Gleissolo, em 220 cm de profundidade, aparece nível concrecionário com nódulos vermelhos - escuros ou amarelados, fragmentos de arenito alterado e nódulos centimétricos óxido de ferro e nódulos até 3 cm de argila um pouco abaixo; porosidade intergrãos; não plástica e não pegajosa. Mais abaixo, em C3, a coloração é vermelha (2YR 5/8), arenoso; maciça, incoerente; porosidade intergrãos; friável, não plástico e não pegajoso (Foto 04).

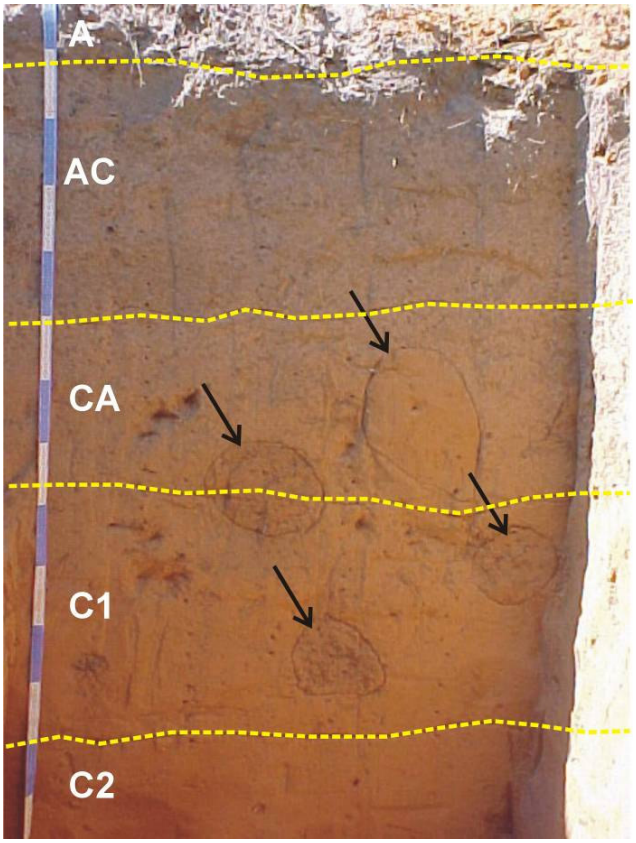


Foto 04 - Perfil do Neossolo Quartzarênico hidromórfico. Notar a formação de feições estruturadas decorrentes da subida do lençol freático.

Gleissolo (G)

Está situado no terço inferior da vertente no fundo de vale, inundado durante o período chuvoso, e muito úmido durante quase todo o ano. A vegetação que o recobre é formado por espécies herbáceas de folhas finas.

É profundo, mal drenado, arenoso nos horizontes superiores e areno-argiloso nos inferiores, sendo mais argiloso na zona de enxarcamento. Este solo apresenta 8 horizontes, sendo o mais heterogêneo dentre o sistema pedológico, certamente pela concentração de fluxos hídricos subterrâneos e pela posição topográfica ao fundo de vale (Foto 05).

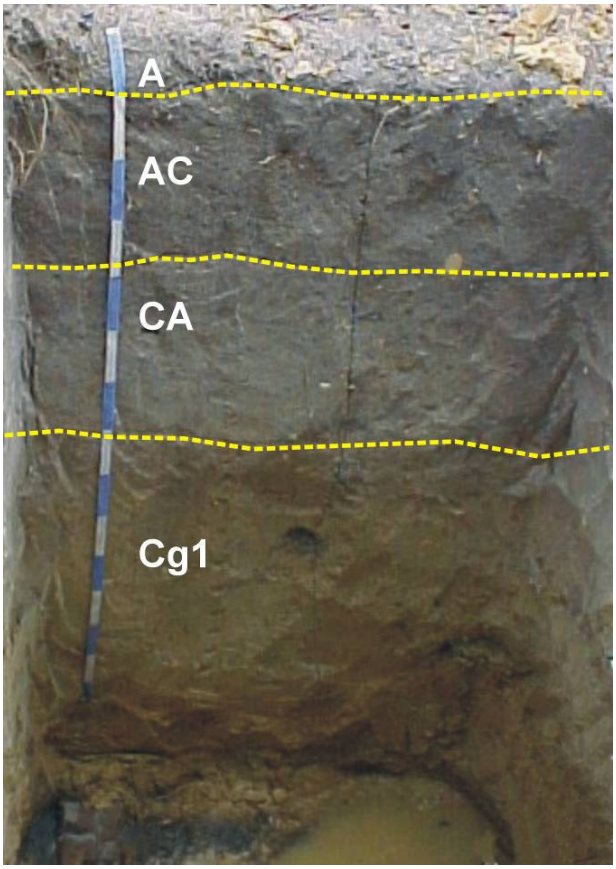


Foto 05 – Perfil do Gleissolo. Notar mudança abrupta de coloração entre o horizonte CA (cinza) e o horizonte Cg1(bruno amarelado), decorrente da saturação pelo nível freático.

Entre S10 e S12 apresenta horizonte A, Bruno Amarelado (10YR 4/4) e Bruno (10YR5/3), arenoso, fino, blocos arredondados, pequenos a muito pequenos fracos, porosidade fissural interagregada dominante, muito friável, não plástico e não pegajoso; muitas raízes fasciculadas finas.

Em superfície, tem-se o horizonte Hístico, preto (2Y 2.5/1), com matéria orgânica em decomposição e raízes fasciculadas finas, arenoso fino, blocos arredondados pequeno e muito pequenos e fracos. É friável quando úmido, e não plástico e não pegajoso quando molhado.

O horizonte de transição A/C compreende o material Bruno amarelado escuro (10YR 4/4), arenoso fino, blocos pequenos e muito pequenos fracos em superfície e maciça abaixo; porosidade integrãos; muito friável, não plástico e não pegajoso.

Abaixo aparecem os horizontes gleizados: Cg1, Cg2, Cg3 (saprólito grosso 1) e Cg4 (saprólito 2).

O Cg1 apresenta cor Bruno forte (7.5 YR 5/8), areia franca, sem estrutura, porosidade intergrãos, friável, não plástico e não pegajoso.

O Cg2 é concrecionário, com coloração Vermelha-amarela (5YR 5/6, 5/8) e demais características físicas semelhantes ao anterior. Em S10 e S12, aparecem nódulos concrecionários centimétricos e alguns nódulos de até 03cm de argila em 170-230cm, com nível d´água em 280-300cm. Aparece o lençol suspenso em 250cm, na porção mediana desta unidade pedológica, sendo que na porção inferior aparecem em 40-90cm, aproximando-se do curso d'água.

No horizonte Cg3 (saprólito grosso 1) a cor é Bruno avermelhado claro (2.5 YR 7/4) e vermelho claro, areia grossa com manchas róseas a avermelhadas e nódulos subcentimétricos duros, inclusive sob efeito da oscilação do lençol.

O horizonte Cg4 (saprólito grosso 2), apresenta coloração amarela (10YR 7/6, 7/8) com areia mais grossa e nódulos róseos a avermelhados, sem estrutura, maciça, incoerente, porosidade intergrãos, friável, não plástico e não pegajoso.

A rocha alterada aparece com a cor vermelha (2.5YR 5/8, 4/8 abaixo), arenosa, sem estrutura, maciça incoerente, porosidade intergrãos, friável, não plástica e não pegajosa.

A descrição morfológica dos solos obtida com furos de tradagem e abertura de trincheira ou perfil de solo é apresentada no **Anexo A.**

Caracterização micromorfológica

A observação micromorfológica foi realizada em 22 lâminas delgadas, elaboradas a partir de amostras inderformadas coletadas dos horizontes de solo de 04 perfis de solo ao longo da toposseqüência (Quadro 03).

A seguir serão apresentadas algumas características micromorfológicas de cada perfil de solo, inerentes ao comportamento de circulação hídrica interna, como porosidade e distribuição de base, que possam subsidiar o entendimento do funcionamento físico-hídrico dos solos que compõem este sistema pedológico.

O **Perfil de Solo (P1)** situa-se a 400m abaixo da sondagem S1 da toposseqüência (rever Figura 17), caracterizado como **Neossolo Quartzarênico órtico**.

As observações micromorfológicas mostram que em todos os horizontes do Perfil 01 (P1) o esqueleto apresenta grãos de quartzo finos e muito finos, angulares e subangulares, rugosos e ondulados na porção superficial e arredondados e subarredondados, alisados e ondulados no restante do perfil. Em todas as lâminas, os grãos apresentam-se esféricos e subesféricos, sendo que, da superfície até o horizonte C12 (90-97cm), aparecem grãos de quartzo fraturados.

VER ARQUIVO "QUADRO 03 – CARACTERES MICROMORFOLÓGICOS"

A Figura 18 mostra a distribuição dos elementos constituintes do fundo matricial ao longo do Perfil de Solo 01 (P1).

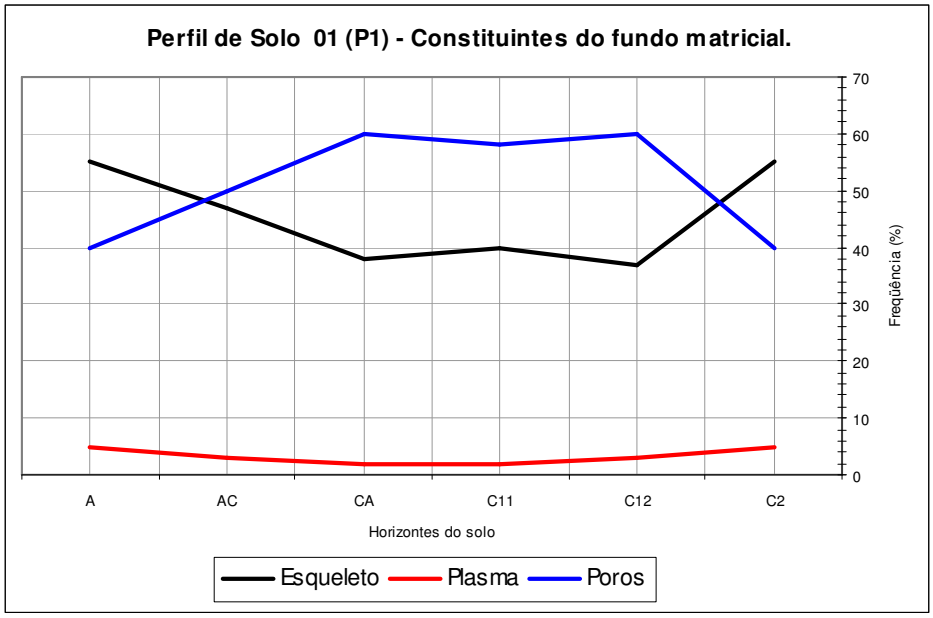


Figura 18 – Distribuição dos constituintes do fundo matricial no Perfil de Solo 01 (P1).

O plasma é argilo-orgânico de coloração marrom escura até aproximadamente 20cm de profundidade (horizontes A e AC) e argilo-férrico de coloração marrom amarelada no restante do perfil. Em todo perfil se apresenta opaco sob nicóis cruzados e com distribuição é aleatória. Sua freqüência não é muito significativa, ocorrendo com cerca de 4% ao longo de todo o perfil.

A porosidade no horizonte A é de 40 % em razão do forte adensamento das partículas pelas atividades agropecuárias. Abaixo deste horizonte ocorre um aumento moderado da porosidade, 60% em CA, mantendo-se até C12, e em contrapartida, ocorre a diminuição da freqüência do esqueleto no mesmo momento. A porosidade é intergrãos ou de empilhamento simples, cujos diâmetros são do tipo macroporos finos, fortemente comunicantes em todo perfil, ressaltando que apresenta mais adensado em superfície. Ocorrem alguns poros planares em AC e CA devidos a atividade radicular, posteriormente substituída pela circulação hídrica, e também de

alguns pedotúbulos do tipo granotúbulos com preenchimentos soltos contínuos em A e em C (150-180cm).

A distribuição de base do tipo Mônica com participação em superfície e em C de algumas tramas Gefúricas. Não formam muitos agregados, sendo que, ocorre o predomínio de microestruturas do tipo grãos simples.

O **Perfil de Solo 02 (P2)** situa-se a 675m abaixo da sondagem S1 da Toposseqüência (rever Figura 17) correspondendo ao **Neossolo Quartzarênico hidromórfico**.

No Perfil de Solo 02 (P2) os grãos de quartzo são em geral finos e muito finos, bem selecionados, sendo que, são moderadamente adensados no horizonte A. Em geral, são angulares e subangulares, subesféricos e subalongados, respectivamente, desde A até o horizonte CA, e arredondados e subarredondados, subesféricos e subalongados, respectivamente, no C. Apresentam superfícies rugosas no A e CA, e alisadas em AC e C, com fraturamentos apenas em AC.

O plasma é argilo-orgânico de coloração marrom escura até aproximadamente 23cm de profundidade (horizontes A e AC) e argilo-férrico de coloração marrom amarelada no restante do perfil. Em todo perfil se apresenta opaco sob nicóis cruzados e com distribuição é aleatória. Sua freqüência é de aproximadamente de 6% ao longo de todo o perfil, sendo um pouco mais reduzido nos horizontes AC e CA, com 3% (ver Figura 20 adiante).

Apresenta distribuição aleatória de algumas cimentações e algumas pontes de plasma que formam pequenas tramas Gefúricas em todo o perfil. De acordo com a Figura 20 ocorre um sensível aumento da quantidade de plasma a partir do horizonte CA para o C, provavelmente devido a processos de iluviação.

A Figura 20 mostra a distribuição dos constituintes do fundo matricial do Perfil de Solo 02 (P2).

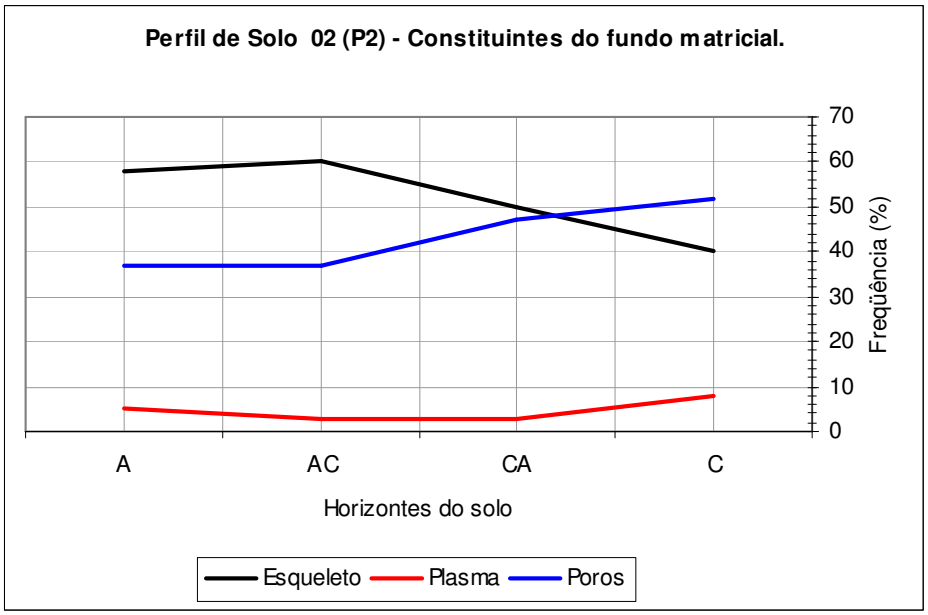


Figura 20 – Distribuição dos constituintes do fundo matricial no Perfil de Solo 02 (P2).

Notar uma moderada redução do esqueleto e aumento da porosidade em profundidade, a partir do horizonte AC. A porosidade é do tipo intergrãos, de empilhamento simples, constituída por macroporos finos, moderadamente comunicantes em A e AC, e fortemente comunicantes nos demais horizontes. Em C forma-se um canal médio, de origem radicular.

A distribuição de base é do tipo Mônica com participação de algumas tramas Gefúricas de A até CA, com exceção do horizonte C que apresenta distribuição de base do tipo Quito-gefúrica, devido à presença de um pouco mais de argila férrica.

As microestruturas são do tipo grãos simples nos horizontes A, AC, CA (também com grãos com pontes) e C11; grãos com películas em C12 e C.

O **Perfil de Solo 03 (P3)** situa-se a 750m abaixo da sondagem S1 da Toposseqüência Paraíso (rever Figura 18) correspondendo a **transição entre o Neossolo Quartzarênico hidromórfico e o Gleissolo**.

Os grãos de quartzo dos horizontes A, C2, C3 e C4 são finos e muito finos, arredondados e subarredondados, enquanto dos demais horizontes são subangulares e subarredondados. São subesféricos e subalongados, com superfícies rugosas e onduladas em quase todo o perfil, havendo o fraturamento de grãos nos horizontes AC, C1, C2 e C3.

A Figura 20 mostra a distribuição dos constituintes do fundo matricial do Perfil de Solo 03 (P3).

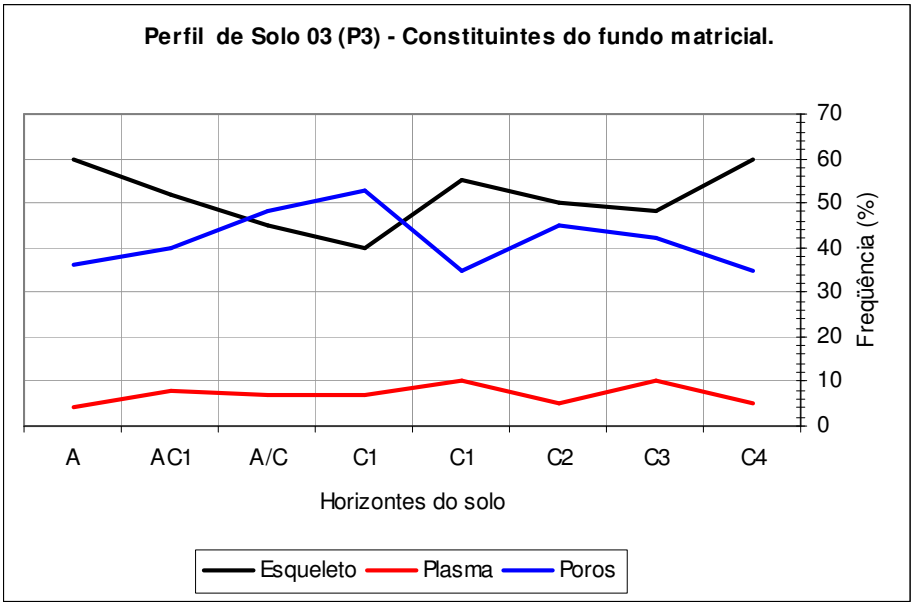


Figura 20 – Distribuição dos constituintes do fundo matricial no Perfil de Solo 03 (P3).

De uma forma geral, a freqüência do esqueleto se destaca na porção superficial, diminuindo na porção mediana do perfil e retornando, em C4 à mesma freqüência de 60%, igual ao horizonte A; e com a porosidade ocorre situação oposta da que ocorre com o esqueleto, pois aumenta na porção mediana do perfil, chegando a 53%, sendo que em superfície e na base do perfil apresenta cerca de 35% de freqüência.

No horizonte C1 foram realizadas duas coletas de amostras, o que resultou em duas situações distintas na constituição do fundo matricial (Figura 20). Na primeira amostra, prepondera a porosidade em relação ao esqueleto e o plasma, na segunda, o

esqueleto é que se destaca. Esta amostra de maior porosidade se refere a uma feição estruturada mostrada na Figura 20 (Foto 04 - Perfil de Solo 03 – P3), elaborada por atividade hidrológica e/ou biológica.

O plasma é argilo-férrico de coloração marrom amarelada em todo o perfil, opaco sob nicóis cruzados e com distribuição aleatória. Sua freqüência é de aproximadamente 7% formando algumas cimentações ao longo de todo o perfil.

A porosidade é do tipo intergrãos, de empilhamento simples, fortemente comunicantes, nos horizontes A, AC, CA, C1, C2 e C3, do tipo macroporos finos e médios, estes, ocorrendo mais em profundidade. Em C2 aparecem alguns canais surgidos a partir de raízes, e em C4, a porosidade se apresenta moderamente comunicante, em razão do adensamento das partículas.

A distribuição relativa é do tipo Quito-gefúrica com transição para Mônica em A, AC, C1, C2 e C4; Quitônica e Quito-gefúrica em AC com transição para Mônica; e Quito-gefúrica em C3 (Quadro 03).

As microestruturas predominantes são do tipo grãos simples e grãos com pontes em A, AC e C1; grãos simples e grãos com películas em CA; grãos com pontes em C1; grãos com películas e com pontes em C2; e grãos com películas em C3 e C4.

O **Perfil de Solo 04 (P4)** localiza-se 775m abaixo da S1, na Toposseqüência Paraíso (Figura 17) correspondendo ao **Gleissolo**.

Os grãos de quartzo que constituem o esqueleto são finos e muitos, bem selecionados em todo o perfil; são subarredondados e subangulares no horizonte A, e subangulares e angulares nos demais horizontes; são subesféricos e subalongados em todo perfil, apresentando superfícies rugosas e onduladas nos horizontes A e AC, e onduladas e alisadas nos horizontes CA e Cg.

O plasma é argilo-orgânico de coloração marrom escura até aproximadamente 48cm de profundidade (horizontes A e AC) e argilo-férrico de coloração marrom amarelada no restante do perfil. A distribuição e aleatória, e apresenta-se opaco, em todo perfil, sob observação com nicóis cruzados. Sua

freqüência é de aproximadamente de 6% ao longo de todo o perfil, sendo um pouco mais reduzido nos horizontes AC e CA, com 3% (Figura 21).

A Figura 21 mostra a distribuição dos constituintes do fundo matricial do Perfil de Solo 04.

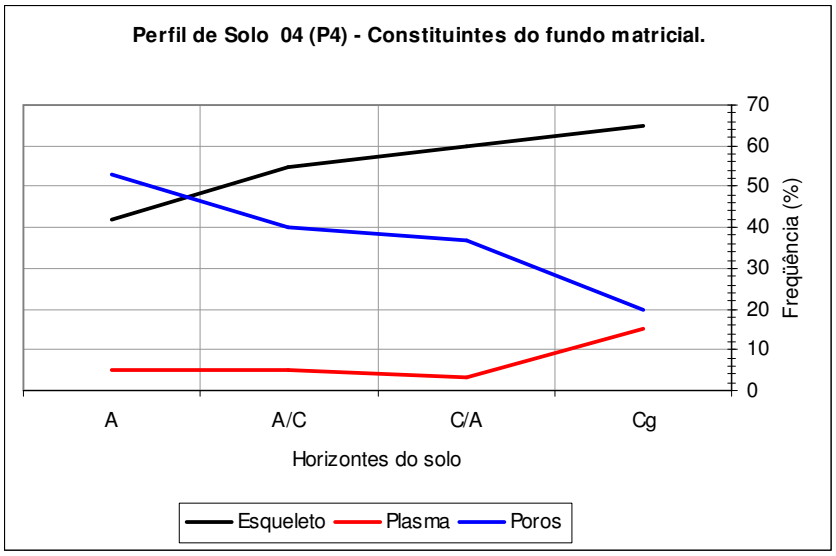


Figura 21 – Distribuição dos constituintes do fundo matricial no Perfil de Solo 04 (P4).

De acordo com a Figura 21 ocorre a redução da porosidade em profundidade, passando de 53% no horizonte A para 20% no horizonte Cg. Em equivalência ocorre o aumento da freqüência do esqueleto de 42% no A para 65% no Cg, sendo que este horizonte apresenta aumento também do plasma, por se tratar de um horizonte com textura areno-argilosa.

A boa porosidade do horizonte A (53%) deste perfil certamente está associada à cobertura vegetal de cerrado; diferente dos outros casos em que normalmente o horizonte A se encontra adensado em superfície pelas práticas agropecuárias.

A porosidade é do tipo intergrãos de empilhamento simples em todos os horizontes, sendo que em A, CA e AC formam macroporos finos fortemente comunicantes, e em AC, cerca de 20% dos poros são fracamente comunicantes. Em Cg, também finos, são fracamente comunicantes, em razão do forte adensamento das

partículas nesse horizonte, pois se trata de um material saturado. Ocorre a formação de alguns macroporos dos tipos canais com 500-1000µm de diâmetro em Cg, por ação radicular.

A Figura 22 mostra um croqui esquemático indicando uma síntese da distribuição do esqueleto, plasma e macroporosidade ao longo do sistema pedológico Neossolo Quartzarênico órtico, Neossolo Quartzarênico hidromórfico(RQg) e Gleissolo (G).

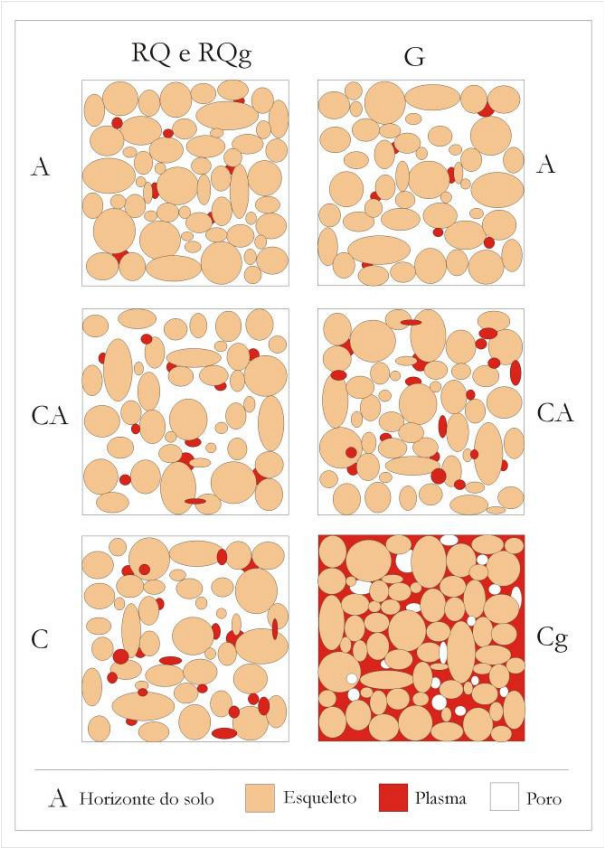


Figura 22 – Croqui esquemático: distribuição dos constituintes do fundo matricial no sistema pedológico RQ-RQg-G. Obs.: as características de arredondamento, esfericidade e rugosidade superficial não devem ser consideradas neste desenho.

A coluna da esquerda mostra a representação da macroporosidade no Neossolo Quartzarênico órtico e no Neossolo Quartzarênico hidromórfico, que são

similares, possuindo adensamento dos grãos no horizonte A, e logo abaixo nos horizontes CA, ocorre o aumento da macroporosidade, que é fortemente comunicante; e ao lado, na coluna da direita, observa-se a macroporosidade fortemente comunicante nos horizontes A e CA, e logo abaixo horizonte Cg, adensado, com macroporos fracamente comunicantes.

Como dito anteriormente, o plasma aparece no horizonte Cg mais destacadamente do que nos horizontes restantes, onde aparece distribuído aleatoriamente em forma de algumas pontes e cimentações.

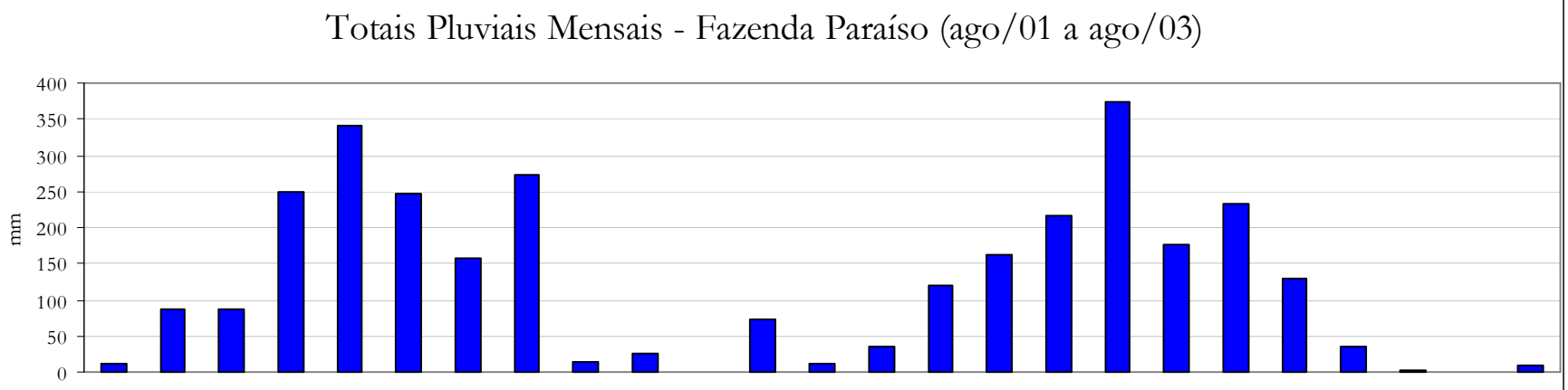
A seguir haverá a discussão sobre a capacidade de circulação hídrica nesses horizontes pedológicos.

ATRIBUTOS FÍSICO-HÍDRICOS DOS HORIZONTES PEDOLÓGICOS

Neste item será apresentada a caracterização físico-hídrica dos horizontes do sistema pedológico Neossolo Quartzarênico órtico - Neossolo Quartzarênico hidromórfico – Gleissolo, a fim se entender o comportamento hidráulico ao longo da vertente e em seus solos, e quais os seus significados em relação aos processos erosivos lineares.

Comportamento das chuvas

O período de monitoramento foi realizado desde agosto de 2001 a agosto de 2003, concluindo-se que os meses menos chuvosos vão de maio a setembro, com precipitação média em torno de 30mm; enquanto os meses mais chuvosos ocorrem nos meses de outubro a abril, notadamente no verão, sendo os meses de dezembro e janeiro os que normalmente ultrapassam 300mm de chuva; inclusive em janeiro de 2003 chegou a acumular 374,8mm de chuva, segundo os dados obtidos com pluviômetro (Figura 23).



	ago/01	set/01	out/01	nov/01	dez/01	jan/02	fev/02	mar/02	abr/02	mai/02	jun/02	jul/02	ago/02	set/02	out/02	nov/02	dez/02	jan/03	fev/03	mar/03	abr/03	mai/03	jun/03	jul/03	ago/03
mm	12,2	88,2	86	249,05	341,5	246,3	157,4	273,8	13,9	24,78	0	73,2	12,9	35,5	119,9	163,2	216,3	374,8	175,8	233,4	129,4	35,8	1,2	0	10,5

Fonte: Estação Faz. Paraíso, Mineiros-GO.

Figura 23 – Totais pluviais mensais – Faz. Paraíso (ago/01 a ago/03).

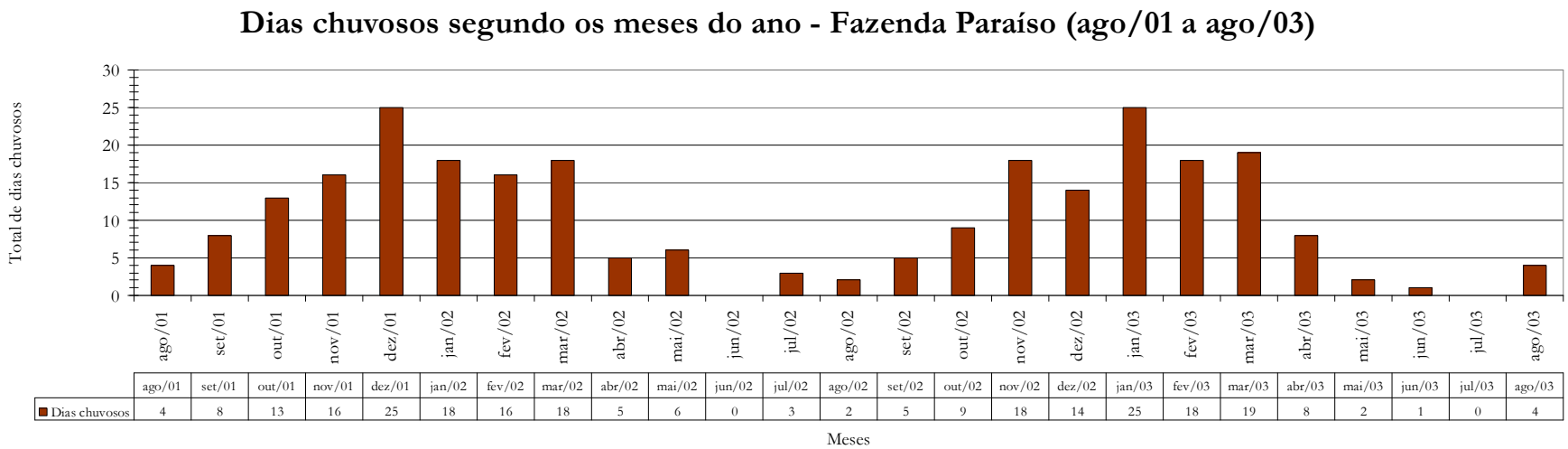
Segundo Campos et al. (2003) os encontros da massa equatorial continental com a polar atlântica são responsáveis pelas chuvas frontais na Região Centro – Oeste, principalmente no final da primavera e início do verão; sendo a ocorrência de chuvas convectivas de verão devido o predomínio da massa equatorial continental durante um período de tempo mais longo nesta região.

Segundo dados pluviométricos de 77 estações, compreendidas na Folha SE-22 - Goiânia (Magnago et al., 1982) no período de 1971 a 1976, a distribuição das chuvas ao longo do ano mostra que o exposto acima é bem representativo, inclusive com uma pequena baixa em fevereiro e novamente uma retomada forte em março, para depois novamente ir diminuindo até o meio do ano, em que junho, julho e agosto são os meses mais secos.

Neste período de monitoramento (24meses) ocorreram 257 dias chuvosos, distribuídos segundo a Figura 24, gerando a média de 10,7 dias de chuva por mês.

Os meses que apresentam mais dias chuvosos são dezembro de 2001 e janeiro de 2003, com 21 e 25 dias chuvosos respectivamente. Nota-se que há uma intrínseca relação entre a Figura 23 que indica os totais pluviais mensais e a Figura 24 que indica a quantidade de dias chuvosos segundo os meses do ano; sendo que, o mês de novembro de 2001 é o que apresenta maior proporção de chuva precipitada em relação aos dias chuvosos, com altura média de 33mm de chuva para cada dia de chuva; e nos demais meses mais chuvosos, a altura média de precipitação gira em torno de 8 a 12mm/dia chuvoso.

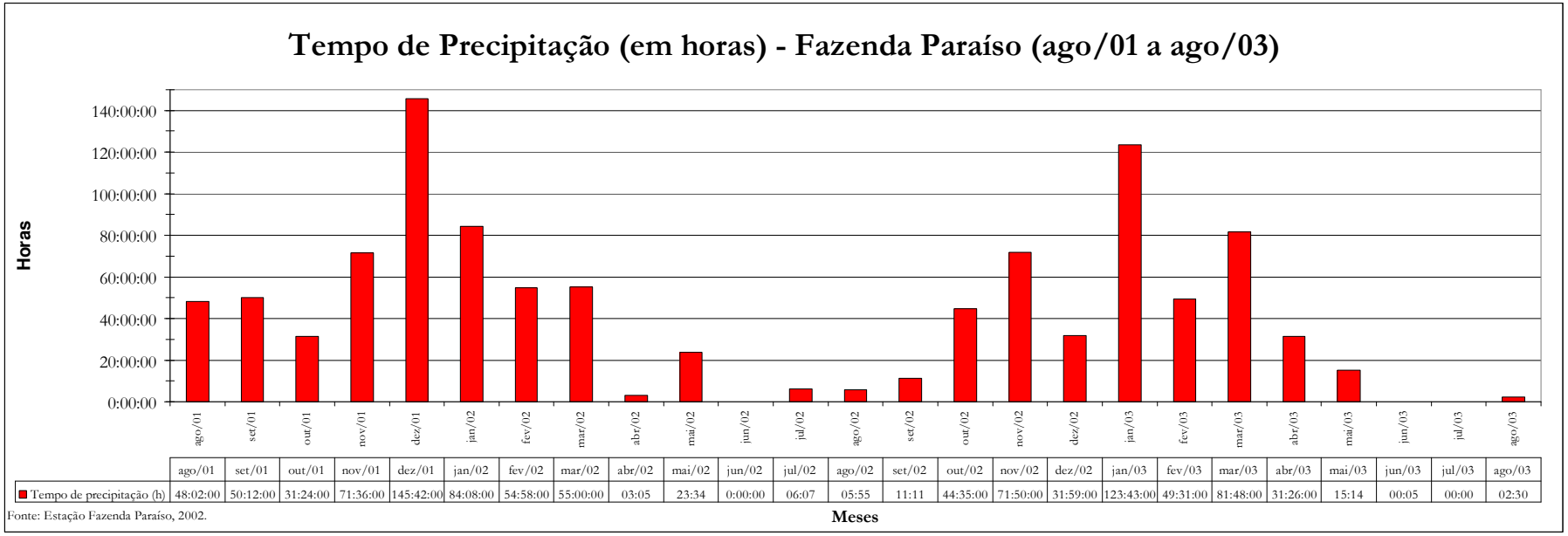
Com base no monitoramento pluviográfico foi possível contabilizar o tempo de precipitação, conforme a Figura 25, esta que indica o total de horas de chuva para cada mês. É possível notar certa uniformidade entre as representações gráficas, no que se refere da quantidade de dias chuvosos (Figura 24) e a duração (em horas) das precipitações (Figura 25).



	ago/01	set/01	out/01	nov/01	dez/01	jan/02	fev/02	mar/02	abr/02	mai/02	jun/02	jul/02	ago/02	set/02	out/02	nov/02	dez/02	jan/03	fev/03	mar/03	abr/03	mai/03	jun/03	jul/03	ago/03
Dias chuvosos	4	8	13	16	25	18	16	18	5	6	0	3	2	5	9	18	14	25	18	19	8	2	1	0	4

Fonte: Estação Fazenda Paraíso, 2002 (ago/01 a ago/03).

Figura 24 – Dias chuvosos segundo os meses do ano - Faz. Paraíso (ago/01 a ago/03).



	ago/01	set/01	out/01	nov/01	dez/01	jan/02	fev/02	mar/02	abr/02	mai/02	jun/02	jul/02	ago/02	set/02	out/02	nov/02	dez/02	jan/03	fev/03	mar/03	abr/03	mai/03	jun/03	jul/03	ago/03
Tempo de precipitação (h)	48:02:00	50:12:00	31:24:00	71:36:00	145:42:00	84:08:00	54:58:00	55:00:00	03:05	23:34	0:00:00	06:07	05:55	11:11	44:35:00	71:50:00	31:59:00	123:43:00	49:31:00	81:48:00	31:26:00	15:14	00:05	00:00	02:30

Figura 25 – Tempo de precipitação segundo os meses do ano - Faz. Paraíso (ago/01 a ago/03).

No caso da Alta Bacia do Rio Araguaia, do ponto de vista dos problemas com erosão do solo pode-se considerar que o período mais preocupante é o que compreende entre o final da estiagem (principalmente junho e julho) e início da estação chuvosa (a partir de agosto ou mesmo setembro), pois, no primeiro caso tem-se a ação da erosão eólica que ataca o solo sem a cobertura vegetal que ocorre em extensas áreas de Latossolo Vermelho e Neossolos Quartzarênicos, com exceção das áreas de plantio direto que ainda mantém uma camada de palha seca; e na entrada da estação chuvosa, a erosão laminar e em sulcos que atacam fortemente os solos agrícolas em fase de preparo, em que o uso de arados e grades é muito freqüente.

É possível pensar que o potencial erosivo laminar provavelmente se mostra menos ofensivo após a fase de crescimento dos vegetais agrícolas e as pastagens, provavelmente a partir do mês de outubro, em que o escoamento superficial é diminuído por interceptação dessas plantas, contribuindo para maior infiltração da chuva; entretanto, com a intensa sucessão de dias chuvosos, principalmente nos meses de dezembro e janeiro, como visto acima, após a infiltração de boa parte das chuvas, as chances de saturação do solo (principalmente os Latossolos em relação aos Neossolos Quartzarênicos) são maiores, o que torna a gerar o escoamento superficial, no entanto, neste momento, a cobertura vegetal agrícola e de pastagem, em boa parte na bacia, se apresenta mais densa.

Para se conhecer o potencial erosivo das chuvas, as mesmas devem ser interpretadas por suas intensidades de precipitação, sendo a organização de dados sobre Intensidade Máxima Instantânea (ou seja, que ocorre em um determinado momento) necessária para compartimentação de valores críticos de pluviosidade, segundo os intervalos de tempo em que ocorrem.

Estes intervalos foram estabelecidos com base numa avaliação geral dos dados coletados junto à estação de monitoramento, no qual foram destacadas as 10 maiores intensidades segundo o tempo em que elas ocorreram durante o episódio chuvoso (Tabela 01).

Intensidades Máximas Instantâneas (mm/h)									
Ordem de classificação		Intervalos de tempo (em minutos).							
		1-2´	3-5´	6-10´	11-20´	21-30´	31-45´	46-60´	>61´
Intensidade (mm/h)	1º	276,00	172,00	90,00	57,60	56,00	17,25	11,09	7,95
	2º	258,00	168,00	82,00	50,00	49,00	15,43	10,08	6,90
	3º	255,00	110,00	72,86	46,00	40,50	15,26	9,33	6,38
	4º	252,00	108,00	72,00	45,82	23,22	13,78	7,40	6,14
	5º	252,00	90,00	64,50	45,00	21,25	13,50	6,40	5,49
	6º	246,00	68,00	63,00	40,00	21,12	12,29	6,24	5,39
	7º	240,00	56,40	60,00	38,30	19,33	12,00	4,53	4,48
	8º	219,00	51,00	59,25	37,38	17,38	11,25	3,40	4,36
	9º	204,00	36,00	56,67	36,86	16,80	10,50	3,12	4,09
	10º	180,00	28,80	56,00	34,36	16,00	10,29	3,05	4,05

Tabela 01 – Intensidades Máximas Instantâneas (Estação Fazenda Paraíso, Mineiros – ago/01 a ago/03).

Os maiores valores de intensidade máxima instantânea se encontram do lado esquerdo e superior da tabela, diminuindo em sentidos opostos. A partir desses dados gerou-se a Curva de Intensidade Máxima Instantânea (Figura 26), que indica os valores críticos de pluviosidade, segundo os intervalos de tempo de sua precipitação.

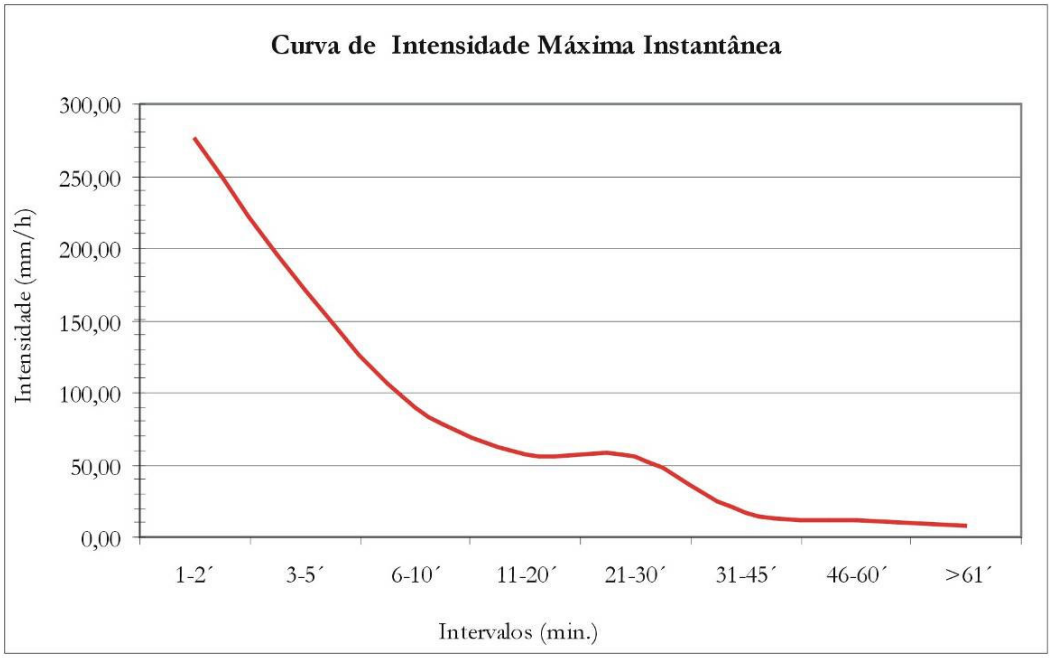


Figura 26 – Curva de Intensidade Máxima Instantânea (Estação Fazenda Paraíso, Mineiros – ago/01 a ago/03).

Altos valores de intensidade estão associados a baixos intervalos de tempo e impressionam por apresentarem 276mm/h em 02 minutos em um episódio chuvoso, entretanto, devido esse curto período, não são os valores mais importantes do ponto de vista do estudo sobre erosão linear, talvez sobre erosão laminar, por se tratar da queda de chuva de altíssima energia de impacto (*splash*). Portanto, os valores de intensidade que importam são aqueles que possam estar associados à produção de uma grande quantidade de água que escoa e que infiltra no solo; sendo a umidade inicial do solo e o tempo de precipitação os parâmetros mais significativos.

Entre os intervalos de tempo 21 e 30 minutos a curva toma uma forma convexa, o que chama a atenção por se tratar de um tempo relativamente longo no qual podem ocorrer precipitações superiores a 50mm/h. Destaca-se, assim, a intensidade máxima desse intervalo, como a que possui maior possibilidade de exceder a capacidade de infiltração do solo e produzir escoamento superficial.

Do ponto de vista da dinâmica do lençol freático, o que realmente importa é a quantidade de água que se infiltra durante episódios sucessivos de chuva, ou seja, se houver uma rápida precipitação com intensidades elevadas, provavelmente não causará o mesmo efeito de uma precipitação com tempo maior e com intensidades baixas, contudo, com volume precipitado total de chuva bem superior.

As pesquisas sobre intensidades de chuva são de grande valia nos estudos sobre erosão laminar, em que os fatores erosividade (da chuva) e erodibilidade (do solo) necessitam de dados mais precisos. Porém, são igualmente importantes para estudo de erosão linear por considerarem as relações entre infiltração e precipitação e permitirem a avaliação quanto aos excedentes hídricos no presente caso, que podem tornar-se concentradas.

A fim de caracterizar a distribuição da chuva durante o dia, foi rastreado no período entre 01 de janeiro e 31 de dezembro de 2002, junto aos dados do pluviógrafo, a quantidade de chuva precipitada compartimentada em 04 períodos de 06 horas. A Figura 27, mostra essa distribuição pluvial anual ao longo de um período de 24 horas.

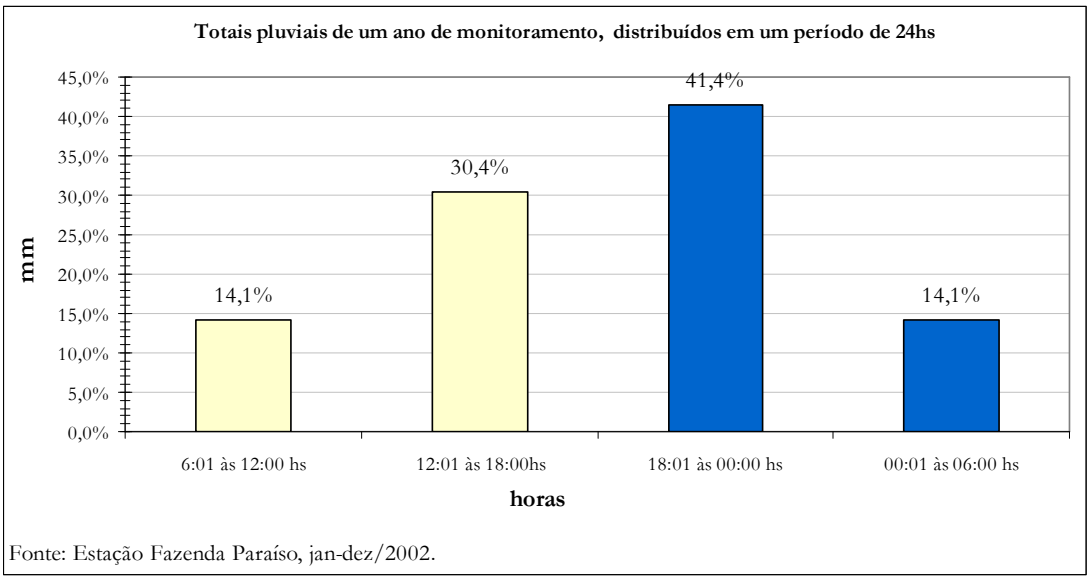


Figura 27 – Totais pluviais de um ano de monitoramento, distribuídos em um período de 24hs.

O período mais chuvoso corresponde ao noturno (barras azuis no gráfico), sendo que, de 18:01 às 00:00hs, com 41,4% do total pluvial precipitado, é o momento em que a água retida nos horizontes superficiais do solo menos sofre perdas por evapo(transpi)ração[1], e também de 00:01 às 06:00 da madrugada, com 14,1% do total precipitado, no qual uma parte dessa água infiltra e não se submetendo à insolação que se iniciará após às 06:00. É o período mais importante para recarga do lençol freático.

O período diurno (barras amarelas) de 6:01 às 12:00, com 14,1% da precipitação, é o mais favorável à perda de água por evapo(transpi)ração, devido a exposição do solo úmido à insolação, e, o período de 12:01 às 18:00hs, com 30,4%, também é favorável a essa perda, porém, a nebulosidade e a entrada do anoitecer amenizam as taxas de evapo(transpi)ração de parte dessa água precipitada.

Reitera-se que, como mostrado nas observações micromofológicas, os horizontes superficiais em questão se mostram adensados e com características de hidromorfia, devido aos indícios de oxi-redução no material argilo-férrico revelados pelos horizontes gleizados. São, portanto, ambientes favoráveis à retenção de água, que

[1] Delimitou-se o termo "evapo(transpi)ração" com parênteses, pois pode ocorrer apenas o processo de evaporação da água do solo quando não há participação de vegetais para sua eliminação.

pode ser perdida para a atmosfera nos momentos de alta insolação, como ilustrado acima.

Portanto, as condições antecedentes de umidade do solo, a intensidade e duração pluvial, as características físicas e de cobertura do solo, são fatores determinantes que interferem no comportamento da circulação acima e abaixo da superfície do solo.

Será visto adiante a dinâmica do lençol freático na toposseqüência Paraíso, que se constitui numa área de agricultura e pecuária, cujo seu ápice de potencial hidráulico ocorre ao final da estação chuvosa, que pode ocorrer a surgência dos *pipings* nas voçorocas, gerando com isso, momento crítico no desenvolvimento dos processos erosivos lineares.

Dinâmica do lençol freático frente ao regime pluvial

A caracterização da circulação hídrica nos solos da Toposseqüência Paraíso se fundamenta nas informações obtidas com monitoramento geofísico com GPR e SEV, pluviômetro, pluviógrafo e poços piezométricos (medidores de nível d´água) instalados no terço inferior da vertente.

Monitoramento Geoelétrico

De uma maneira geral, a análise compreende a interpretação da resposta do lençol freático frente à entrada de fluxos hídricos no sistema, por meio das chuvas. A fim de se identificar as situações mais representativas, foi elaborada uma planilha em Excel® com os dados pluviais e as medidas piezométricas, organizadas de tal forma que a parte superior do gráfico indica a quantidade de chuva precipitada, representada por colunas, e logo abaixo são representados, em linhas, os níveis do lençol freático. A analogia entre estas duas informações será explorada a fim de se procurar entender como o ambiente em destaque responde à entrada (chuva) e à saída de água precipitada

(exfiltração da água e alimentação dos mananciais), as relações com o efeito *piping* e com as oscilações do nível freático.

O recorte temporal do monitoramento do lençol freático compreende o mesmo período de monitoramento dos totais pluviais, ou seja, do final de julho de 2001 a junho de 2003, sendo o monitoramento geofísico, que será apresentado a seguir, sido realizado em julho de 2001(final da estiagem) e abril de 2002(final da estação chuvosa).

O monitoramento geofísico com GPR realizado em julho de 2001 apresenta perfil sub-horizontal convexo do lençol freático em quase toda a vertente, e suavemente plano em uma faixa de 100m na porção montante, ambos em conformidade com o topo rochoso, indicando que o gradiente hidráulico é em primeiro lugar condicionado pela litologia (Figura 28).

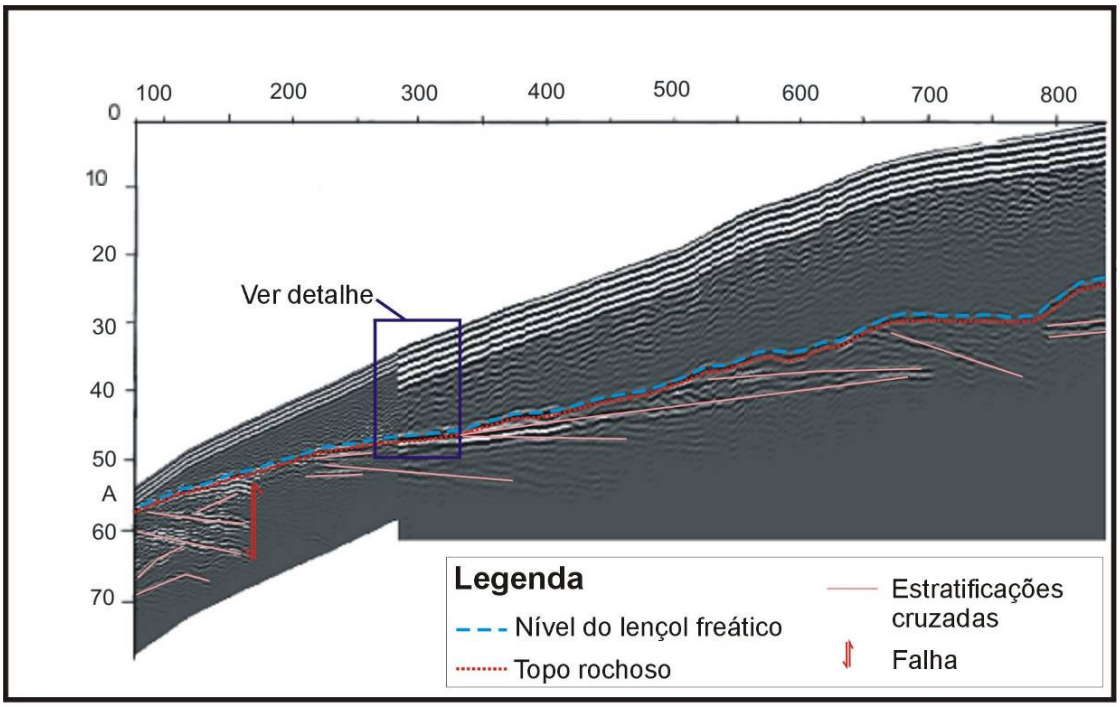


Figura 28 – Perfil geoelétrico realizado com GPR na Toposseqüência Paraíso (julho/2001).(Ver detalhe na Figura 30).

Foram ainda observadas algumas feições litoestratigráficas como estratificações cruzadas e evidência de uma falha no terço inferior. Possivelmente o

encaixamento do atual córrego Capivara nesta área esteja associado a estas peculiaridades, associando-se seguramente, a outros elementos de formação do relevo, que não serão discutidos aqui.

Em relação ao potencial hidráulico, ficou bem evidenciada sua amplitude no terço médio/inferior da vertente em meados da estação seca (julho de 2001) resultante do tempo gasto, relativamente longo, no processo de recarga do lençol freático, pois, o manto de alteração é bem espesso e constituído notadamente por areia fina homogênea.

Ao contrário, no final da estação chuvosa (abril de 2002) o nível freático ainda se encontrava em baixa (Figura 29) neste mesmo setor (terço médio/inferior), pois, o que tudo indica, ainda haveria a participação do lençol freático, que alimentaria a descarga para os mananciais.

Na baixa encosta a oscilação do lençol freático ocorre de maneira diferenciada, como será visto adiante.

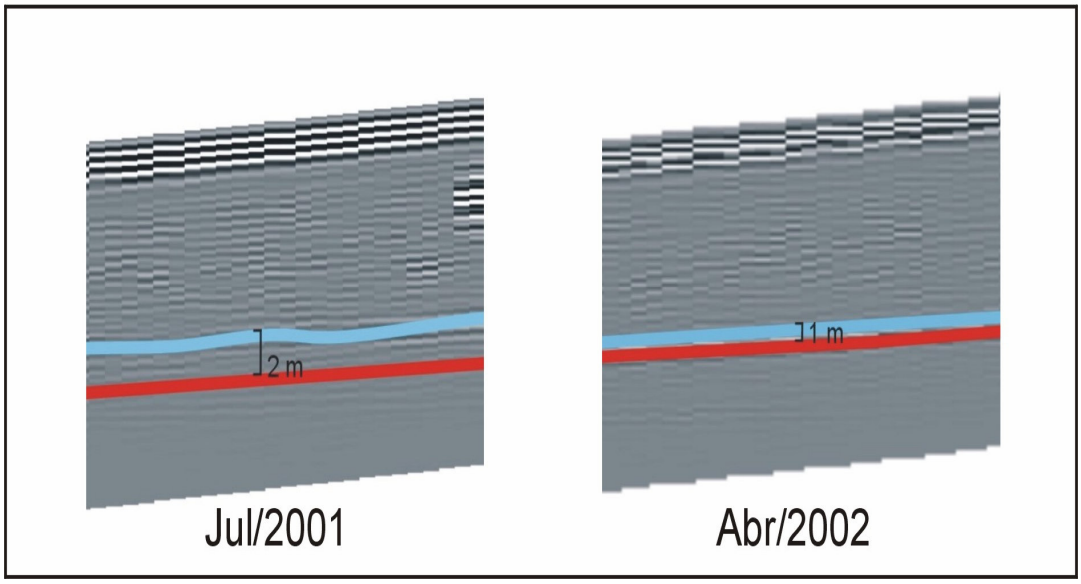


Figura 29 – Detalhe do perfil obtido com GPR, indicando o alto e baixo potencial hidráulico na Toposseqüência Paraíso.

O monitoramento realizado com eletrorresistividade (SEV) gerou a seção geoelétrica apresentado na Figura 30, permitindo correlação com diferentes materiais, conforme interpretação realizada por Shiraiwa et. al. (inédito):

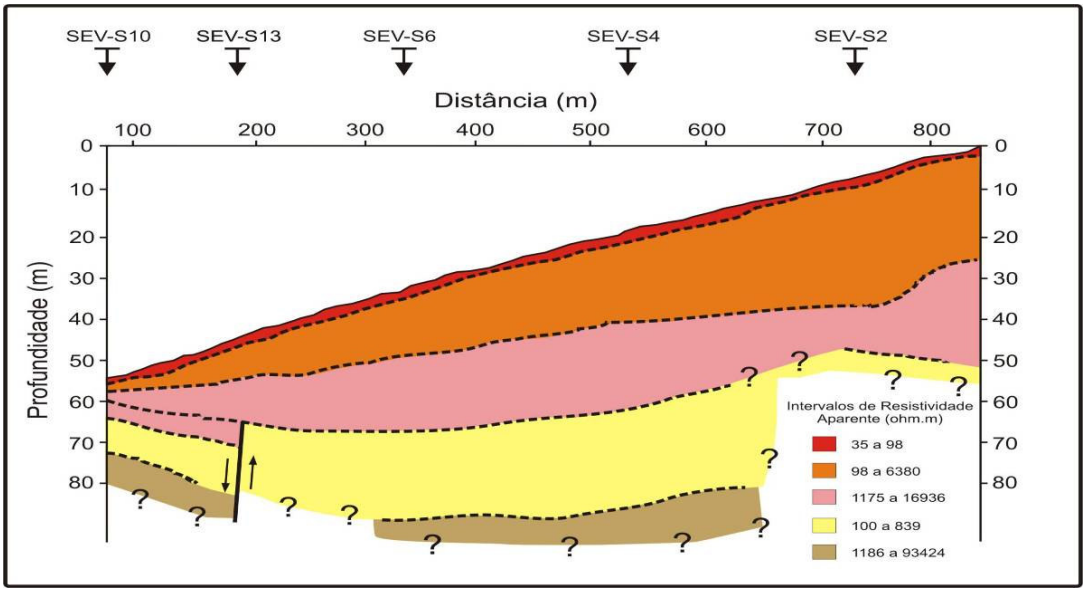


Figura 30 – Perfil geoelétrico obtido com SEV na Toposseqüência Paraíso (julho/2001). (Shiraiwa et. al., inédito).

1) Areia cinza orgânica, resistividades oscilando de 35.551 a 98.937 ohm.m;
2) Areia fina com +- 90% de quartzo, resistividades oscilando 98.070 a 6.388 ohm.m;
3) Arenito fino apresentando níveis mm de arenito conglomeratíco laterizado, resistividades oscilando de 1.175 a 27.875 ohm.m. Esta camada no ponto da SEVS2 posição de 780 m, ocorre redução na espessura da camada, sugerindo uma descontinuidade litológica;
4) Arenito fino, resistividades oscilando de 100 a 839 ohm.m., exceto nas posições referentes as SEVs S10 e S13 que apresentam valores oscilando de 5.136 a 10.887 ohm.m, respectivamente. Esses valores elevados de resistividade nessa quarta camada para a posição de até 180m, sugerem uma falha; isto em razão da mudança brusca de valores em um pacote litológico homogêneo;
5) Arenito fino a muito fino, com resistividades oscilando de 1186 a 1727 ohm.m, porém, nas posições referentes as SEVs S10 e S13 apresentam valores oscilando

de 630 a 650 ohm.m, corroborando a probabilidade da existência de uma falha próxima a posição de 180m, mencionada no item anterior; e, neste mesmo pacote,aparece o Arenito médio a fino, com resistividade de 93.424 ohm.m.

Com os dois métodos geofísicos foi possível identificar o manto de alteração e as suas caractertísticas litoestratigráficas mais importantes. No primeiro monitoramento geoelétrico a superfície piezométrica aprofundou-se à medida que elevasse a cota altimétrica do relevo, em que se verificou uma variação de 2,35m na baixa encosta (80m à montante do córrego Capivara), a 26m no topo da vertente (a 730m à montante do mesmo córrego), sendo o desnível topográfico de 54m neste trecho (Shiraiwa et. al., inédito).

Os dois métodos geofísicos registraram pequenas deformações na continuidade das camadas em duas posições da vertente: a 180m à montante do ponto inicial da seção (margem do córrego Capivara), e a 730m. Essas deformações sugerem pequenos rejeitos de falhas, conforme Shiraiwa et. al. (inédito).

No ensaio pelo método SEV ficou bem evidenciada a compartimentação do perfil de alteração, cujo horizonte superficial é constituído por areia cinza orgânica, logo abaixo areia fina homogênea, e ambos sobre arenitos finos a muito finos; sendo que, todas essas camadas possuem comportamento hidráulico diferenciado, como será visto adiante.

Monitoramento piezométrico

Os dados obtidos com monitoramento das chuvas e do lençol freático, permitiram constatar uma relação direta entre as precipitações e os níveis piezométricos.

Como dito anteriormente, a área de monitoramento piezométrico foi instalado na baixa vertente da Toposseqüência Paraíso, onde foram instalados 27 medidores de nível d´água (Figura 31). O **Anexo B** apresenta as leituras dos poços de monitoramento do nível d´água.

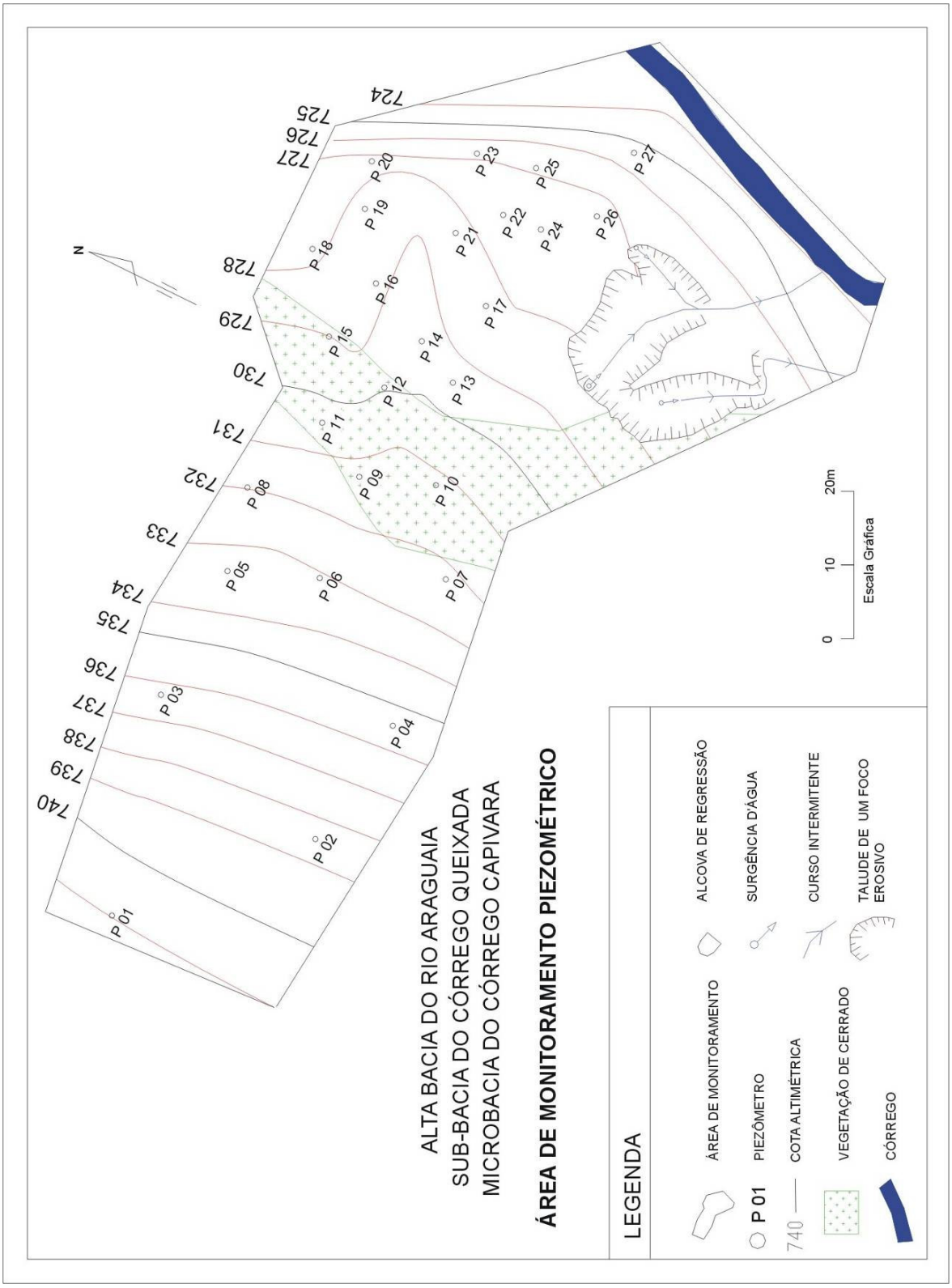


Figura 31 - Detalhe da área de monitoramento piezométrico.

O monitoramento das chuvas já foi apresentado anteriormente e será retomado a fim de se associar sua freqüência e altura precipitada ao longo do ano hidrológico, com a variabilidade do nível freático na área de monitoramento piezométrico.

A Figura 32 mostra os totais pluviais diários e em consonância são apresentados os registros dos níveis freáticos dos 27 poços ou medidores de nível d´água.

Com base na Figura 32 pôde-se evidenciar algumas relações intrínsecas entre o regime pluvial e a dinâmica piezométrica. Em agosto de 2001, no início do monitoramento, o lençol está em baixa, mas ascende de maneira rápida em resposta às primeiras chuvas, depois rebaixa novamente com uma pequena estiagem em meados de outubro e se eleva significamente com as chuvas de novembro em diante; tornando-se bem recarregado nos meses de janeiro a março, que são meses bem chuvosos. Essa resposta rápida às precipitações no início das chuvas indica um período crítico para o desenvolvimento do fenômeno de *piping,* pois, infere uma condição de boa condutividade hidráulica, portanto, condição de alto fluxo de energia, que neste caso ocorre em solo permeável e de baixa coesão.

Nesse sentido, a fim de se enfatizar uma situação representativa rápida oscilação do lençol freático, foram então rastreadas, *a priori*, duas datas de monitoramento que ressaltaram esse movimento: 09/09/2001 e 23/29/2001 (Figura 32).

Esse intervalo foi destacado por apresentar uma reação muito brusca do lençol freático com um período chuvoso relativamente baixo. O Piezômetro 01, por exemplo, que está locado no ponto mais alto da área de monitoramento piezométrico, apresenta profundidade do lençol freático abaixo de 07 metros durante o início do mês de agosto e metade do mês de setembro de 2001. Com aproximadamente 08 dias, o lençol freático ascende cerca de 1,5m em resposta aos 58,mm de chuva acumulada nesse período. Nos piezômetros mais à jusante, próximos ao curso d'água, a oscilação do nível freático não é tão expressiva quanto os dos piezômetros situados à montante;

VER ARQUIVO "FIGURA 32 – PLUVIOMETRIA E PIEZOMETRIA"

entretanto, o comportamento de circulação hídrica lateral possui algumas peculiaridades como será discutido mais adiante.

Outras datas também foram determinadas para se rastrear o comportamento do lençol freático. O dia 10/02/2002 foi escolhido para ilustrar como estava se comportando o lençol freático na máxima ascensão do período de monitoramento; o dia 28/07/02 para representar um momento intermediário, em que o lençol freático estava se rebaixando; o dia 10/11/02 para ilustrar o momento de máximo rebaixamento do lençol freático durante o período de monitoramento; e 13/04/2003, como o segundo momento de alto potencial hidráulico, no qual será confrontado com o alto potencial do dia 10/02/02, a fim se decifrar alguma semelhança entre estes dois momentos (Figura 32).

O mapa piezométrico do dia 09/09/2001(Figura 33) apresenta uma situação de baixo potencial hidráulico, isto é, o nível do lençol freático está baixo devido a longo tempo sem chuvas expressivas nesta área. Entretanto, no dia 23/09/2001 (Figura 32) a situação é inversa, ou seja, após alguns episódios chuvosos entre os dias 15 e 16/09/2001, acumulando 35,3mm de chuva, com dois de estiagem e novamente entre 21, 22 e 23/09/2001, acumulando 23,1mm de chuva, o nível se eleva e se comporta de maneira complexa (Figura 32). Estes episódios chuvosos foram suficientes para a recarga rápida do lençol freático da área de monitoramento.

Verifica-se no mapa piezométrico certo distanciamento entre linhas equipotenciais nos períodos de baixa do lençol freático (Figuras 33 e 37), ao contrário, do período de alta (Figuras 34, 35 e 38), se aproximam as equipotenciais e concede às mesmas, no terço médio da área de monitoramento, curvas mais sinuosas (Figura 34).

Quando o nível piezométrico está em fase de rebaixamento, a superfície piezométrica se mostra mais regularizada do que nas demais situações, com superfícies planas na porção montante da área e convexizada na jusante (Figura 36); quando o potencial hidráulico está baixo, aparecem linhas eqüipotenciais tortuosas no terço inferior da área de monitoramento, tendendo a concentração de fluxos (Figuras 37), entretanto, com baixos potenciais hidráulicos. As superfícies piezométricas nessas

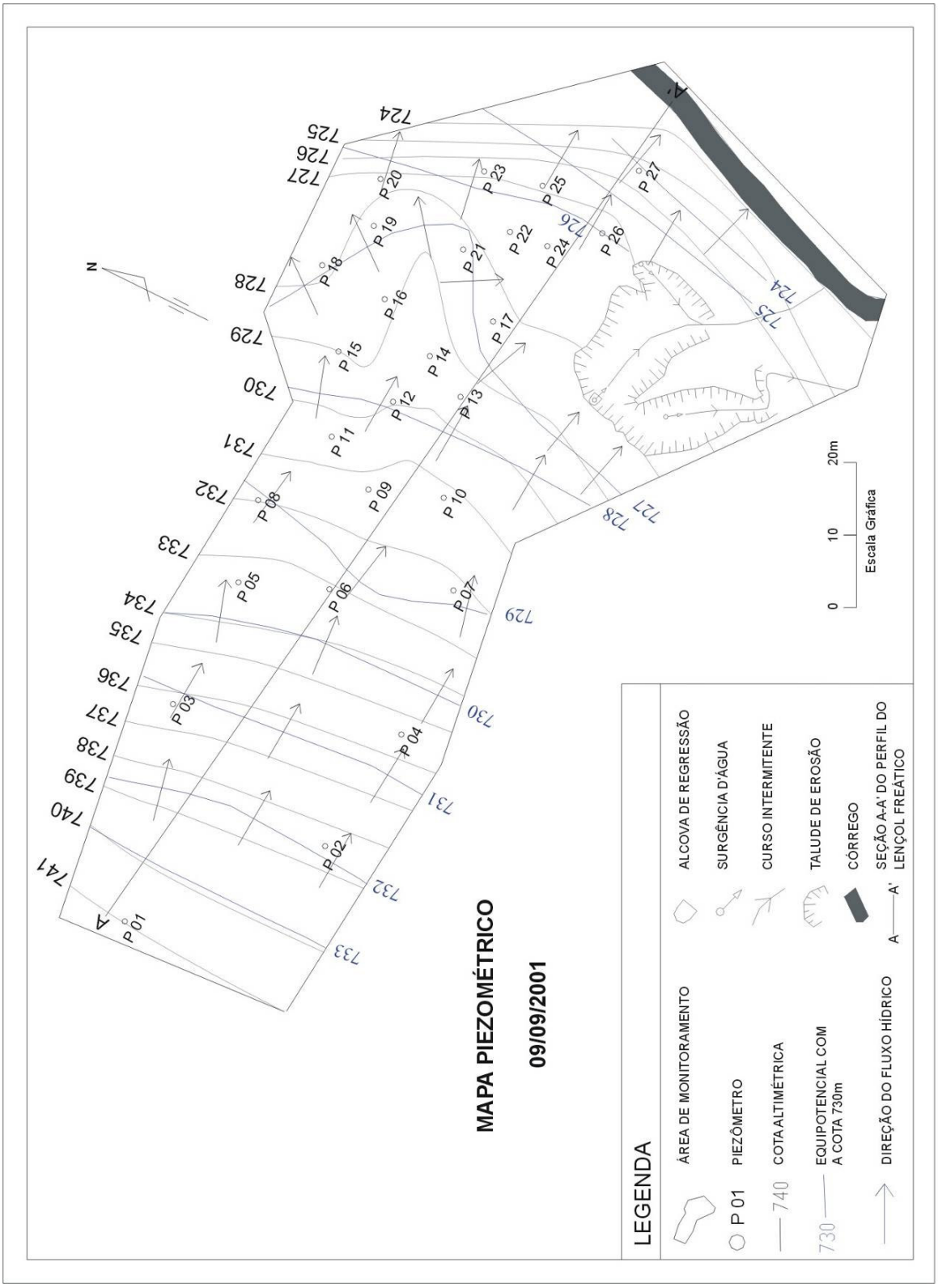


Figura 33 - Mapa Piezométrico do dia 09/09/2001.

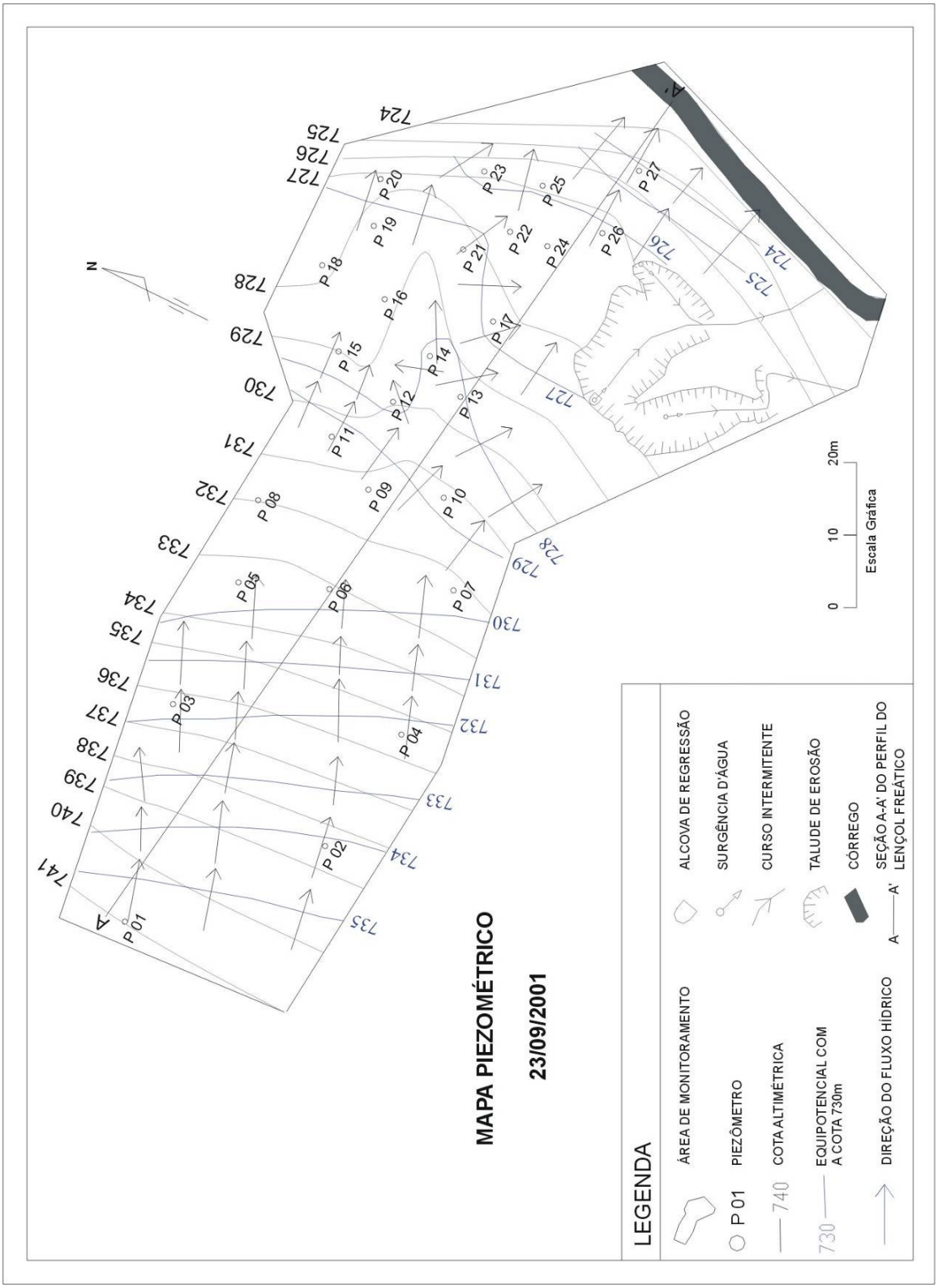


Figura 34 - Mapa Piezométrico do dia 23/09/2001.

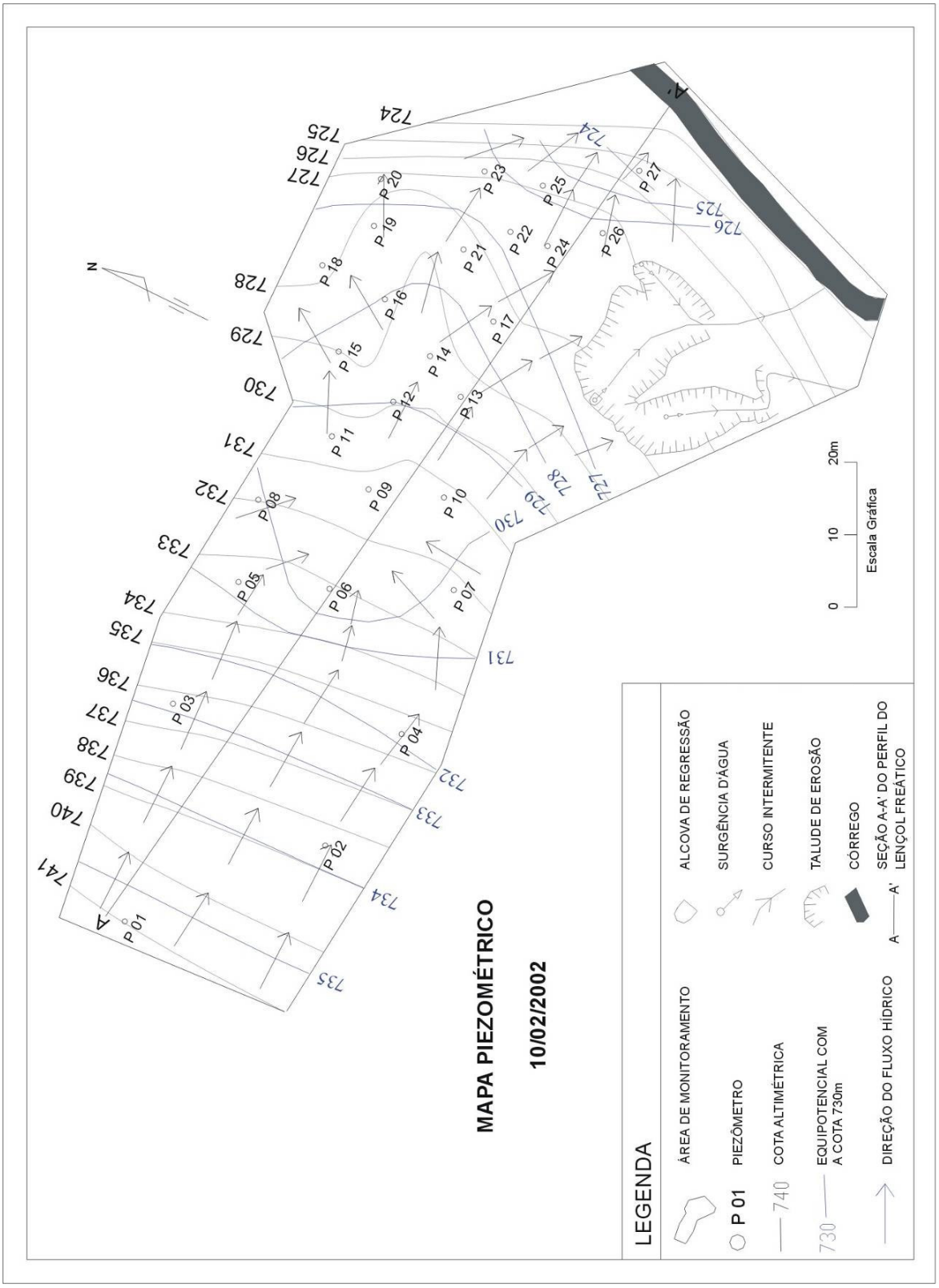


Figura 35 - Mapa Piezométrico do dia 10/02/2002.

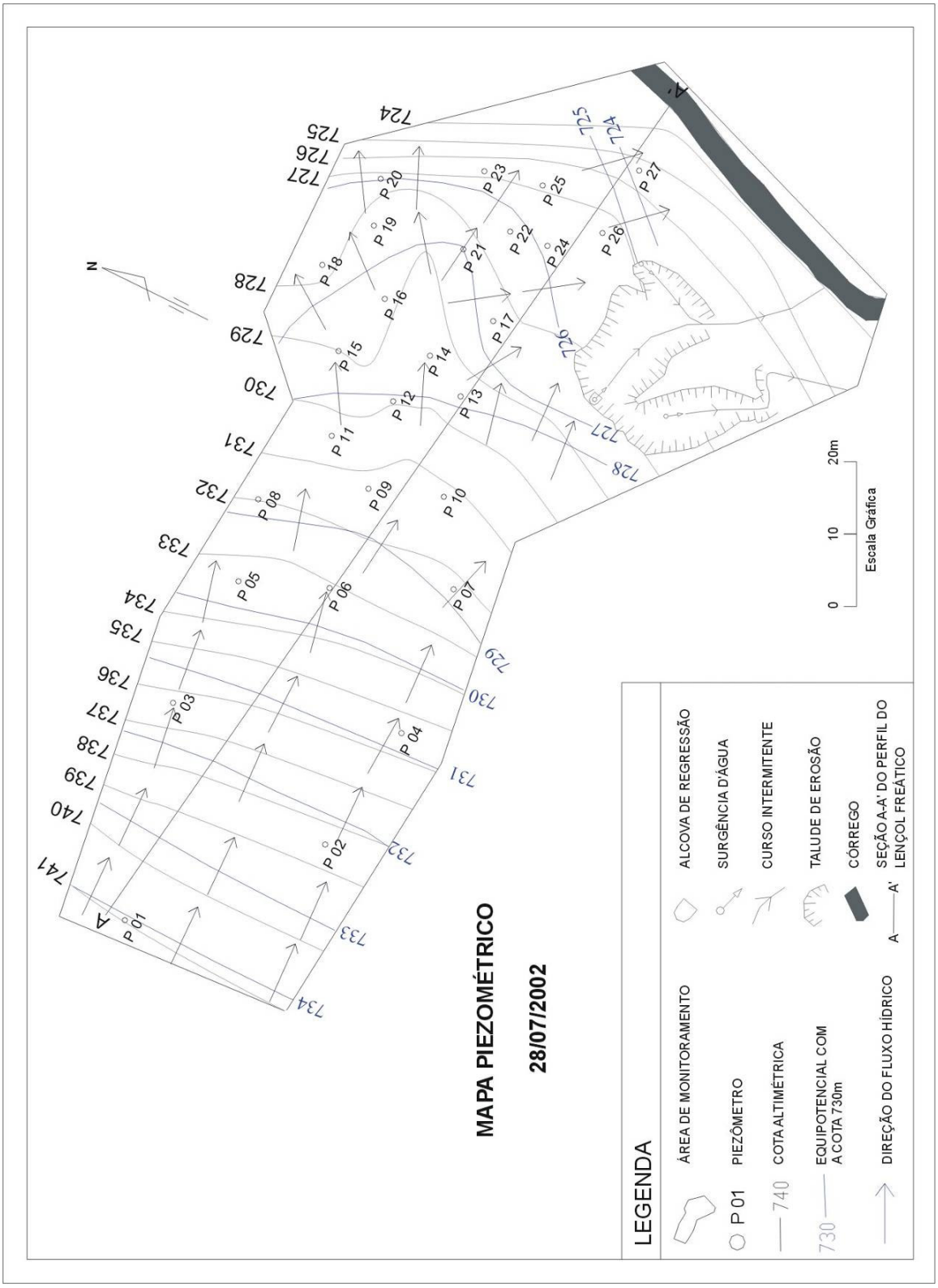


Figura 36 - Mapa Piezométrico do dia 28/07/2002.

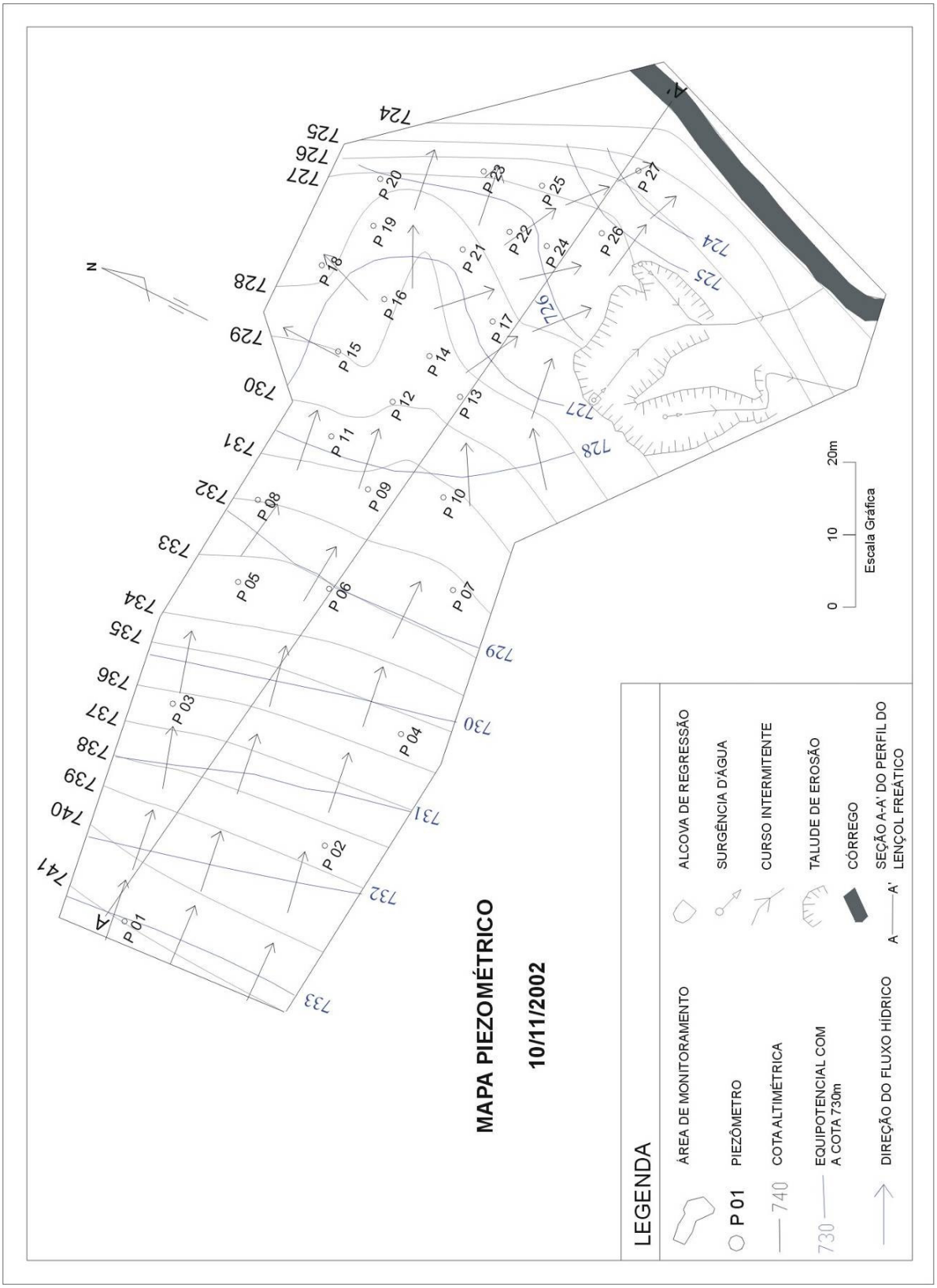


Figura 37 - Mapa Piezométrico do dia 10/11/2002.

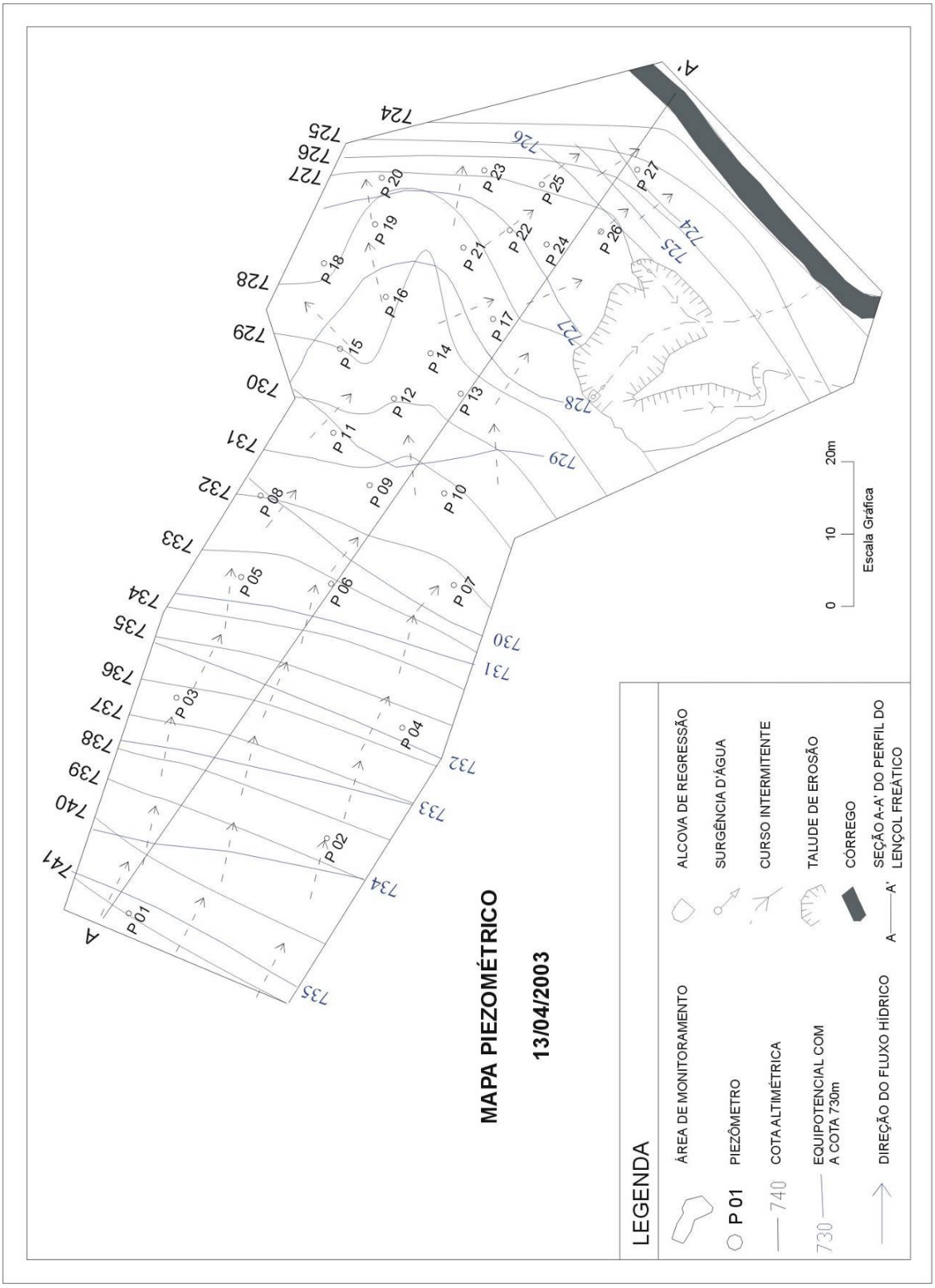


Figura 38 - Mapa Piezométrico do dia 13/04/2003.

condições possuem formas parabólicas radiais divergentes à montante e parabólicas radiais convergentes à jusante, enquanto o lençol está alto (como nos casos dos dias 10/02/02 e 13/04/03), aparecem formas parabólicas radiais convergentes na porção meridional da área de monitoramento, e divergentes à jusante (Figuras 35 e 38).

O alto potencial hidráulico contribui para o desenvolvimento de voçorocas, como ocorre nesta área de monitoramento (Figura 31), sendo que, o fluxo hídrico pode seguir caminhos preferenciais no interior do solo, instalando o mecanismo de *piping*, gerando alcovas de regressão formando cabeceiras, estas por sua vez, que também recebem fluxo hídrico concentrado superficial, acelerando ainda mais o processo erosivo.

Segundo os registros apresentados na Figura 32, o nível freático pode oscilar até 2,5m na área de monitoramento durante o ano hidrológico, com caso de rebaixamento de 1,5 m em apenas 10 dias, o que indica a facilidade de drenagem do solo. A textura arenosa e a porosidade intergrãos contribuem bastante para esta rápida percolação ou circulação hídrica. Entretanto, quando essa circulação se exfiltra com altos potenciais hidráulicos em determinados pontos de alta friabilidade, são evidenciados os fenômenos de *piping,* que nas voçorocas acarretam o solapamento com posterior queda dos taludes; estes que ao perderem sua base de sustentação, são condicionados ao escorregamento por sua geometria comumente íngreme e por se tornarem mais pesados e instabilizados devido à saturação de seus materiais constituintes (agora pouco coesos), ocorrendo tudo isso, geralmente, em episódios chuvosos.

De uma forma geral, os setores da vertente que mais apresentou mudanças nos sentidos dos fluxos subterrâneos ao longo do período de monitoramento, foram o terço médio e baixo, com destaque para o primeiro; justamente no Gleissolo e sob vegetação de cerrado. A forma da vertente desse setor de monitoramento é radial convexo, suavemente a moderadamente ondulada.

A Figura 39 mostra os perfis do lençol freático de dois momentos de alto potencial hidráulico (10/02/02 e 13/04/03) e de um momento de baixo potencial (10/11/02). Os perfis indicam as posições ou níveis do lençol freático antes, durante e

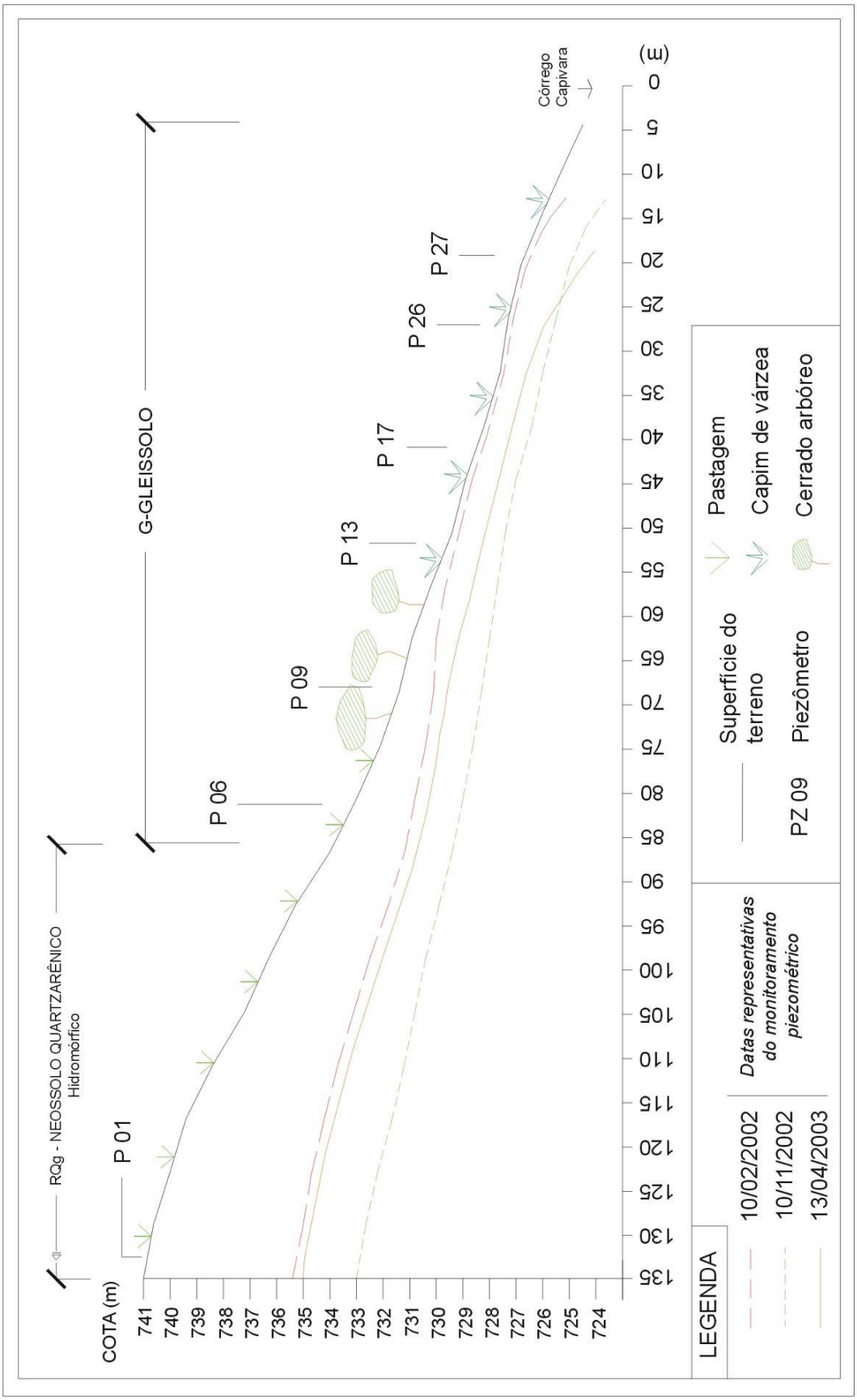


Figura 39 - Seção A-A´ - Oscilação do lençol freático nos momentos de alto e baixo potencial hidráulico.

depois do período chuvoso. Esses níveis são obtidos com base em um nível de referência e são mais elevados a montante, sendo diminuídas suas cotas para jusante, o que evidencia a atuação do potencial gravitacional na circulação hídrica lateral dessa vertente.

Nota-se que, quando carregado, o lençol freático tende à convexização (superfície parabólica radial divergente), o que pode levar à suposição de uma continuada circulação lateral, com posterior descarga elevada, à jusante, pouco tempo depois da chuva, mesmo com a estagnação desta.

Entre 0 e 60m do eixo A-A´ (Figura 40), ocorreu notável aproximação do nível freático com a superfície do terreno, incorrendo até em possível exfiltração (ápice da estação chuvosa), indicando que este setor da vertente até o córrego é o de maior risco potencial ao voçorocamento, pois, em caso de sulcamento e/ou ravinamento e seu aprofundamento, há possibilidade iminente de interceptação do lençol freático, acelerando o seu processo evolutivo, transpondo a voçoroca.

Em suma, ocorre rápida ascenção do lençol freático no período chuvoso e concentração de fluxos hídricos sub-superficiais em alguns pontos, notadamente na faixa do P06 ao P12, no Neossolo Quartzarênico hidromórfico, apresentando ainda, logo abaixo, o Gleissolo com alto gradiente hidráulico, da ordem de 0,15m/m, neste caso associado à baixa condutividade hidráulica, o que gera um acúmulo de água nesta área, corroborando considerações anteriores. Em geral, o lençol freático responde mais rapidamente às chuvas quando o mesmo se encontra em baixo potencial hidráulico. No ápice da estação chuvosa favorece a alimentação e o fluxo regular do lençol, mas, tendo-se este elevado tornando o solo úmido próximo da saturação no horizonte superficial, pode ocorrer incremento nas taxas de escoamento superficial, mesmo com moderadas intensidades de chuva de longas durações.

Comportamento hidráulico ao longo da Toposseqüência Paraíso

O comportamento hidráulico da Toposseqüência Paraíso se refere à capacidade de circulação hídrica ao longo desta vertente, sendo aqui classificada, como fraca, moderada e forte, segundo os tipos de escoamento hídrico, superficial,

horizontal (infiltração) e lateral (subsuperficial). Com isso, é possível o planejamento de uso e ocupação dos diferentes setores da vertente segundo os riscos de erosão hídrica, bem como direcionar medidas mitigadoras para as incisões erosivas já instaladas.

Esse esquema de circulação foi baseado nas interpretações da macroporosidade por observações micromorfológicas dos horizontes dos perfis de solo da toposseqüência, nos monitoramentos geofísicos e piezométricos, e em ensaios de condutividades hidráulicas realizadas por Boulet (2001) em Neossolo Quartzarênico em uma outra área similar situada mais ao sul na mesma Alta Bacia do Rio Araguaia, onde se localiza a voçoroca Chitolina.

Os dados apresentados por este autor, indicam distribuição textural, grosso modo, para todos os horizontes do Neossolo Quartzarênico, da ordem de 5% de argila, 3% de silte, 37% de areia grossa e 55% de areia fina. O horizonte superficial (0-20cm) apresenta condutividade hidráulica, variando de 35,60mm/h a 74,70mm/h; e em profundidade (60-80cm), em torno de 139mm/h a 303mm/h; sendo a média dos dados de 65mm/h em 0-20cm e 235mm/h em 60-80cm; ou seja, em profundidade a capacidade de circulação hídrica é aproximadamente três vezes e meia maior do que no horizonte superficial, sendo o fator preponderante nessa diferença de condutividade hidráulica entre os horizontes do solo, o uso do mesmo, pois se trata de um material mais ou menos homogêneo que o constitui, porém, se mostra adensado em superfície, em razão das atividades agropecuárias, o que pode promover diminuição nas taxas de infiltração, incrementando o escoamento superficial.

Por semelhança pedológica e pelo intuito de avançar na análise das informações coletadas, será considerado que essa propriedade hidráulica do Neossolo Quartzarênico da área do presente estudo se mostra similar àquela apresentada por Boulet (2001).

Assim sendo, no **Neossolo Quartzarênico órtico** ocorre escoamento superficial com circulação forte devido o adensamento das partículas do solo no horizonte A, conforme constatado nas observações micromorfológicas, ou seja, baixa porosidade, devido ao uso de equipamentos agrícolas e pelo pisoteio do gado, o que gera escoamento horizontal (infiltração de circulação fraca); enquanto mais em

profundidade este escoamento passa a circulação forte por aumento na porosidade e homogeneidade do material. A circulação lateral ou subsuperficial, que ocorre no contato solo/rocha, é provavelmente moderada, em razão do acúmulo de materiais muito finos (por iluviação?) que reduz a porosidade e retarda a velocidade de circulação hídrica subterrânea (Figura 40).

É importante ressaltar que atualmente estes solos possuem suas superfícies curvas de nível ("murundus" ou camalhões) e bacias de retenção, o que muda a dinâmica de escoamento superficial. No **Neossolo Quartzarênico hidromórfico** a situação de infiltração se assemelha ao caso anterior, por apresentar, segundo observações micromorfológicas, distribuição do espaço poroso fortemente comunicante abaixo dos horizontes A e AC, o que favorece a maior circulação hídrica.

Esse setor da vertente ao receber o excedente hídrico de montante, em momentos em que a intensidade da chuva, pode superar a capacidade de infiltração, aumentando ainda mais o escoamento superficial para jusante. No caso do escoamento subsuperficial, o caso é semelhante, ainda mais por se tratar de uma circulação mais lenta, com menos perdas, ou seja, o fluxo subterrâneo tende a ser acumulativo de montante para jusante (Figura 40).

Pensando, por exemplo, na evolução remontante de uma extensa voçoroca numa vertente convexa, deduz-se que à medida que vai se regredindo, menor será a quantidade de fluxo que exfiltrará em sua cabeceira, pois a bacia de captação e recarga vai sendo dizimada, no entanto, a própria voçoroca se tornaria receptora das chuvas e as converteria, após o escoamento, e até mesmo infiltração, nos taludes da voçoroca, em fluxo superficial concentrado no talvegue, pois o seu assoalho bem provavelmente estará saturado.

No **Gleissolo** a situação se diferencia consideravelmente. O escoamento superficial continua forte, pois receberá o fluxo de montante; o escoamento horizontal ou infiltração apresenta capacidade de circulação fraca por se tratar de um solo mais úmido, com maiores teores de argila e muito mais adensado abaixo do horizonte CA do que os anteriores, no qual as forças matricial e osmótica interferem nessa circulação hídrica, ainda mais, por haver redução considerável da porosidade e o aumento da retenção hídrica no perfil do solo (Figura 40).

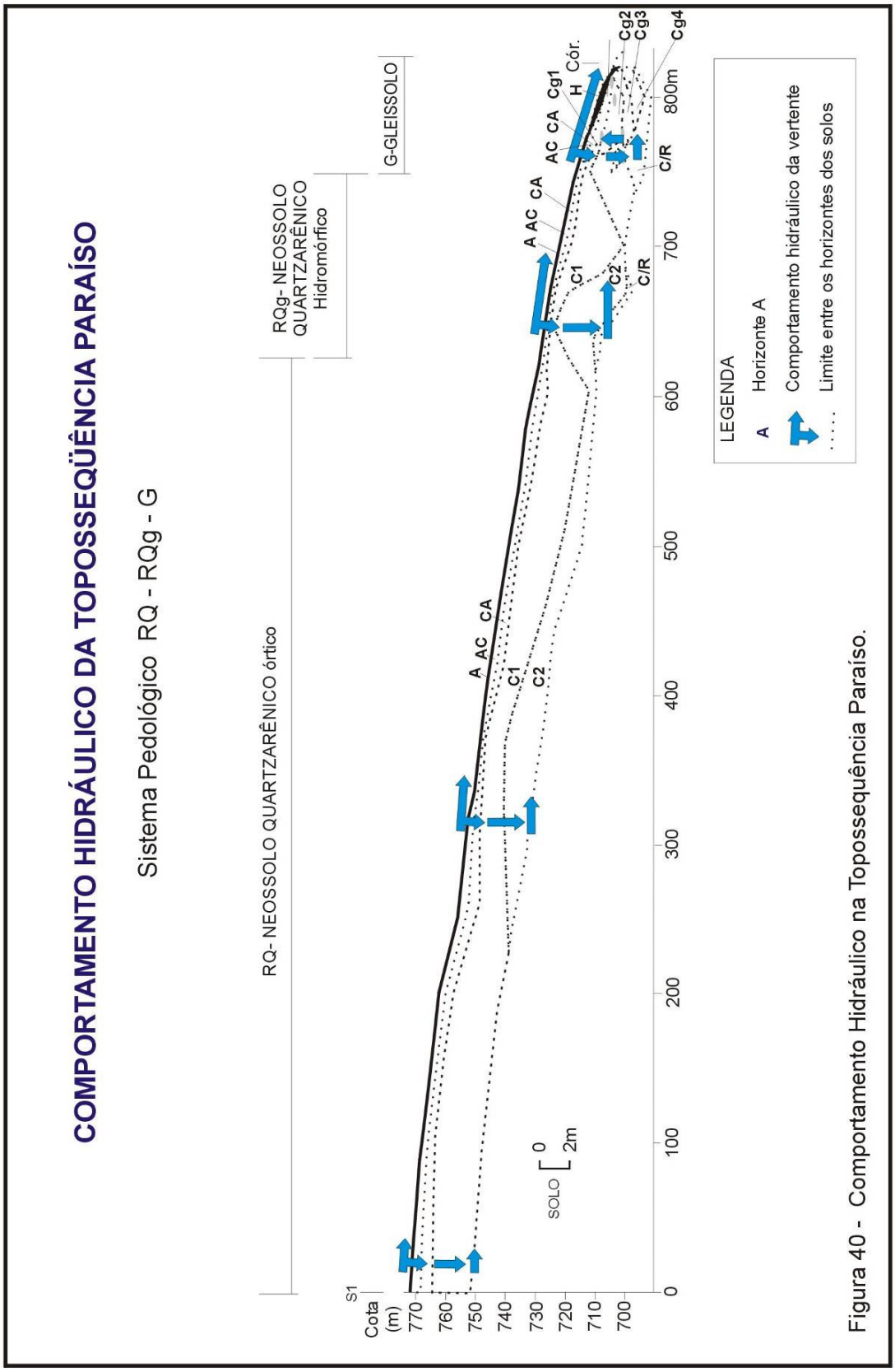


Figura 40 - Comportamento Hidráulico na Toposseqüência Paraíso.

Como mostrado anteriormente, presume-se que essa interferência na circulação lateral ou subsuperficial, acumula à montante desse solo, elevando o nível do lençol freático, dando formas assimétricas às superfícies piezométricas. Caso ocorresse o arrasamento desse solo por processo de voçorocamento, haveria o rebaixamento do nível freático por alívio de pressão hidráulica, que poderá também comprometer a estabilidade dos taludes, uma vez que, a exfiltração ocorrerá em sua base, aumentando o gradiente hidráulico. Portanto, reitera-se que, este setor da vertente deverá ser incondicionalmente preservado.

CONCLUSÕES

Os estudos realizados na região da Alta Bacia do Rio Araguaia permitiram confirmar algumas hipóteses quanto à gênese e desenvolvimento dos processos erosivos lineares, que se referem às alterações bruscas na paisagem para o uso e a ocupação de áreas naturalmente suscetíveis à erosão por atividades agropecuárias, e ao próprio funcionamento do sistema natural da área, que de uma forma geral é propício para a circulação hídrica superficial e subsuperficial. Neste sentido, quando ocorre desequilíbrio nas trocas de energia e matéria, vê-se rapidamente a resposta do sistema ambiental, representada pela degradação do solo por processos erosivos de vários tipos.

Na caracterização macromorfológica foram identificados basicamente três tipos de solo que compõem o sistema pedológico predominante na Bacia do Córrego Queixada e que ocorrem comumente em toda a Alta Bacia do Rio Araguaia, que são o Neossolo Quartzarênico órtico, Neossolo Quartzarênico hidromórfico e Gleissolo, compostos basicamente por quartzo, com grãos bem selecionados finos a muito finos e muito friáveis por ser essencialmente arenoso.

Com as análises micromorfológicas foi possível observar a distribuição dos constituintes do fundo matricial nos perfis de solo do sistema pedológico estudado, sendo que, a porosidade foi o elemento que mais se destacou por ser um fator condicionante da menor ou maior capacidade de circulação hídrica subsuperficial. Os horizontes superficiais dos solos se mostraram adensados, o que dificulta a infiltração e favorece o escoamento superfícial; o Neossolo Quartzarênico órtico e o Neossolo Quartzarênico hidromórfico são mais porosos em profundidade, o que facilita a percolação hídrica; ao contrário, o Gleissolo, que se mostra moderadamente adensado em superfície e fortemente de adensado em profundidade, o que induz ao forte escoamento superficial, este incrementado pelos fluxos superficiais de montante, e ao fraco escoamento subsuperficial, por redução considerável do espaço poroso e moderado acréscimo nos teores de argila.

Foram identificadas algumas características a respeito do comportamento pluvial na área de estudo, como por exemplo, que distribuição ao longo do ano se mostra bem regular, com as estações seca e chuvosa bem definidas, sendo o período de transição entre elas o mais preocupante do ponto de vista dos processos erosivos, pois parte vegetação ainda não estaria estabelecida.

Constatou-se que os meses mais chuvosos ocorrem no verão (ápice da estação chuvosa), que são dezembro e janeiro, e que aproximadamente 55,5% de toda chuva precipitada ocorre em momentos de reduzidas taxas de evapo(transpira)ção, o que sugere maior saturação do solo, seguida de escoamento superficial, e recarga do lençol freático, condições favoráveis ao surgimento e desenvolvimento de erosões, inclusive incisões lineares do tipo voçorocas.

Verificou-se que as intensidades das chuvas na área de estudo são muito aleatórias e imprevisíveis, e muito intensas em períodos de tempo muito curtos; porém, de uma forma geral, se mostram mais intensas no início das precipitações, fato esse constatado ao serem observados vários gráficos de chuva, portanto, ressalta-se a necessidade de continuidade desse tipo estudo, realizando-se coleta de dados por um período mais longo e em diferentes localidades.

De um modo geral, a área de estudo, incluindo-se a Sub-bacia do Córrego Queixada e mesmo a Alta Bacia do Rio Araguaia, merece atenção quanto a sua vulnerabilidade ambiental, destacando a suscetibilidade do solo frente aos processos erosivos, pois, são comuns problemas de erosão eólica na estação seca em uma enorme área de terra para cultivo que se encontra desprotegida, com ressalvas para terras cujo manejo se utilize de plantio direto; e, quando se inicia a estação chuvosa, aquelas terras desprotegidas ficam a expostas e sofrem os impactos diretos das primeiras chuvas, que comumente geram forte erosão e arraste de um volume alto de partículas, principalmente nas terras em preparo para o plantio. Após consolidada a entrada da estação chuvosa, o solo se encontra melhor protegido com forração vegetal, no entanto tem-se a atuação do escoamento subsuperficial, que é o agente desencadeador de mecanismo desestabilizador de taludes de incisões erosivas, o *piping*; isso em razão da recarga do lençol freático e/ou aumento do potencial hidráulico.

Enfim, o entendimento dos processos erosivos é sistêmico e cíclico, não devendo portanto, ser tratado de maneira fragmentada, pois assim é se torna possível mitigação de seus impactos negativos ao meio natural e ao homem. Deste modo, a seguir serão apresentadas algumas recomendações pertinentes aos estudos realizados nessa pesquisa, sendo que, várias outras sugestões poderiam ser inclusas, entretanto, adentrariam em outros campos do conhecimento, por isso, frisa-se rapidamente, a importância do trabalho multidisciplinar para se lidar com a problemática em questão.

Recomendações

Em primeiro lugar, recomenda-se que sejam incentivados pelos órgãos competentes, investimentos em mais equipamentos de coletas de dados, bem como sua logística operacional, e também em pesquisas que trabalhem essas informações. Pois, estudando-se o problema torna-se mais viável controlá-lo, podendo inclusive, evitar perdas de recursos financeiros em tentativas mal sucedidas.

Recomenda-se também que sejam realizadas outras pesquisas sobre a caracterização físico-hídrica dos solos do mesmo sistema pedológico, porém em vertente concavizada e/ou plana, a fim de se comparar os dois padrões de circulação subsuperficial nessas diferentes situações.

Nessas pesquisas, aconselha-se realizar com planejamento prévio, as análises de rotina (granulometria, argila natural, densidade do solo e das partículas, porosidade total e fertilidade), pois demanda equipamento, pessoal e tempo, e tornará o trabalho enriquecido de informações importantes para a discussão dos resultados.

Também se aconselha realizar ensaios de condutividade hidráulica dos solos em campo e em laboratório, que nesse tipo de estudo, são primordiais, e lamenta-se que nesta pesquisa não possam ter sido realizados, por problemas de custos operacionais.

O monitoramento pluvial e piezométrico se mostrou bem regular e consistente. Trata-se de um procedimento de custos relativamente baixo e que pode subsidiar informações muito importantes sobre estudos do meio físico, inclusive para outros temas, por exemplo, impactos ambientais de grandes barragens,

escorregamentos de taludes e encostas naturais, contaminação do lençol freático, saneamento e abastecimento de água, etc.

Como sugestão para minimizar a evolução de áreas degradadas por voçorocamento e àquelas com risco potencial, sugere serem realizadas as seguintes atividades:

- **Recomposição da mata ciliar e de galeria**, que além de auxiliar no controle erosivo funcionam como um filtro, retendo os defensivos agrícolas, poluentes e sedimentos para os cursos d´água;

- **Cercamento da área de preservação permanente**. Essas áreas são suscetíveis a erosão e a formação de trilhas de gado é favorável à concentração de fluxos pluviais, que possuem dificuldade de infiltração pela compactação do pisoteio, cujo resultado é a formação de sulcos erosivos em direção ao córrego, os quais podem evoluir;

- **Formação de bebedouro para o gado**, abastecido por roda-d´água, nos setores a montante do interflúvio;

- Outra alternativa, para os casos onde não seja possível construir o bebedouro, seria **criar um corredor de descida para o gado até o córrego**, reservando uma área cercada para o controle da circulação dos animais. Esse corredor de descida deverá ser projetado de forma que o escoamento superficial seja dissipado; para tanto se podem construir estruturas de madeira (paliçadas) dispostas transversalmente ao corredor, formando pequenos degraus, que diminuem a energia de escoamento da água da chuva. O corredor elaborado em locais de baixa concentração de fluxo superficial, podendo inclusive ter formato em zigue-zague, cujas laterais devem ser vegetadas. Trata-se de uma alternativa que deverá ser observada quando à reação do gado frente às estruturas de madeira, pois, podem incomodá-las e não serem bem aceitas.

- **Construção de estruturas de contenção de taludes e drenagem das voçorocas.**

Sob orientação técnica, atualmente existem várias formas de se trabalhar taludes instabilizados com materiais industrializados, como caixas de gabião e colchões

Reno, estes revestidos com geotêxtil filtro; solos reforçados com materiais geossintéticos do tipo geotêxtil e geogrelha, cujo *front* do talude reconstruído pode ser vegetado por grama em placas ou hidrossemeadura.

Para controle do efeito *piping*, no mercado especializado existem tubos microfissurados, denominados "Kananet", que ao serem revestidos com material geotêxtil, este com função drenante e de retenção das partículas finas, são drenos de boa eficácia. Como material alternativo, podem-se utilizar tubos de PVC, fissurados com uma serra metálica, também revestidos com geotêxtil. Estes tubos são introduzidos nos pontos de surgência d´água, pois são locais preferenciais do escoamento subsuperficial. Não se recomenda o uso de bambu como dreno, pois, com o passar do tempo, deteriora-se e o interior do duto se torna ainda maior.

No entanto, estas técnicas de contenção que exigem materiais e experiência técnica especializada, possuem custo mais elevado do que outras técnicas, denominadas naturais, que utilizam materiais primários, como madeira atirantada e/ou piqueteada, pedras e vegetação diversificada. Para extensas áreas degradadas, como no caso da Alta Bacia do Rio Araguaia, deve-se estudar alternativas menos onerosas e de boa qualidade, a fim de se tornarem viáveis as medidas de controle que envolvam obras de engenharia.

Quanto às áreas de pastagem e de atividades agrícolas recomenda-se a implementação de práticas conservacionistas que por serem de natureza preventiva poderão impedir a propagação de novos focos erosivos.

Por fim, com base na metodologia empregada foi possível realizar a caracterização físico-hídrica dos solos da Toposseqüência Paraíso, e identificar a área de alto risco à erosão por voçorocamento, que neste caso situa-se a uma distância de aproximadamente 60m a partir do córrego, o que reforça a necessidade de preservação e recuperação da mata de galeria, lembrando que a legislação (Lei 4.771/65) estabelece uma área de preservação permanente de apenas 30m de faixa marginal ao longo de cursos d´água de largura menor que 10m. Portanto, a recomendação é de que essa faixa seja aumentada para o dobro de sua largura, ou seja, 60m, em razão da dinâmica hidrológica constatada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AREA GEOFÍSICA. **Prospecção geoelétrica. Serra de Taquaruçu (To- 030) – Município de Palmas – Tocantins**. Relatório Técnico. São Paulo, 2002.

ASSAD, E. D., SANO,E. E., MASUTOMO, R., CASTRO,L. H. R., SILVA, F. A. M**. Veranico na região dos cerrados brasileiros frequência e probabilidade de ocorrência. In: Chuva nos cerrados: análise e espacialização**. ASSAD, E. D. (coordenador), ed. EMBRAPA, Brasília, 1994.423 p

AZEVEDO, A.A. & FILHO, J.L.A. **Águas subterrâneas**. In: OLIVEIRA, A.M.S. & BRITO, S.N.A.Geologia de Engenharia. (Organizadores). São Paulo : Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998.

BACCARO, C.A.D. Processo erosivos no domínio do Cerrado. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1999.

BARBALHO. M.G.S.; CAMPOS, A . B.; CASTRO, S.S. **Relações entre o relevo e as ocorrências erosivas na zona da Alta Bacia do rio Araguaia (GO/MT)**. IN: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. Goiânia, 2001.

BARBALHO. M.G.S. **Morfopedologia aplicada ao diagnóstico e controle de processos lineares da Alta Bacia do Rio Araguai (GO/MT).** Dissertação de Mestrado. IESA/UFG, Goiânia, 2002.

BATISTA , M.J.; NOVAES, F.; SANTOS, D.G. et. al. **Drenagem como instrumento de dessalinização e prevenção da salinização de solos. 2ª ed., revisada e ampliada.** Brasília: CODEVASF, 2002.

BERTONI, J. e LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo**. Piracicaba : Livroceres, 1985.

BIGARELLA, J.J. & MAZUCHOWSKI, J.Z. V**isão integrada da problemática erosão**. 3º Simpósio de Controle de Erosão. ABGE-ADEA: Maringá, 1985.

BOULET, R. **Análise estrutural da cobertura pedológica e a experimentação agronômica**. Anais do XXI Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, SBCS. P.431-446. Campinas, 1988.

BOULET, R. **Relatório de consultoria referente à primeira fase dos estudos realizados para recuperação da voçoroca "Chitolina", Município de Mineiros-GO**. Fundação EMAS: Mineiros, 2001.

BRADY, Nyle C. **Água do solo: características e comportamento** In: Natureza e propriedades dos solos. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Filho. 7. ed. Rio de janeiro, Freitas Bastos, 1989. 898p.

BRAGA, A.C.O. **Métodos geoelétricos aplicados**. Unesp: Rio Claro, s/d.

BREWER, R. **Fabric and mineral analysis of soils**. Krieger R. E. Ed. New York, 1976. 482p.

CAMPOS, A.B. FRANCISCO, R.A. GOMES,R.R, WEIS,L. **Diagnóstico e controle de feições erosivas lineares em bordas de chapadas urbanizadas de Goiás – o caso da "erosão do Zequinha" em Alexânia**. IN: VIII SIMPÓSIO DE GEOGRAFIA FÍSICA APLICADA. Belo Horizonte, 1999.

CAMPOS, A. B., CASTRO,S. S., SANTOS, R. R., Silva, A. A. **Geological and topographic indicators of the gully erosion at the upper araguaia river basiu, Brazil. Leuven: Anais international symposium on gully erosion under global change.** ESSC. Bélgica, 2000.

CAMPOS, A.B.; LUIZ, G.C.; MACEDO, R.A.R.; PEIXOTO, V.M.R. Análise do comportamento espacial e temporal das temperaturas e pluviosidades no Estado de Goiás. In: ALMEIDA, M.G (org.**). Abordagens Geográficas de Goiás: *o natural e o social na contemporaneidade***. Goiânia: IESA, 2002.

CAPUTO, H. **Mecânica dos solos e suas aplicações.** Vol. 02. 6ª ed. Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos, 2000.

CASTRO, S.S Micromorfologia de Solos: *pequeno guia para descrição de lâminas delgadas*. Apostila. IPT/CAPES X CFECUB/DG - USP, 1989.

_____.Micromorfologia de Solos Aplicada ao Diagnóstico de Erosão. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1999.

_____. **Diagnóstico, prognóstico e controle de erosões urbanas e rurais no Estado de Goiás e Mato Grosso do Sul**. Programa Centro-Oeste de Pesquisa e Pós-Graduação (PCOPG). Chamada de Projeto nº 001/98. Digitado. Novembro/1999.

_____. **Micromorfologia: base para descrição de lâminas delgadas.**UFG-IESA; UNICAMP-IG-DGEO. Goiânia; Campinas, 2002. (CD ROOM).

CASTRO, S.S.; BARBALHO, M.G.S.; MARINHO, G.V.M. et. al. **Condicionantes geológicos, geomorfológicos, pedológicos e de uso e manejo dos solos na circulação hídrica e processos de voçorocamento na alta bacia do rio araguaia (GO/MT). (no prelo)**

CASTRO S.S. & CURMI, P. **Bandas onduladas em solos Podzolizados - variação Marília: estruturas de transformação pedológica**. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO. CAMPINAS. Resumos, p82. 1987.

CASSETI, V. CAMPOS A.B; ROMÃO, P.A.; LIMA, C.V. **Estudos de Erosões lineares em áreas urbanas e periurbanas: uma proposta metodológica para o município de Alexânia/GO**. IN: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA. Florianópolis, 1998.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Edgar Blücher, 2ª ed. 1980.

COELHO NETTO, A.L. **Hidrologia de encosta na interface com a geomorfologia**. In: Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos. GUERRA, J.T. e CUNHA, S.B. (orgs). Ed. Bertrand, Rio de Janeiro, 1999.

COELHO NETTO, A.L. **Hidrologia** de encosta na interface com a geomorfologia. In: GUERRA, J.T. e CUNHA, S.B. (orgs). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Ed. Bertrand, Rio de Janeiro, 1996.

COSTA, A.A. **A compactação do solo do cerrado no cultivo da soja: *o caso do município de Uberlândia/MG***. IESA, UFG, 2000. (Relatório de Qualificação).

CUNHA, J.E. da. **Caracterização morfológica (macro e micro) e comportamento físico-hídrico de duas toposseqüências em Umuarama (PR): subsídios para avaliação dos processos erosivos**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, dep. De Geografa, USP : São Paulo, 1996. 130p. (Dissertação de Mestrado).

_____. **Funcionamento hídrico e suscetibilidade erosiva de um sistema pedológico constituído por Latossolo e Argissolo no Município de Cidade Gaúcha-PR**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, dep. De Geografa, USP: São Paulo, 2002.

CUNHA, J.E.; MARTINS, V.M.; NÓBREGA, M.T.; CASTRO, S.S. **Caracterização micromorfológica de uma seqüência de solos de Cidade Gaúcha-PR**. IN: VII SIMPÓSIO NACIONAL DE CONTROLE DE EROSÃO. ANAIS. Goiânia, 2001.

CUSTODIO, E. & LLAMAS, M.R. (orgs.) **Hidrologia subterranea**. 2ª ed. Ediciones Omega, Barcelona, 1996. Tomo I.

D'AGOSTINI. .L.R. **Erosão: o problema mais que o processo**. Ed. da UFSC : Florianópolis, 1999.

FARIAS, A.R. **Uso do solo da Bacia do Alta Araguaia, estado de Goiás e Mato Grosso: revisão sobre importância e mapeamento atual**. IESA/UFG, Curso de Geografia, Goiânia : 2001. Monografia.

FRANCISCO, R.A. **Caracterização dos solos e materiais similares na erosão do "Zequinha" em Alexânia-GO: Subsídios para o diagnóstico e controle**. Monografia. IESA-UFG, 2000.

FRANCO, H. A. & MELLO, G.A. **O GPR (radar de penetração de solo) como ferramenta na investigação indireta do subsolo – estudo de casos**. VI ENC. NAC. DE CONS. RODOVIÁRIA. Brasília, 2001.

GUERRA, A.J.T. Processo erosivos nas encostas. GUERRA, J.T. e CUNHA, S.B. (orgs). **Geomorfologia: exercícios, técnicas e aplicações**. Ed. Bertrand, Rio de Janeiro, 1998.

GUERRA, A.J.T. O início do processo erosivo. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1999.6

GUERRA, A..T. & GUERRA, A.J.T. N**ovo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. Editora Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 1997. 648p.

GUIDICINI, G. & NIEBLE, C.M. **Estabilidade de taludes naturais e de escavação**. São Paulo, Edgard Blücher, 1983.

IPT(ISTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS). Orientação para o combate à erosão no Estado de São Paulo, Bacia do Peixe-Paranapanema. 6v. (Relatório 24 739). São Paulo, 1986.

IPT (ISTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS). **Controle de erosão**. Secretaria de Energia e Saneamento, Departamento de Águas e Energia Elétrica/SP. 2ª ed. 1990.

KIEHL, E.J. **Manual de edafologia: *relações solo-planta***. Editora Agronômica "Ceres", Ltda : São Paulo-SP, 1979.

KLAR, Antônio Evaldo. Irrigação: Freqüência e quantidade de aplicação. São Paulo : Nobel, 1991.

LACERDA FILHO, J.V. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Mineirais do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Escala 1:500.000. 2ª edição. Org. LACERDA FILHO, J.V.; REZENDE, A. & SILVA, A. Goiânia: CPRM/METAGO/Unb, 2000.

LEMOS, R.C. SANTOS, R.D. **Manual de descrição de coleta do solo no campo. SBCS.** Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Campinas. 3º ed. 1996.

LEPSCH. **Solos: formação e conservação**. Editora Melhoramentos: São Paulo, 1991

LIBARDI, P.L. **Dinâmica da água no solo**. Piracicaba : O autor, 1995. 497p.

MAGNAGO, H.; SILVA, M.T.M.; & FONZAR, B.C. **Vegetação**. IN: PROJETO RADAMBRASIL, folha SD-22, vol.31 - Goiânia. Rio de Janeiro, 1983.

MAMEDE, L. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil. Geologia e Recursos Mineirais do Estado de Goiás e do Distrito Federal**. Escala 1:500.000. 2ª edição. Org. LACERDA FILHO, J.V.; REZENDE, A. & SILVA, A. Goiânia: CPRM/METAGO/Unb, 2000.

MAMEDE, L.; ROSS, J.L.S; SANTOS, L.M.; NASCIMENTO, M.A.L.S. **Geomorfologia**. Folha SD-22. Projeto RADAMBRASIL. Rio de Janeiro, 1983

MARINHO, G.V. e SANTOS, R.R. **Diagnóstico e proposta de controle da erosão "Buraco da Gia", Alexânia-GO**. IN: III Simpósio Nacional de Geomorfologia (Anais). Unicamp, 2000.

MARINHO, G.V.; JAWABRI, J.F. e SANTOS, R.R**. Diagnóstico e proposta de controle da erosão "Buraco da Gia", Alexânia-GO**. IN: 52ª Reunião Anual da SBPC (Anais). UNB, 2000.

MARINHO, G.V.; JAWABRI, J.F.; MEDEIROS, C.M; e CAMPOS, A.B**. Caracterização da hidrologia urbana da cidade de Alexânia-GO: subsídios ao planejamento de uso e ocupação do solo**. IN: ANAIS, VII EREGEO Departamento de Geografia/UEG, Quirinópolis-GO, 2001. P. 82-90.

MARINHO, G.V.; CASTRO, S.S.; CAMPOS, A.B.; SALOMÃO, F.X.T.; & VECHIATO, A. **Estudo piezométrico para diagnóstico de suscetibilidade a voçorocamento na Alta Bacia do Rio Araguaia (GO).** IN: XXIX CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 13 A 18 Julho, Ribeirão Preto: Unesp, 2003.

MARTINS, V.M. **Caracterização morfológica e da circulação hídrica dos solos da cabeceira de drenagem do córrego Bom Jesus no município de Cidade Gaúcha-PR**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Dep. de Geografa, USP: São Paulo, 2000.

MONIZ, A.C. **Elementos de Pedologia**. Coord. por Antônio Carlos Moniz. São Paulo : Polígono, Ed. da Universidade de São Paulo, 1972.

MORETON, L.C. **Programa Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**. Iporá. Folha SE 22-V-B. Escala 1:250.000. Estado de Goiás. org. MORETON, L.C. - Brasília: CPRM, 2001.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979. 422 p

NOVAES, A.S.S., AMARAL FILHO, Z.P., VIEIRA, P.C. FRAGA, A.G.C. **Pedologia**. IN: PROJETO RADAMBRASIL, folha SD-22, vol.31 - Goiânia. Rio de Janeiro, 1983.

OLIVEIRA, C.J.F. **A suscetibilidade dos solos aos processos erosivos lineares nas subbacias do Alto Rio Araguaia e Rio Babilônia**. Monografia, IESA-UFG, 1999.

OLIVEIRA, A.M.S. **Depósitos tecnogênicos e assoreamento de reservatórios: *exemplo do reservatório de Capivara, rio Paranapanema, SP/PR.*** FFLCH-USP: São Paulo, 1994. Tese de doutoramento.

_____. Processos erosivos e preservação de áreas de risco de erosão por voçorocas. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1999.

PENTEADO, M.M. **Fundamentos de geomorfologia**. Rio de Janeiro : IBGE, 1974.

PETRI, S. & FÚLFARO, V.J. **Geologia do Brasil.** Ed. da Universidade Federal de São Paulo, 1988.

PREVEDELLO, C.L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba : C.L., 1996. 446p.

QUEIROZ NETO, J. P. **Análise estrutural da cobertura pedológica no Brasil.** In: XXI Congr. Bras. de Ciência do Solo. Anais 415-430, Campinas, 1988.

RAMOS, D.R.M. **Análise da distribuição temporal das precipitações na alta bacia do rio araguaia e suas relações com os processos erosivos lineares.** IESA-UFG, 2003. (monografia).

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.B.; CORRÊA, G.F. Micromorfologia dos solos. In: _____ . **Pedologia: *bases para distinção de ambientes***. 4ª ed. Viçoca: NEPUT, 2002.

REZENDE, A. **Estudo dos processos de voçorocamento na bacia do Córrego Capivara na Alta Bacia do Rio Araguaia em Mineiros (GO)**. IESA-UFG: Goiânia, 2003. (dissertação de mestrado).

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. Fitofisionomias do Bioma Cerrado. In: **Cerrado: ambiente e flora**. EMBRAPA-CPAC, 1998.

SALOMÃO, F.X.T. **Processos erosivos lineares em Bauru (SP): regionalização cartográfica aplicada ao controle preventivo urbano e rural**. São Paulo, 200 p. Tese de Doutoramento FFLCH-USP. Departamento de Geografia, 1994.

_____.Controle e prevenção dos processos erosivos. IN: *Erosão e conservação dos solos*. (Organizadores) GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1999.

SALOMÃO, F.X.T. & IWASA, O.Y. **Erosão e a ocupação rural e urbana**. In: Curso de Geologia de Engenharia: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, Divisão de Geologia, 1995.

SANTOS, R.M.M. **Caracterização geotécnica e análise do processo evolutivo das erosões no muncípio de Goiânia**. Dissertação de Mestrado em Geotecnia. Departamento de Engenharia Civil - UNB : Brasília, 1997.

SANTOS, L.J.C**. Estudo morfológico da toposseqüência da pousada da esperança, em Baurú, SP: subsídio para compreensão da gênese, evolução e comportamento atua dos solos**. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Dep. de Geografa, USP: São Paulo, 1995. (Dissertação de Mestrado).

_____. Pedogênese no topo do platô de Bauru – SP*: o caso da Bacia do Córrego da Ponte Preta*. Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Dep. De Geografa, USP: São Paulo, 2000.

SANTOS, L.J.C; CASTRO, S.S. SALOMÃO, F.X.T. **Organizações micromorfológicas e sua relação com a circulação hídrica e os processos erosivos lineares: o exemplo de Bauru.** In: V Simpósio Nacional de Controle de Erosão. Bauru, 1995.

SHIRAIWA, S. & MOURA, I.B. **Caracterização da superfície piezométrica, em uma vertente na alta bacia do rio Araguaia, com métodos geofísicos**. XIV RBCSA. Resumo e Painel. Cuiabá, 2002.

SILVA, A.A. **Estudo das relações entre o sistema viário, a rede de drenagem e as ocorrências erosivas lineares na bacia do Alto Rio Araguaia**. Monografia, IESA-UFG, 2000.

SILVA, A.S. Análise morfológica dos solos e erosão. In: GUERRA, A.J.T.; SILVA, A.S. e BOTELHO, R.G.M. **Erosão e conservação dos solos**. Rio de Janeiro : Bertrand Brasil, 1999.

SIMÕES, L.B. **Integração entre um modelo de simulação hidrológica e sistema de informação geográfica na delimitação de zonas tampão ripárias**. Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp: Botucatu, 2001. (tese de doutoramento).

SOUSA JÚNIOR, J.J; FREIRE, F.A.; OLIVEIRA, F.C.; SILVA, R.H.; BONOW,C.W & MOREIRA, H.L. **Geologia**. IN: PROJETO RADAMBRASIL, folha SD-22, vol.31 - Goiânia. Rio de Janeiro, 1983.

SUGUIO, K. & BIGARELLA, J.J. **Ambientes fluviais.** 2ª ed. Florianópolis: Editora da UFSC: Editora da Universidade Federal do Paraná, 1990.

VITTE, A.C. **Metodologia para cálculo de perdas de solo em bacias de drenagem**. In: Boletim Paranaense de Geociências. nº45. Ed. Universidade Federal do Paraná/SC: Curitiba, 1997.

TOPOSSEQUÊNCIA PARAÍSO

SONDAGENS

S1

00 - 10 cm — 10 YR 4.5/4, arenoso fino, solto;
10 - 20 cm — 10 YR 4/4, arenoso fino, solto;
20 - 30 cm — 10 YR 6/4 a 5/4 bifásico, arenoso, fino, solto;
30 - 40 cm — idem;
40 - 50 cm — 10 YR 6/Y dominante, arenoso fino solto, mancha de areia lavada;
50 - 60 cm — idem, início de mais amarelado;
60 - 70 cm — idem, 10 YR 6/6, ligeiramente mais úmido, alguns volumes milimétricos difusos avermelhado poucos;
70 - 80 cm — idem;
80 - 90 cm — idem, mas os volumes vermelhos ficam mais nítidos;
90 - 100 cm — idem;
100 - 110 cm — idem, mas os volumes vermelhos sumiram;
110 - 140 — idem;
140 -150 cm — 7.5 YR 5/8, arenoso fino solto, ligeiramente mais úmido, homogêneo;
200 cm — idem;
250 cm — idem;
300 cm — idem, mais avermelhado;

S2 "Ponto 16, 100m a jusante de S1"

00 - 10 cm — 10 YR 5/4 - arenoso fino solto;
10 - 20 cm — idem;
20 - 30 cm — idem;
30 - 40 cm — idem;
40 - 50 cm — idem;
50 - 60 cm — idem c/ muita areia lavada;
60 - 70 cm — 10 YR 4.5/6;
70 - 80 cm — 7.5 YR 5/6;
150 cm — idem, ligeiramente mais úmido;
200 cm — idem, mas passou p/ 7.5 YR 5/3;
300 cm — idem, mais avermelhado e homogêneo;
400 cm — idem.

S3 "Ponto 45 100 a jusante de S2"

00 - 10 cm — 10 YR 4.5/4 arenoso, fino, friável, solto;
10 - 20 cm — idem, mas passou a 5/4;
20 - 30 cm — idem (10 YR 5/4);
30 - 40 cm — 10 YR 5/4 a 5/6;
40 - 50 cm — idem;

50 - 60 cm — idem;
60 - 70 cm — idem, com areia lavada;
70 - 80 cm — idem;
80 - 90 cm — idem, aparecem zonas avermelhadas milimétricas, difusa na ponta do trado;
90 - 100 cm — 7.5 YR 5/8 homogêneo;
100 - 150 cm — idem;
150 — idem.

Síntese
Observação

Volumes superficiais e subsuperficiais se repelem de S1 a S3 e são arenosos finos e soltos;
Esses volumes são:
(0 a +/- 80/100 cm sendo que S1vai a 150)
Superficiais, 10 YR 5/4 a 6/4 (em profundidade) muito soltos, as vezes bifásico;
Subsuperficiais 7.5 YR 5/8 podendo ter uma transição em 5/6.

S4 Ponto 74 "100 m a jusante de S3"

00 - 10 cm — 10 YR 5/4 arenoso, fino, muito solto;
10 - 20 cm — 10 YR 4/4 arenoso fino muito solto;
20 - 30 cm — idem;
30 - 40 cm — 10 YR 5/4 no mais idem;
40 - 50 cm — idem, ligeiramente mais úmido;
50 - 60 cm — idem, com manchas dispersas de areia lavada;
60 - 70 cm — 10 YR 5/5 indo para o amarelo;
70 - 80 cm — 10 YR 5/6 mais amarelo;
80 - 100 cm — 7.5 YR 5/6 prossegue ate 200 cm;
200 cm — 7.5 YR 5/8 homogêneo ate 300 cm;
300 cm — 7.5 YR 5/8 homogêneo;
400 cm — 7.5 YR 5/8 homogêneo;

S16 " 50 m a montante da Trincheira 1 ou S5"

0 - 10 cm — 10 YR 5/3;
20 cm — idem;
30 cm — 10 YR 5/4, mais vermelho;
40 cm — idem;
50 cm — 7.5 YR 5/4;
60 cm — idem;
70 cm — 7.5 YR 5/6;
80 cm — idem;
90 cm — idem;
100 cm — idem;
110 cm — idem;
120 cm — idem, mais vermelho;
130 cm — idem;
140 cm — idem;
150 cm — idem;
160 cm — 5 YR 5/8, mais amarela;

S15 "30 m a montante da Trincheira 1"

20 cm — 10 YR 5/3, arenoso, solto;
30 cm — idem, mais vermelho;
50 cm — 7.5YR 4/6;
70 cm — idem;
80 cm — 7.5 YR 4/4;
90 cm — 7.5 YR 5/6;
100 cm — idem;
110 cm — idem;
120 cm — idem;
130 cm — idem, mais vermelho;
140 cm — 5 YR 5/8.

S5 "Ponto 96 100m a jusante de S4"

00 - 10 cm — 10 YR 5/4 arenoso fino muito solto;
10 - 20 cm — 10 YR 5/4 arenoso fino muito solto;
20 - 30 cm — 10 YR 4/4 arenoso fino muito solto;
30 - 40 cm — 10 YR 5/3 arenoso fino muito solto, mais presença abundante de areia lavada.
40 - 50 cm — idem;
50 - 60 cm — idem;
60 - 70 cm — idem;
70 - 80 cm — idem;
90 - 100 cm — 7.5 YR 5/4, arenoso, fino, muito solto, mais presença abundante de areia lavada;
100 - 130 cm — idem;
130 - 140 cm — 7.5 YR 5/8 arenoso fino muito solto mais presença abundante de areia lavada;
140 - 150 cm — idem;
150 - 170 cm — 7.5 YR 5/8 arenoso fino muito solto mais presença abundante de areia lavada;
170 - 180 cm — 7.5 YR 5/8 arenoso fino muito solto mais presença abundante de areia lavada com manchas centimétricas de material arenoso cinza - claro (areia lavada);
180 - 190 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
190 - 200 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
200 - 210 cm — 7.5 YR 5/8 idem, mais lentes esparsas centrimétricas de material avermelhado argiloso (?);
210 - 230 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
230 - 240 cm — 7.5 YR 5/5 idem, mais nódulos de ferro (pequenos claros milimétricos);
240 - 280 cm — 7.5 YR 5/8 idem, mais aumento dos nódulos de ferro em proporção maior;
290 - 300 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
300 - 330 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
330 - 390 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
390 - 400 cm — 7.5 YR 5/8 idem.

S6 "Ponto 100 m a jusante de S5"

00 - 10 cm 10 YR 5/4 arenoso fino muito solto.
10 - 20 cm — idem;
20 - 30 cm — idem;
30 - 40 cm — idem;

40 - 50 cm — 10 YR 5/4 arenoso fino, muito solto, mais presença abundante areia lavada.
50 - 60 cm — idem;
60 - 70 cm — muito friável, bifásico (10YR 5/4 e 7.5YR 5/6, trado penetra com facilidade;
70 - 80cm — idem;
80 - 90 cm — idem, mais aumenta a tonalidade 7,5 YR 5/6;
90 - 100 cm — 7.5 YR 5/6 homogêneo;
140 -150 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
200 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
300 cm — 7.5 YR 5/8 idem;
340 cm — 7.5 YR 5/8 presença de manchas com areia lavada;
400 cm — 7.5 YR 5/8 idem.
400 cm — 5 YR 5/8
410 cm — 5 YR 5/8
420 até 590 cm — idem.

S7

00 - 10 cm — 10 YR 5/4 arenoso, fino, muito solto;
10 - 20 cm — 10 YR 4/3, pasto mais denso.
20 - 30 cm — 10 YR 5/4 idem;
30 - 40 cm — idem;
40 - 50 cm — 10 YR 5/4 com manchas centrimétricas 7.5 YR 5/6;
60 - 70 cm — 10 YR 5/4 idem;
70 - 80 cm — bifásico (10 YR 5/4 e 7.5 YR 5/6);
80 - 90 cm — idem;
90 - 100 cm — 7.5 YR 5/6, homogêneo;
150 cm — 7.5 YR 5/8, homogêneo;
200 cm — 7.5 YR 5/8, homogêneo; a partir de 200 cm, cor entre 7.5 YR 5/8 e 5 YR 5/8;
280 cm — manchas avermelhadas isoladas milimétricas;
300 cm — idem, mais 5 YR 5/8 a partir de 360 cm volta homogeneidade (sem manchas);
400 cm — idem.

S13

00 - 10 cm — 10 YR 5/3 arenoso muito solto;
10 - 20 cm — 10 YR 5/3 arenoso muito solto;
20 - 30 cm — 7.5 YR 5/4 zonas mais escuras em 4/3;
30 - 40 cm — idem;
40 - 50 cm — idem, mais homogêneo e arenoso;
50 - 60 cm — 7.5 YR 4/6 arenoso;
60 - 70 cm — 5 YR 5/6 arenoso;
80 - 90 cm — idem, um pouco mais de argila, ligeiramente úmido;
90 - 100 cm — idem;
100 - 110 cm — idem;
110 - 120 cm — 5 YR 5/8, muito friável, arenoso, ligeiramente úmido, características restantes idem;
120 - 130 cm — idem;
130 - 140 cm — idem;
150 até 340 cm — idem;
350 cm 2.5 YR 5/8, idem;
360 cm idem;

370 cm idem;
380 cm idem;
400 cm idem.

S8

00 - 10 cm 10 YR 5/4, arenoso, fino, muito solto.
10 - 20 cm — idem;
20 - 30 cm — idem;
30 - 40 cm — idem;
50 - 60 cm — idem;
60 - 70 cm — 10 YR 5/3, arenoso fino, muito solto;
70 - 80 cm — 10 YR 5/3, inicio transição 10 YR 5/3 e 7.5 YR 5/6;
90 - 100 cm — bifásico passagem definitiva para 7.5 YR 5/6 a partir 110 cm (homogêneo);
150 cm — 7.5 YR 5/8;
170 cm — bifásico (7.5 YR 5/8 para 5 YR 5/8);
200 cm — idem;
280 cm — manchas avermelhadas isoladas centimétricas;
300 cm — idem;
400 cm — idem.

S10 "A 50 m a jusante de S8"

00 - 10 cm 10 YR 4/4, arenoso, fino, muito solto;
10 - 20 cm — idem;
20 - 30 cm — idem;
30 - 40 cm — bifásico pontualmente (10 YR 4/4 e 7.5 YR 5/8);
40 - 50 cm — 10 YR 4/4;
50 - 60 cm — 10 YR bifásico 10 YR 4/4 e 7.5 YR 5/8;
60 - 70 cm — idem, porém predominante cor 7.5 YR 5/8;
90 - 100 cm — idem;
120 cm — 5 YR 5/8;
150 cm — idem;
200 cm — a partir de 200 cm manchas amarelas com baixa freqüência de nódulo de ferro (cm).
220 cm — nível concrecionário com nódulos vermelhos - escuros ou amarelados, fragmentos de arenito alterado, nódulos centimétricos de ferro;
230 cm — idem, mais concreções e nódulos até 3 cm de argila;
250 cm — diminui o nível nodular e a cor dominante é 5 YR 5/8 muito úmida (2.5 YR);
260 cm — desaparecimento do nível nodular e cor homogênea 5 YR 5/8, aumentando umidade;
300 cm — água livre na rocha alterada (?);
310 cm — aparecimento de seixo de quartzo com 3 cm e cor 2.5 YR 4/8.
400 cm — 25 YR 4/8 com manchas amareladas / ocre.
420 cm — rocha alterada.

S12

00 - 10 cm — 10 YR 5/3;
10 - 20 cm — 10 YR 5/4 com zonas em 3/3;
20 - 30 cm — idem;
30 - 40 cm — idem;
40 - 50 cm — idem;

50 - 60 cm — 10 YR 6/3;
60 - 70 cm — idem;
70 - 80 cm — 7.5 YR 6/4;
80 - 90 cm — idem;
90 - 100 cm — 7.5 YR 5/8 com pequeno volume mais vermelho em 7.5 YR 5/8;
100 - 110 cm — idem , porém c/ pequeno volumes subcentimétricos de areia lavada;
110 - 120 — idem, no entanto, aumentava as manchas brancas (areia lavada);
150 cm — 10 YR 7/6 com zonas 6/8 e 2.5 Y 7/4;
160 cm — 2.5 Y 6/6;
170 cm — 2.5 Y 7/4, borda do freático, matriz com nódulos concrecionários escuros,
180 cm — nível concrecionário, idem;
190 cm — idem, com fragmentos em granulos de quartzo;
200 cm — continuação do nível concrecionário com presença de textura média a argilosa;
210 cm — 5 YR 5/6 dominante com zonas e laminas em 2.5 YR 7/6 e restos de nódulos e concreções de contato. Textura ganhou argila embora continue arenosa, úmido;
220 cm — 5 YR 5/6 com manchas brancas;
230 cm — idem;
250 cm — idem c/ manchas brancas mais acentuadas;
270 cm — arenito alterado.
280 cm — **N.A;**
300 cm — 2.5 YR 5/6.

S11

00 - 10 cm — 10 YR 5/3 e 3/3 bifásico, arenoso, fino, muito solto, "nodulos" de oxidação como pontuações milimétricas 7.5 YR 5/8.
10 - 20 cm — idem.
20 - 30 cm — idem.
30 - 40 cm — idem.
40 - 50 cm — 10 YR 5/3 e 4/2 bifásico, o 5 YR 5/8 corresponde a areia lavada e o 5 YR aos nódulos de oxidação;
50 -60 cm — nível de oscilação, porém aumentaram as zonas ou faixas;
60 - 70 cm — idem, porém o mais claro passou para 10 YR 7/3 e é dominante;
70 - 80 cm — 10 YR 6/3, bruno pálido, zonas mais escuras 10 YR 5/3 e os nódulos com 10 YR 5/8. Estrutura arenosa com umidade;
80 - 90 cm — 10 YR 7/3 aumento centimétrico das zonas avermelhadas, matriz 10 YR 7/3. Praticamente deixou de ser bifásico. As zonas avermelhadas aumentam o tamanho diminuem sua freqüência;
90 - 100 cm — 10YR 7/3 dominante, idem.
100 - 110 cm — 10 YR 7/3, água livre, idem.
110 - 120 cm — idem, aumentam as zonas vermelho-amarelados em coalescentes e freqüência.
120 - 130 cm — retorno de bifásico, 7.5 YR 7/4 e 2.5 YR 7/2 com zonas em 7.5 YR 6/6, cujo o núcleo está em 5 YR 5/8. Apresenta um pouco mais de argila;
160 - 170 cm — um pouco de 10 YR 6/6 e zonas de hidromórfico lavado em 2.5 YR 7/3;
170 - 180 cm — 2.5YR 7/4 dominante com nódulos subcentimétricos duros;
200 cm 2.5 YR 6/6 e 7/3 continua bifásico.
200 - 210 cm — idem, com restos de vermelho;
230 cm aumento considerável de nódulos, não são abundantes, são normais. Presença de litorelíquia do arenito.
250 cm — **N.A.** idem.
260 cm — 7.5 YR 6/6;
270 cm — 7.5 YR 5/6 homogêneo;
280 cm — 5 YR 5/6;
300 cm — 5 YR 5/8;

310 cm — idem;
320 cm — idem;
330 cm — idem;
340 cm — está indo para o 2.5 YR;
350 cm — 2.5 YR 6/6;
370 cm — idem, manchas mais avermelhadas e esbranquiçadas, proximidade c/ alterita.

S09

0 -10 cm — 2.5 Y/1, textura arenosa, com matéria orgânica e raízes faciculadas finas, friável, úmido;
10 - 20 cm — 2.5Y 2.1/1, com zonas milimétricas claras e difusas em 6/1 e pequenos volumes arredondados em 7.5 Y 5/8, idem resto;
20 - 30 cm — 2.5 Y/1, idem resto;
30 - 40 cm — 10 YR 4/1 c/ zonas esbranquiçadas abundantes e volumes amarelados em 7.5 YR;
40 - 50 cm — 10 YR 5/2 dominante, com numerosas áreas difusas e vermelhas, estas maiores, muito úmido, idem resto;
50 - 60 cm — 10 YR 6/2, com zonas centimétricas em 10 YR 6/8 e zonas brunas, no mais é arenoso com traço de argiloso;
60 - 70 cm — 10 YR 6/1, 6/2, 6/8; 5YR 5/8 com evidências de estratificação milimétrica, muito úmido, restante idem;
70 - 80 cm — idem, o claro passou para 2.5 Y 8/1; **N.A**.;
80 - 90 cm — 2.5 Y 8/8 homogêneo;
90 - 100 cm — idem;
100 - 110 cm — desceu quase sozinho (piping?);
150 cm — retorno das manchas vermelhas;
160 cm — aparece o material 5YR 5/8 em zonas 10 YR 5/8 dominantes, arenoso, dentro do **N.A**.;
170 cm — 5 YR 5/8;
190 cm — domina 5 YR 5/8 e pequenas zonas difusas avermelhadas, zonas arredondadas com coloração vermelho-escuro nodular;
210 cm — 5 YR 5/8; a 2m o N.A. está nivelado a 1 m;
250 cm — 10 YR 7/6, com zonas milimétricas alongadas, esbranquiçadas;
300 cm — 10 YR 7/8, areia mais grossa com nódulos róseos a avermelhados;
320 cm — presença de placóides de cor branca, zonas de coloração mais escura com areia um pouco mais grossa;
350 cm — presença de material avermelhado/róseo 2.5 YR 6/4.

S14 "11 metros a jusante de S9"

00 - 10 cm — 2.5 YR 2.5/1, raízes, manchas de areia lavada e raízes;
10 - 20 cm — 10 YR 3/1, areia lavada; menos raízes, pouca argila;
20 - 30 cm — 10 YR 6/1 a 7/1, arenosa, presença de água livre
30 - 40 cm — 7.5 YR 5/3 areia fina;
40 cm — *sloop*; **N.A.,** idem;
50 cm — idem, manchas de areia branca centimétricas;
60 cm — 5YR 4/2 muita mancha de areia lavada centimétrica, água livre;
70 cm — idem, desaparece a areia lavada.
80 cm — 5 YR 6/3.5
90 cm — idem;
100 cm — idem;
110 cm — idem;

120 cm — idem;
130 cm — idem;
140 cm — 7.5 YR 7/6 com 6/6 e com 8/2;
150 cm — idem, adicionada de 2.5 YR 6/6; dominado, 7.5 YR 2/4;
170 cm — rocha alterada, cores variegadas;
180 cm — idem;
190 cm — idem;
200 cm — idem.

S18 "6 metros a jusante de S14 e 6,5m a montante de S17" - várzea

0-20 cm - material orgânico, úmido, cor 2.5N (preto), muito plástico, muito pegajoso, argilo-arenoso;
20-30 cm - aparece mais areia a partir de 25cm com manchas amareladas. A cor predominante é 10YR6/1, muito úmido;
30-40 cm - a partir de 35cm, surgimento de água em abundância. Cor 10 YR 6/4 com manchas mais amareladas, arenoso;
40-60 cm - 7.5YR 6/3, areia homogênea;
60-80 cm - 7.5YR 7/4;
80-100 - até 95cm, idem anterior, a partir daí, 10YR 7/8, areia homogênea fina;
100-130cm - 10YR 7/8 a 8/8, arenoso homogêneo fino;
130-155cm - a partir de 145cm rocha alterada, 2.5YR 6/3.

S17 "12,5 metros a jusante de S14 e 4 m a montante do córrego Capivara" - várzea

0-20 cm - material orgânico, úmido, cor 2.5N (preto), muito plástico, muito pegajoso, argilo-siltoso;
20-30cm - idem;
30-50 - idem;
50-90 - idem - NA em 50cm;
90-200 - areia 7.5 YR 7/3 (rosa) muito úmido;
220-240 - sedimento argilo-arenoso, bifásico (amarelo e rosa), 10YR 8/2 e 7/3, predominando o rosa;
240cm - material arenoso 7.5 YR 7/3. Desmoronamentos no furo de sondagem

PERFIS DE SOLO

PERFIL DE SOLO 01 (P1) "Posição S5"

Areia Quartzosa espessa vermelho-amarelo; terço médio de rampa, longa, convexa, declive menor que 5%. Contra-vertente jusante, arenito Botucatu, pastagem (pasto sujo, reformado em 1997) c/ Brachiaria falhada, nelore de corte. Compartimento morfopedologógico III (colinoso convexiforme, rebaixado sem arenito Botucatu e diques da Formação Serra Geral, com cabeceiras côncavas amplas, tipo anfiteatro).

A — 0 - 10 cm — Bruno (10 YR 4/3) com zonas milimétricas de areia lavada, esbranquiçadas; estrutura em blocos subangulares médios a grandes 1/2 cm moderados; ligeiramente duros, muito friável, não plástico e não pegajoso; porosidade intergrãos; raízes fasciculadas finas a muito finas abundantes; transição plana abrupta.

AC — (10 e 12) - 37 (30) cm — Bruno claro acinzentado (10 YR 6/3.5) numerosos volumes arredondados (pedotúbulos) em 10 YR 4/2, areia franca; sem estrutura, maciça incoerente; solta, úmida, friável não plástica e não pegajosa; porosidade intergrãos mais tubular mm de areia lavada esbranquiçada associados aos pedotubulos (material claro a avermelhados; pedotúbulos bem constrastado, centrimétricos de 0.5 a 3 cm, preenchimento com material do A; raízes fasciculadas finas comuns, raras, pivotantes centimétricas; transição gradual ondulada.

CA — 38 (30) a 63 (60) cm — Bruno amarelado (10 YR 5/4) com volumes de pedotúbulos brunos contrastados, mais volumes de areia lavada; arenoso maciço incoerente; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; porosidade intergrãos; raízes fasciculadas finas muito poucas, algumas pivontantes centimétricas; presença de pedotúbulos bruno escuros em menor quantidade e dimensão que no anterior; aparecimento de alguns volumes centimétricos com material vermelho similar a base do perfil; transição gradual ondulada.

C11 — 63(60) a 90 (80) cm — Amarelo avermelhado (7.5 YR 6/6) poucas zonas brunas (pedotúbulos pequena e esparsas); arenoso; macio, friável, não plástico e não pegajoso; porosidade intergrãos tubular milimétrica fina muito fina comum; feições pedotúbulos brunos poucos e menos existentes que os anteriores; raízes rasas fasciculares muito finas; menos volume de areia lavada, quando existente são milimétricos e difusas, ligeiramente mais úmidas; transição difusa ondulada.

C12 - 90 a 107 cm — Bruno forte (7.5 YR 5/6); arenoso; maciço incoerente; macio, friável, não plástico e não pegajoso; desaparecem os pedotúblulos brunos e quando aparecem estão agrupados (zonas preferenciais); permanecem areia lavada como antes; transição plana e gradual.

C — 107 a 200 + cm — Bruno forte (7.5 YR 5/8); arenoso; macio, friável, não plástico e não pegajoso; desaparecem os pedotúbulos húmicos, raros indícios de areia lavada, aparecem galerias de formigas com matéria orgânica.

Continua com tradagem - 220 até 470 — Vermelho amarelo (5 YR 5/8), arenoso, embora com um pouco mais de argila, muito friável, não plástico, não pegajoso, homogêneo; a partir de 370, mais úmido.

PERFIL DE SOLO 02 (P2) "entre S7e S8, 25 m à jusante da S13"

A — 00 a 3 cm - Bruno (10 YR 5/3); arenoso; blocos pequenos e muito pequenos fracos; solto, muito friável, não plástico e não pegajosos (raízes fasciculadas finas e abundantes); volumes mais escuros, milimétricos, duros; transição plana abrupta;

AC — 3 - 39 (34) cm – Bruno (7.5 YR 5/4); arenoso; maciço incoerente; porosidade intergrãos poucos poros milimétricos visíveis; numerosos volumes mais brunos; arredondados milimétricos e centimétricos mais resistentes como na T1; envolvidos por areia clara; solto, não plástico e não pegajoso; é possível que os volumes mais visíveis sejam pedotúbulos; raízes finas comuns; transição plana gradual ligeiramente ondulada.

CA — 39 - 66 cm – Bruno claro (7.5 YR 6/4) com volumes brunos milimétricos, volumes menos contrastados que o anterior; maciço incoerente; porosidade intergrãos e tubular muito fina pouca; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; alguns pedotúbulos, raízes fasciculadas finas comuns raras pivotantes; transição plana difusa.

C1 — 66 - 104 cm – Bruno forte (7.5 YR 5/6); areia lavada aparentemente em 7/4 e zonas difusa em 5YR 7/6 maciço incoerente; porosidade intergrãos e tubular muito fina pouca; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; mais avermelhado e menos tubos escuros; diminuíram a raízes (pouco); transição plana difusa.

C2 — 104 - 200 cm — Vermelho-amarelado (5 YR 5/8); arenoso; macio, friável, não plástico e não pegajoso; desaparecem os pedotúbulos húmicos; areia lavada.

210 cm — 5 YR 5/8 arenoso;
220 cm — idem;
230 cm — idem;
240 cm — idem;
250 cm — idem;
260 cm —idem.
270 cm — idem;
280 cm — idem (volume de areia lavada - disperso);
290 cm — idem manchas;
300 cm — idem manchas;
310 cm — idem manchas;
320 cm — 5 YR 5/8;
330 cm — idem;
340 cm — idem;
350 cm — idem, areia lavada e varias pontuações vermelhas esparsos;
360 cm — idem;
370 cm — idem;
390 cm — idem;
400 cm — idem;
410 cm — idem;
420 cm — idem, volume de areia lavada;
430 cm — idem;
440 cm — idem, mancha vermelha;
450 cm — idem, volumes maiores de areia lavada;
460 cm — idem;
470 cm — idem;
480 cm — idem;
490 cm — idem;
500 cm — Vermelho (2.5 YR 5/8);
510 cm — idem.

PERFIL DE SOLO 03 (P3)

1)7.5 YR 6/6 homogêneo, areia fina;

2)7.5 YR 5/6 com volumes vermelhos difusos 5 yr 5/6, pedotúbulos numerosos;

3)7.5 YR 4/6 com numerosos volumes brunos desconhecidos;

4) idem anterior;

5) 7.5 YR 5.5/6.

ENQUADRAMENTO GEOGRÁFICO.

Localização

Equivalente a S10; Trecho setor jusante da vertente; AQ espessa vermelho-amarelo, rampa convexa , quase na ruptura para o segmento final, Arenito Botucatu, pastagem no limite com o Cerrado.

Compartimento morfopedológico III (vide Trincheira 01)

A 00 - 9(10) cm — Bruno (10 YR 5/3) com volumes brunos milimétricos a centimétricos em 10 YR 4/2; arenoso; porosidade fissural interagregada (porosidade estrutural); médio a pequeno subangular 5 e 10 mm; solto com alguns agregados um pouco mais consistentes, friável; não plástico e não pegajoso.

Caracteríticas: Pedotúbulo 10 YR 4/2; sistema radicular muito presente, fasciculadas finas e muito finas; transição abrupta (2 cm) plana.

AC — 9(10) - 50 cm — Bruno acinzentado escuro (10 YR 6/3); arenoso; fraco médio a pequenos (20-5mm) blocos subangulares; ligeiramente duro; friável, não plástico e não pegajoso; porosidade intergrãos tubular pouco fina; raízes fasciculadas muito finas comuns; pedotúbulos de 1 cm; matriz de areia lavada, restante do horizonte A; transição clara ondulada.

CA — 51-76 cm — Bruno claro (7,5 YR 6/4); arenoso; maciça incoerente; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; feições; numerosos volumes brunos milimétricos; alguns pedotúbulos centimétricos brunos moderadamente contrastados e resíduos agregados do horizonte A, similares aos agregados do horizonte anterior; raízes fasciculadas finas, muito finas poucas, raras pivotantes; presença de galerias decimétricas, arredondadas, arenosas ou preenchidas com volumes brunos de matéria orgânica; transição clara plana.

C1 — 76-120 cm — Amarelo avermelhado (5 YR 6/8); arenoso com argila (dispersiva em água); tendência a formação de blocos angulosos a subangulares grandes muito fracos; porosidade tubular fina muito fina comum; macio, muito friável, não plástico e não pegajoso; alguns pedotúbulos e galerias de formigas; raízes fasciculadas finas a média poucas; transição difusa plana;

C2 — 120-200 cm — Vermelho-amarelado (5YR 5/8) arenoso homogêneo com um pouco de argila; maciça; solta, muito friável, não plástico e ligeiramente pegajoso; raízes raras pivotantes, subcentimétricas; feições; presença de bolsões de areia clara decimétrica e elipsoidais; transição difusa plana.

C3 — 200 cm + — Amarelo avermelhado (7,5 YR 7/8); arenoso homogêneo com um pouco de argila; concrecionário com pigmentos de rocha.

TRINCHEIRA 04

A — 0-8 (10) cm **—** Bruno acinzentado escuro (10 YR 4/2); arenoso; fracos pequenos a muito pequenos blocos arredondados; solto, muito friável, não plástico e não pegajoso; raízes fasciculadas finas a muito finas, abundantes; porosidade fissural interagregadas dominantes; carvão(?); transição ondulada abrupta;

AC — 8-38 cm **—** Bruno acinzentado (10 YR 5/2); arenoso; moderados grandes a muito grandes blocos angulosos a subangulosos; porosidade tubular fina e muito fina comum; presença de numerosos volumes brunos mais resistentes centimétricos; raízes fasciculadas finas a médias e algumas pivotadas subcentimétricas; do meio para base há o aparecimento de volumes avermelhados em 5YR e 10R de tubos contrastados (oscilação do lençol); alguns pedotúbulos, brunos escuros resistentes; transição plana gradual.

CA — 38-71 cm **—** Bruno acinzentado (10 YR 6/3), arenoso; com volumes em bruno forte (7,5 YR 5/6) irregulares esparsas relacionadas a oscilação NA; porosidade tubular fina e muito fina abundante; diminui os volumes brunos mais resistentes, entretanto maciços, incoerentes, presença de canais biogênicos de formigas centimétricas; raízes fasciculadas finas a muito finas comuns; transição clara plana, a 70 cm início volume unido sem água livre;

Cg1 — 71-130 cm **—** Amarelado claro acinzentado (2,5 Y 7/4); areno-argiloso, com os maiores volumes avermelhados do anterior; mais arredondados e que vai coalescendo em profundidade, com transição para 10 YR 7/4; porosidade tubular fina a muito fina fraca, diminuindo em relação ao precedente; presença de galeria de insetos; galerias de formigas preenchidas com matéria orgânica, ou com volumes brunos similares aqueles do volume 2; transição ondulada difusa.

Cg2 — 150-195 cm **—** Amarelo (10 YR 7/6) misturado com amarelo avermelhado (7,5 YR 6/8) e vermelho amarelado (5 YR 5/8) (variegado) e zonas hidromórficas com 2,5 Y. Lençol confinado neste nível, argilo-arenoso.

Piezômetros (profundidade do lençol freático - em metros)

Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27
27/7/2001	5,42	5,42	4,71	4,61	3,59	3,54	3,08	2,69	2,55	2,35	2,11	1,80	1,72	1,57	1,36	1,05	1,52	0,83	0,91	0,78	0,94	0,89	0,98	1,12	0,96	1,04	1,04
29/7/2001	6,83	5,94	4,62	4,65	3,60	3,60	3,14	2,71	2,60	2,37	2,18	1,87	1,74	1,50	1,37	1,12	1,59	0,90	1,00	0,78	1,04	0,90	1,00	1,18	1,04	1,00	1,04
5/8/2001	7,00	6,00	4,71	4,50	3,62	3,65	3,15	2,78	2,63	2,50	2,16	1,50	1,78	1,82	1,57	1,27	1,78	1,12	1,28	1,00	1,20	1,10	1,08	1,12	1,14	1,10	1,13
12/8/2001	7,09	6,70	4,75	4,55	3,67	3,70	3,20	2,83	2,69	2,57	2,22	1,52	1,82	1,90	1,61	1,30	1,80	1,17	1,31	1,10	1,23	1,16	1,12	1,18	1,20	1,17	1,15
19/8/2001	7,31	6,17	4,13	4,10	3,75	3,67	3,42	3,02	2,78	2,51	2,51	2,05	1,96	1,69	1,50	1,30	1,75	1,05	1,16	0,81	1,10	1,00	1,05	1,31	1,14	1,20	1,17
26/8/2001	7,30	6,15	4,10	4,09	3,73	3,65	3,40	2,99	2,76	2,50	2,49	2,03	1,94	1,67	1,48	1,27	1,73	1,00	1,14	0,79	1,08	0,90	1,03	1,10	1,13	1,18	1,15
2/9/2001	7,10	6,26	5,00	4,85	3,75	3,50	3,32	2,90	2,82	2,50	2,31	2,00	2,05	1,65	1,50	1,32	1,70	1,05	2,15	0,88	1,19	1,05	1,07	1,26	1,13	1,07	1,20
9/9/2001	7,28	6,59	5,13	4,81	3,82	3,92	3,33	2,85	2,80	2,45	2,30	2,00	1,91	1,75	1,49	1,27	1,70	1,02	1,17	0,84	1,08	1,12	1,05	1,20	1,13	1,10	1,09
16/9/2001	6,95	6,34	4,87	4,28	3,35	3,44	3,10	2,27	2,37	2,17	2,09	1,82	1,42	1,39	1,23	1,09	1,47	0,80	0,89	0,69	0,72	0,92	0,88	0,95	0,98	0,98	0,92
23/9/2001	5,32	4,38	4,50	3,18	3,68	2,50	2,48	1,60	1,20	2,22	1,00	1,98	1,50	1,00	1,35	1,10	1,52	0,67	0,78	0,72	0,95	0,79	1,00	1,08	0,92	1,00	1,06
1/10/2001	7,15	5,11	4,95	4,82	3,20	3,75	3,30	2,95	2,80	2,53	2,11	2,00	1,56	1,32	1,45	1,35	1,72	1,15	1,10	1,03	1,18	1,00	1,05	1,24	1,17	1,21	1,21
7/10/2001	7,12	5,08	4,88	4,75	3,17	3,71	3,28	2,91	2,75	2,50	2,09	1,95	1,52	1,28	1,40	1,30	1,67	1,15	1,07	0,93	1,10	0,98	1,00	1,19	1,12	1,18	1,19
14/10/2001	5,30	5,90	4,85	3,88	3,75	3,45	2,78	2,08	2,38	2,49	2,39	2,15	1,75	1,58	1,46	1,27	1,52	1,10	1,00	0,82	0,78	0,92	0,98	1,05	1,02	0,89	1,13
21/10/2001	6,15	5,75	4,68	3,75	3,58	3,35	2,65	0,98	2,21	2,28	2,19	2,09	1,62	1,42	1,34	1,17	1,49	1,00	0,89	0,79	0,70	0,88	0,90	0,93	0,86	0,77	1,00
29/10/2001	6,89	5,82	4,79	3,91	3,81	3,57	2,80	1,09	2,34	2,42	2,29	2,15	1,73	1,39	1,51	1,22	1,53	1,08	1,00	0,97	0,89	0,91	1,04	1,07	0,91	0,84	1,10
5/11/2001	7,19	6,30	5,28	4,72	4,10	3,98	3,18	2,17	2,58	2,71	2,52	2,28	1,97	1,61	1,84	1,43	1,74	1,19	1,12	1,09	1,04	1,09	1,11	1,18	1,02	0,99	1,15
11/11/2001	7,17	6,27	4,30	4,68	3,89	3,68	3,15	2,87	2,28	2,40	2,37	1,81	1,68	1,33	1,32	1,09	1,35	0,98	1,05	0,86	0,88	0,92	1,00	0,95	0,94	0,89	1,02
18/11/2001	7,27	6,35	4,62	4,89	4,04	3,89	3,22	3,10	2,42	2,62	2,59	2,09	2,11	1,89	1,98	1,49	1,97	1,20	1,30	1,21	1,18	1,18	1,15	1,22	1,10	1,19	1,20
25/11/2001	6,98	6,71	4,55	4,39	3,41	3,34	2,85	2,55	2,15	2,14	2,11	1,66	1,57	1,34	1,28	1,00	1,50	0,92	0,98	0,81	0,96	0,91	1,00	1,08	1,01	1,09	1,07
2/12/2001	6,32	6,52	4,21	4,28	3,32	3,40	2,48	2,45	2,20	2,15	2,15	1,68	2,47	1,39	1,33	1,10	1,43	0,85	0,78	0,89	0,99	0,99	1,10	1,02	1,02	0,89	0,87
9/12/2001	6,48	6,69	4,32	4,35	3,42	3,48	2,39	2,59	2,41	2,20	2,24	1,79	1,59	1,48	1,41	1,17	1,59	0,99	0,89	0,91	1,09	0,83	1,00	1,09	1,10	0,99	1,00
16/12/2001	6,38	6,49	4,23	4,24	3,39	3,39	2,27	2,47	2,39	2,18	2,17	1,56	1,45	1,37	1,29	1,09	1,41	0,77	0,72	0,75	0,82	0,68	0,91	0,93	0,87	0,76	0,71
23/12/2001	5,50	5,15	3,85	3,74	2,71	2,73	2,51	1,85	1,69	1,50	1,30	0,91	0,76	0,67	0,64	0,51	0,85	0,61	0,83	0,55	0,49	0,70	0,87	0,77	0,89	0,91	1,00
30/12/2001	5,59	5,20	3,99	3,86	2,87	2,82	2,64	1,92	1,72	1,62	1,38	1,00	0,88	0,78	0,77	0,64	0,93	0,72	0,97	0,63	0,53	0,81	0,90	0,82	0,93	1,00	1,09
6/1/2002	5,91	5,18	4,15	4,00	2,91	2,40	2,15	2,20	1,92	1,81	1,50	1,32	1,10	1,00	0,88	0,65	1,20	0,51	0,76	0,58	0,65	0,85	0,95	1,05	1,00	1,08	1,10
13/1/2002	5,65	5,12	4,09	3,89	2,99	2,28	2,10	2,15	1,00	1,72	1,42	1,22	1,06	0,92	0,80	0,79	1,15	0,50	0,70	0,50	0,60	0,79	0,89	1,00	0,89	0,98	1,00
20/1/2002	5,70	5,00	4,00	3,70	2,82	2,75	2,15	2,60	1,28	1,30	1,30	1,18	1,00	0,90	0,77	0,61	1,18	0,47	0,62	0,62	0,68	0,71	0,72	1,07	0,94	1,00	1,10
27/1/2002	5,80	4,84	3,61	3,65	2,72	3,82	2,00	1,95	1,85	1,64	1,48	1,14	1,15	1,00	0,82	0,87	1,28	0,59	0,88	0,72	0,70	0,87	0,90	1,12	1,07	1,10	1,17
3/2/2002	5,71	4,69	3,42	3,49	2,58	3,73	1,92	1,83	1,74	1,57	1,38	1,00	1,06	0,91	0,73	0,75	1,18	0,50	0,73	0,61	0,62	0,74	0,81	1,08	1,00	1,00	1,12
10/2/2002	5,67	4,63	3,39	3,47	2,55	3,70	1,89	1,81	1,70	1,50	1,31	0,90	1,00	0,89	0,70	0,73	1,15	0,47	0,71	0,59	0,60	0,70	0,79	1,00	0,96	0,98	1,10
17/2/2002	5,80	4,80	3,47	3,52	2,62	3,76	1,98	1,92	1,78	1,62	1,42	0,97	0,90	0,72	0,68	0,62	1,00	0,32	0,62	0,65	0,55	0,76	0,70	0,93	0,80	0,94	0,98
24/2/2002	6,08	5,15	3,78	3,80	2,78	3,82	2,18	2,05	1,83	1,70	1,49	1,03	0,82	0,63	0,58	0,58	0,90	0,43	0,51	0,60	0,60	0,70	0,66	0,80	0,72	0,81	0,90
3/3/2002	6,20	5,32	4,00	3,92	2,86	2,90	2,40	2,15	1,90	1,78	1,55	1,10	0,79	0,87	0,65	0,50	0,81	0,49	0,65	0,52	0,53	0,64	0,80	0,85	0,81	0,90	1,05
10/3/2002	6,85	5,17	3,35	3,85	2,93	2,99	2,48	2,05	1,94	1,77	1,50	1,26	1,13	0,95	0,90	0,67	1,17	0,50	0,80	0,62	0,72	0,85	0,90	0,98	1,00	1,10	1,17
17/3/2002	6,80	5,10	3,30	3,80	2,88	2,92	2,42	2,00	1,89	1,70	1,48	1,20	1,08	0,90	0,85	0,63	1,11	0,45	0,75	0,57	0,66	0,80	0,85	0,93	0,95	1,05	1,12
24/3/2002	6,30	5,31	3,91	2,95	2,95	2,85	2,52	1,88	1,69	1,66	1,35	1,18	1,05	0,84	0,75	0,60	1,00	0,40	0,70	0,46	0,60	0,75	0,80	0,90	0,87	1,00	1,08
31/3/2002	6,20	5,22	3,93	3,40	3,10	3,00	2,63	2,14	1,95	1,76	1,64	1,25	1,22	1,05	0,91	0,75	1,15	0,65	0,81	0,62	0,80	0,95	1,00	1,00	1,05	1,22	1,17
7/4/2002	5,90	5,12	4,08	3,90	3,00	2,97	2,37	2,15	2,09	1,79	1,58	1,18	1,27	1,16	0,91	0,81	1,21	0,62	0,73	0,55	0,77	0,77	0,81	1,00	0,78	1,09	1,18
14/4/2002	6,10	5,35	4,20	4,00	3,12	3,05	2,54	2,23	2,19	1,91	1,79	1,39	1,38	1,23	1,00	0,92	1,32	0,74	0,81	0,61	0,89	0,93	0,97	1,15	0,99	1,17	1,21

Continuação

Piezômetros (profundidade do lençol freático - em metros)

Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27
21/4/2002	6,33	5,50	4,36	4,15	3,25	3,20	2,80	2,41	2,26	2,00	1,90	1,50	1,43	1,37	1,11	1,00	1,41	0,88	0,92	0,72	0,99	0,92	1,06	1,21	1,07	1,20	1,23
28/4/2002	6,90	5,80	4,52	4,32	3,41	3,37	2,99	2,62	2,42	2,18	2,10	1,71	1,66	1,51	1,31	1,15	1,64	1,03	1,19	0,94	1,28	1,22	1,30	1,40	1,18	1,43	1,51
5/5/2002	6,50	5,65	4,45	4,40	3,38	3,48	2,80	2,50	2,22	2,01	1,95	1,58	1,52	1,42	1,22	0,88	1,40	0,76	0,90	0,75	0,98	0,95	1,00	1,10	0,95	1,23	1,13
12/5/2002	6,55	5,70	4,51	4,46	3,45	3,54	2,89	2,61	2,34	2,18	2,02	1,67	1,66	1,53	1,35	0,99	1,48	0,84	1,03	0,88	1,10	1,10	1,08	1,21	1,10	1,34	1,23
19/5/2002	6,64	5,76	4,45	4,49	3,50	3,45	2,95	2,57	2,43	2,26	2,10	1,77	1,72	1,48	1,40	1,13	1,50	0,92	0,93	0,98	1,05	1,00	1,12	1,31	1,20	1,29	1,27
26/5/2002	6,68	5,78	4,50	4,44	3,45	3,43	2,97	2,65	2,45	2,30	2,08	1,82	1,78	1,50	1,37	1,18	1,55	0,96	1,00	0,83	1,12	1,07	1,15	1,35	1,18	1,28	2,28
2/6/2002	6,71	5,82	4,54	4,48	3,48	3,49	3,02	2,70	2,50	2,35	2,14	1,86	1,82	1,55	1,33	1,23	1,63	1,03	1,08	0,94	1,16	1,15	1,22	1,40	1,27	1,36	2,30
9/6/2002	6,80	5,91	4,63	4,65	3,65	3,55	3,20	2,78	2,55	2,40	2,17	1,90	1,86	1,71	1,47	1,29	1,67	1,10	1,12	1,00	1,19	1,20	1,30	1,43	1,31	1,42	1,36
16/6/2002	6,83	5,96	4,67	4,71	3,72	3,58	3,26	2,84	2,61	2,45	2,20	1,93	1,90	1,77	1,50	1,33	1,70	1,12	1,16	1,05	1,24	1,19	1,15	1,47	1,37	1,32	1,39
23/6/2002	6,89	6,00	4,73	4,76	3,83	3,69	3,35	2,88	2,68	2,48	2,26	1,99	1,95	1,80	1,53	1,39	1,72	1,15	1,20	1,11	1,28	1,22	1,20	1,52	1,41	1,35	1,42
30/6/2002	6,93	6,12	4,86	4,83	3,89	3,77	3,45	2,92	2,74	2,52	2,32	2,05	2,05	1,84	1,56	1,43	1,75	1,18	1,22	1,15	1,25	1,25	1,25	1,49	1,39	1,37	1,45
7/7/2002	6,96	6,09	4,80	4,89	3,72	3,76	3,26	2,90	2,76	2,50	2,31	1,98	1,99	1,71	1,53	1,36	1,70	1,10	1,19	0,99	1,20	1,18	1,15	1,40	1,20	1,36	1,37
14/7/2002	6,95	6,10	4,81	4,50	3,71	3,77	3,35	2,91	2,75	2,51	2,30	2,10	2,11	1,73	1,55	1,35	1,72	1,12	1,20	1,01	1,19	1,21	1,17	1,42	1,24	1,34	1,35
21/7/2002	7,05	6,21	4,90	4,61	3,82	3,86	3,46	3,12	2,88	3,09	2,42	2,25	2,19	1,82	1,67	1,44	1,86	1,20	1,29	1,18	1,28	1,32	1,25	1,53	1,32	1,43	1,46
28/7/2002	7,00	6,19	4,85	4,58	3,79	3,84	3,42	3,15	2,85	3,04	2,40	2,28	2,20	1,85	1,71	1,49	1,89	1,24	1,31	1,20	1,32	1,36	1,30	1,56	1,35	1,47	1,49
4/8/2002	7,12	6,20	4,88	4,86	3,83	3,76	3,37	2,87	2,68	2,42	2,28	1,86	1,83	1,61	1,45	1,22	1,63	1,00	1,20	0,99	1,15	1,10	1,13	1,26	1,18	1,30	1,25
11/8/2002	7,22	6,24	4,90	4,88	3,89	3,78	3,33	2,90	2,75	2,50	2,39	1,95	1,90	1,73	1,55	1,27	1,70	1,08	1,14	0,90	1,20	1,12	1,12	1,32	1,20	1,24	1,28
18/8/2002	7,23	6,26	4,92	4,35	3,84	3,85	3,42	3,95	2,85	2,62	2,40	2,00	2,05	1,78	1,59	1,48	1,79	1,11	1,25	1,00	1,30	1,17	1,16	1,48	1,23	1,29	1,29
25/8/2002	7,20	6,25	4,90	4,37	3,83	3,87	3,44	3,98	2,88	2,64	2,44	2,05	2,07	1,78	1,61	1,52	1,83	1,15	1,25	1,07	1,32	1,22	1,20	1,50	1,27	1,31	1,32
1/9/2002	7,28	6,32	5,10	5,00	3,35	3,37	3,39	2,95	2,82	2,64	2,36	2,00	1,92	1,75	1,64	1,36	1,66	1,00	1,09	0,89	1,14	1,08	1,15	1,32	1,14	1,33	1,24
8/9/2002	7,31	6,42	5,00	4,94	3,47	3,34	3,43	2,97	2,85	2,67	2,39	2,05	1,94	1,77	1,59	1,25	1,45	1,07	1,05	0,81	1,13	1,03	1,07	1,26	1,11	1,21	1,21
15/9/2002	7,22	6,40	5,05	5,00	3,44	3,37	3,45	3,08	2,40	2,66	2,42	2,11	2,03	1,81	1,62	1,32	1,40	1,13	1,12	0,90	1,16	1,12	1,15	1,24	1,15	1,24	1,28
22/9/2002	8,00	6,42	5,08	5,05	3,90	3,35	3,50	3,10	2,92	2,68	2,52	2,20	2,11	1,90	1,73	1,43	1,82	1,16	1,21	1,00	1,30	1,20	1,21	1,40	1,20	1,26	1,30
29/9/2002	7,41	6,43	5,06	5,01	3,94	3,94	3,59	3,04	2,91	2,67	2,49	2,18	2,12	1,89	1,73	1,42	1,81	1,14	1,20	1,00	1,29	1,18	1,20	1,39	1,19	1,25	1,28
6/10/2002	7,38	6,45	5,17	5,17	4,07	3,92	3,58	3,05	2,89	2,65	2,38	2,20	2,10	1,90	1,74	1,46	1,80	1,12	1,19	1,02	1,26	1,16	1,15	1,34	1,20	1,26	1,26
13/10/2002	7,37	6,42	5,16	5,14	4,05	3,90	3,60	3,10	2,87	2,63	2,34	2,24	2,08	1,87	1,72	1,41	1,76	1,10	1,15	0,98	1,22	1,14	1,07	1,30	1,19	1,24	1,25
20/10/2002	7,28	6,35	5,18	5,10	4,07	4,00	3,54	3,15	2,95	2,83	2,45	2,18	2,15	1,91	1,75	1,35	1,84	1,16	1,22	1,00	1,32	1,19	1,16	1,37	1,16	1,29	1,28
27/10/2002	7,32	6,48	5,15	5,15	4,00	3,92	3,55	3,08	2,91	2,65	2,50	2,20	2,18	1,95	1,79	1,30	1,80	1,11	1,19	0,97	1,30	1,15	1,13	1,31	1,18	1,34	1,30
3/11/2002	7,50	6,80	5,50	5,09	4,05	4,00	3,65	3,14	3,00	2,74	2,54	2,18	2,14	1,90	1,78	1,38	1,78	1,27	1,26	1,14	1,40	1,28	1,20	1,41	1,27	1,42	1,37
10/11/2002	8,00	6,80	5,50	5,09	4,08	4,02	3,63	3,15	3,08	2,77	2,56	2,20	2,17	1,95	1,80	1,39	1,81	1,29	1,28	1,17	1,42	1,31	1,24	1,44	1,33	1,44	1,48
17/11/2002	7,80	6,50	5,12	5,08	3,99	3,98	3,59	3,10	2,89	2,63	2,45	1,98	2,05	1,90	1,74	1,25	1,74	1,15	1,18	1,00	1,29	1,23	1,19	1,39	1,21	1,40	1,35
24/11/2002	7,50	6,45	5,07	5,10	3,90	3,87	3,50	3,00	2,80	2,55	2,40	1,90	1,95	1,85	1,65	1,20	1,70	1,11	1,15	0,93	1,24	1,18	1,15	1,33	1,17	1,35	1,35
1/12/2002	7,50	6,32	4,83	4,74	3,70	3,68	3,30	2,72	2,67	2,37	2,26	1,88	1,87	1,61	1,46	1,19	1,56	1,10	1,18	1,00	1,21	1,15	1,14	1,34	1,13	1,30	1,28
8/12/2002	7,50	6,40	4,91	4,80	3,74	3,75	3,37	2,79	2,73	2,40	2,30	1,92	1,93	1,67	1,50	1,23	1,68	1,15	1,22	1,09	1,28	1,19	1,20	1,40	1,20	1,37	1,33
15/12/2002	7,50	6,38	4,88	4,78	3,70	3,72	3,34	2,76	2,70	2,45	2,28	1,90	1,90	1,63	1,47	1,20	1,65	1,11	1,20	1,04	1,25	1,15	1,16	1,36	1,17	1,34	1,31
22/12/2002	7,35	6,40	4,90	4,81	3,73	3,75	3,37	2,80	2,75	2,40	2,32	1,93	1,94	1,60	1,50	1,22	1,68	1,17	1,24	1,09	1,30	1,17	1,20	1,38	1,20	1,36	1,34
29/12/2002	7,30	6,37	4,84	4,77	3,80	3,79	3,35	2,84	2,76	2,43	2,28	1,90	1,90	1,54	1,48	1,18	1,64	1,10	1,17	1,01	1,25	1,10	1,18	1,25	1,14	1,27	1,25
5/1/2003	7,26	6,21	4,86	4,73	3,78	3,75	3,30	2,80	2,71	2,40	2,23	1,88	1,87	1,46	1,46	1,15	1,57	1,00	1,11	0,98	1,18	1,05	1,14	1,20	1,10	1,20	1,19
12/1/2003	7,21	6,18	4,80	4,68	3,70	3,63	3,22	2,71	2,54	2,31	2,10	1,63	1,58	1,24	1,23	0,95	1,31	0,81	1,00	0,87	1,01	0,90	0,94	1,12	1,00	1,15	1,10
19/1/2003	7,18	6,15	4,73	4,60	3,68	3,60	3,18	2,63	2,43	2,20	1,90	1,50	1,37	1,15	1,12	0,70	1,10	0,60	0,92	0,61	0,78	0,68	0,85	0,98	0,98	1,09	1,06
26/1/2003	6,84	5,66	4,21	4,10	3,41	3,38	2,94	2,38	2,30	2,10	1,50	1,40	1,29	1,00	0,92	0,50	1,06	0,50	0,66	0,58	0,66	0,60	0,86	0,91	0,90	1,07	1,06
2/2/2003	6,35	5,41	4,15	4,00	3,12	3,08	2,65	2,24	2,11	1,87	1,70	1,35	1,21	1,24	1,15	0,76	1,25	0,69	0,75	0,71	0,82	0,95	0,90	1,03	0,98	1,12	1,23
9/2/2003	5,36	6,68	4,94	3,91	3,32	2,92	2,84	2,20	1,88	1,70	1,65	1,12	1,10	0,90	0,95	0,56	1,07	0,52	0,67	0,58	0,65	0,80	0,87	0,91	0,93	1,10	1,11

Continuação

Piezômetros (profundidade do lençol freático - em metros)

Data	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	P13	P14	P15	P16	P17	P18	P19	P20	P21	P22	P23	P24	P25	P26	P27
16/2/2003	6,30	5,40	4,00	4,00	2,50	2,26	2,10	2,23	2,00	1,50	1,24	1,25	1,23	1,02	1,00	0,60	1,15	0,70	0,80	0,63	0,64	0,81	0,85	1,00	0,98	1,15	1,23
23/2/2003	6,25	5,31	4,07	4,12	2,75	2,44	2,19	2,25	2,10	1,53	1,39	1,22	1,20	1,18	0,98	0,62	1,20	0,67	0,73	0,60	0,61	0,79	0,98	1,10	0,93	1,13	1,20
2/3/2003	6,31	5,37	4,17	4,15	2,91	2,63	2,31	2,37	2,19	1,72	1,52	1,40	1,34	1,22	1,12	0,81	1,29	0,75	0,81	0,71	0,63	0,97	1,00	1,00	1,09	1,20	1,29
9/3/2003	6,40	5,48	4,21	4,17	3,15	3,09	2,76	2,48	2,23	2,00	1,76	1,51	1,41	1,29	1,09	0,72	1,23	0,55	0,90	0,63	0,72	0,80	0,89	0,96	0,92	1,11	1,18
16/3/2003	6,42	5,51	4,25	4,19	3,20	3,15	2,83	2,51	2,27	2,10	1,80	1,58	1,50	1,33	1,15	0,89	1,28	0,61	1,03	0,72	0,80	0,88	0,93	1,05	1,02	1,17	1,25
23/3/2003	6,33	5,40	4,19	4,14	3,17	3,09	2,77	2,45	2,19	2,02	1,75	1,50	1,42	1,24	1,09	0,77	1,19	0,52	0,92	0,64	0,73	0,80	0,76	0,97	0,91	1,09	1,18
30/3/2003	6,09	5,15	3,81	3,76	2,76	2,72	2,45	2,01	1,91	1,68	1,46	1,26	1,21	1,00	0,86	0,60	1,14	0,45	0,70	0,52	0,61	0,71	0,70	1,04	1,00	1,16	1,25
6/4/2003	6,00	5,10	3,78	3,68	2,70	2,65	2,36	1,94	1,87	1,60	1,41	1,20	1,17	0,92	0,80	0,54	1,10	0,40	0,66	0,47	0,55	0,67	0,66	0,93	0,92	1,10	1,20
13/4/2003	5,80	4,97	3,80	3,60	2,66	2,60	2,30	1,90	1,80	1,53	1,37	1,16	1,13	0,87	0,76	0,50	1,00	0,36	0,60	0,40	0,50	0,60	0,61	0,88	0,83	1,02	1,15
20/4/2003	5,89	5,05	3,88	3,79	2,80	2,71	2,31	2,00	1,89	1,62	1,44	1,24	1,20	0,91	0,82	0,59	1,08	0,47	0,67	0,59	0,61	0,69	0,72	0,92	0,95	1,12	1,23
27/4/2003	6,00	5,16	3,95	3,90	2,91	2,90	2,59	2,14	2,00	1,80	1,64	1,39	1,32	1,10	1,00	0,65	1,35	0,60	0,76	0,68	0,73	0,81	1,00	1,10	1,05	1,18	1,28
4/5/2003	6,10	5,20	4,06	3,99	3,03	2,98	2,62	2,20	2,10	1,90	1,70	1,43	1,41	1,19	1,09	0,70	1,40	0,65	0,77	0,73	0,78	0,89	1,09	1,15	1,10	1,24	1,34
11/5/2003	6,21	5,40	4,12	4,10	3,14	3,09	2,78	2,32	2,22	2,00	1,77	1,48	1,50	1,28	1,13	0,78	1,46	0,70	0,81	0,77	0,88	0,94	1,13	1,20	1,16	1,28	1,39
18/5/2003	6,30	5,44	4,17	4,27	3,20	3,18	2,82	2,38	2,28	2,08	1,84	1,54	1,55	1,33	1,18	0,86	1,51	0,77	0,88	0,84	0,93	0,98	1,18	1,24	1,19	1,34	1,42
25/5/2003	6,21	5,36	4,09	4,16	3,15	3,10	2,76	2,39	2,20	2,00	1,75	1,47	1,49	1,27	1,10	0,80	1,47	0,70	0,81	0,78	0,80	0,91	1,12	1,19	1,13	1,28	1,37
1/6/2003	6,50	5,58	4,31	4,32	3,30	3,27	2,93	2,50	2,31	2,15	1,92	1,60	1,59	1,33	1,22	0,87	1,53	0,78	0,91	0,82	0,94	1,00	1,18	1,22	1,18	1,33	1,42
8/6/2003	6,54	5,62	4,38	4,38	3,37	3,33	2,99	2,57	2,38	2,22	1,99	1,65	1,64	1,41	1,28	0,92	1,59	0,84	0,98	0,86	1,00	1,06	1,20	1,26	1,21	1,42	1,48
15/6/2003	6,60	5,78	4,41	4,45	3,43	3,40	3,08	2,60	2,45	2,31	2,05	1,70	1,72	1,46	1,35	1,00	1,63	0,86	1,02	0,89	1,04	1,09	1,23	1,29	1,26	1,26	1,28
22/6/2003	6,66	5,81	4,50	4,47	3,46	3,43	3,14	2,63	2,50	2,34	2,11	1,75	1,74	1,50	1,41	1,05	1,67	0,98	0,97	0,82	1,06	1,11	1,26	1,26	1,16	1,33	1,32
29/6/2003	6,70	5,87	4,54	4,53	3,51	3,48	3,21	2,67	2,56	2,39	2,18	1,81	1,80	1,54	1,48	1,11	1,72	0,92	1,03	0,87	1,12	1,15	1,29	1,31	1,22	1,37	1,38
6/7/2003	6,80	5,92	4,63	4,62	3,62	3,50	3,24	2,72	2,60	2,50	2,17	1,87	1,85	1,63	1,44	1,15	1,69	1,00	1,05	0,94	1,10	1,10	1,12	1,25	1,11	1,35	1,32
13/7/2003	6,83	5,95	4,66	4,62	3,63	3,58	3,28	2,74	2,61	2,52	2,21	1,90	1,91	1,66	1,50	1,17	1,71	1,03	1,10	0,88	1,16	1,12	1,14	1,31	1,17	1,37	1,35
20/7/2003	6,86	6,00	4,68	4,67	3,68	3,64	3,31	2,77	2,66	2,54	2,24	1,92	1,95	1,68	1,52	1,19	1,74	1,09	1,13	0,91	1,18	1,17	1,18	1,34	1,19	1,40	1,37
27/7/2003	6,89	6,06	4,70	4,69	3,71	3,68	3,35	2,80	2,69	2,58	2,29	1,97	1,99	1,70	1,56	1,23	1,77	1,11	1,16	0,96	1,22	1,21	1,23	1,36	1,24	1,42	1,40
3/8/2003	6,92	6,10	4,73	4,73	3,74	3,72	3,39	2,84	2,74	2,63	2,34	2,00	2,03	1,74	1,60	1,27	1,81	1,18	1,20	1,00	1,25	1,25	1,27	1,40	1,28	1,48	1,43
10/8/2003	7,10	6,19	4,82	4,86	3,85	3,78	3,44	2,91	2,79	2,67	2,39	2,05	2,10	1,79	1,65	1,31	1,87	1,21	1,23	1,05	1,29	1,28	1,31	1,44	1,31	1,53	1,43
17/8/2003	7,21	6,23	4,90	4,89	3,91	3,83	3,48	2,96	2,81	2,72	2,45	2,11	2,12	1,83	1,70	1,35	1,90	1,25	1,27	1,09	1,32	1,31	1,35	1,43	1,35	1,57	1,43
24/8/2003	7,28	6,28	4,92	4,92	3,94	3,87	3,51	2,98	2,84	2,76	2,48	2,14	2,15	1,87	1,73	1,37	1,92	1,27	1,30	1,12	1,36	1,33	1,37	1,52	1,37	1,60	1,43
31/8/2003	7,27	6,25	4,95	4,90	3,90	3,88	3,50	2,97	2,89	2,80	2,47	2,19	2,14	1,85	1,74	1,38	1,93	1,26	1,29	1,11	1,35	1,31	1,35	1,50	1,35	1,58	1,43
7/9/2003	7,30	6,30	4,98	4,93	3,93	3,91	3,52	3,00	2,92	2,82	2,50	2,23	2,17	1,88	1,76	1,41	1,96	1,28	1,32	1,15	1,37	1,34	1,38	1,53	1,38	1,60	1,43
14/9/2003	7,26	6,32	5,00	4,95	3,95	3,98	3,55	3,04	3,00	2,84	2,53	2,26	2,20	1,97	1,78	1,45	2,00	1,27	1,33	1,16	1,40	1,37	1,39	1,50	1,41	1,62	1,35
21/9/2003	7,28	6,36	5,04	4,98	3,99	4,00	3,58	3,11	3,05	2,86	2,55	2,29	2,22	2,00	1,81	1,47	2,04	1,29	1,36	1,19	1,43	1,39	1,42	1,52	1,44	1,64	1,38
28/9/2003	7,32	6,43	5,07	5,00	3,97	3,95	3,56	3,10	2,96	2,70	2,50	2,15	2,19	1,99	1,73	1,37	1,96	1,19	1,16	1,08	1,26	1,26	1,20	1,37	1,23	1,32	1,36

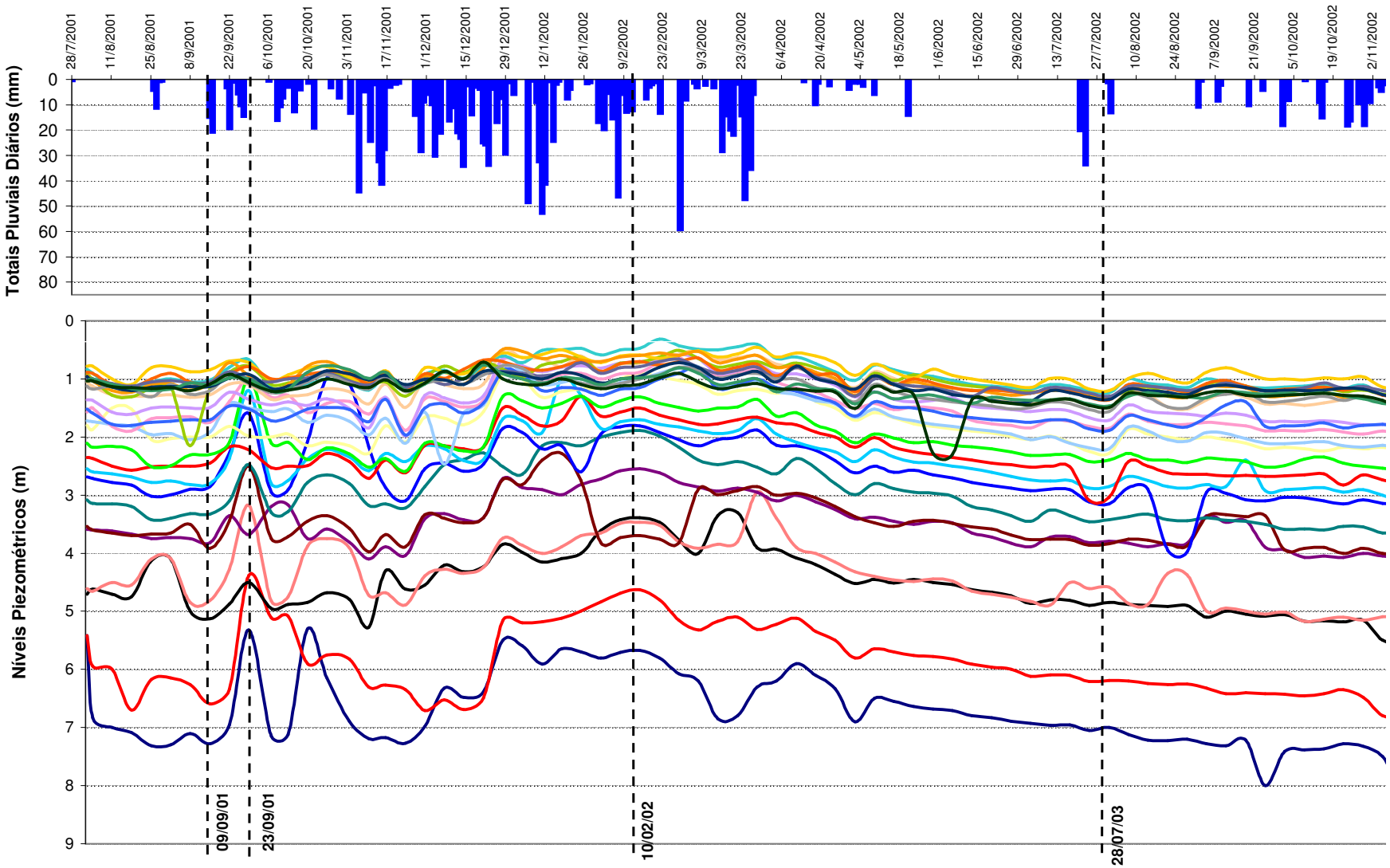
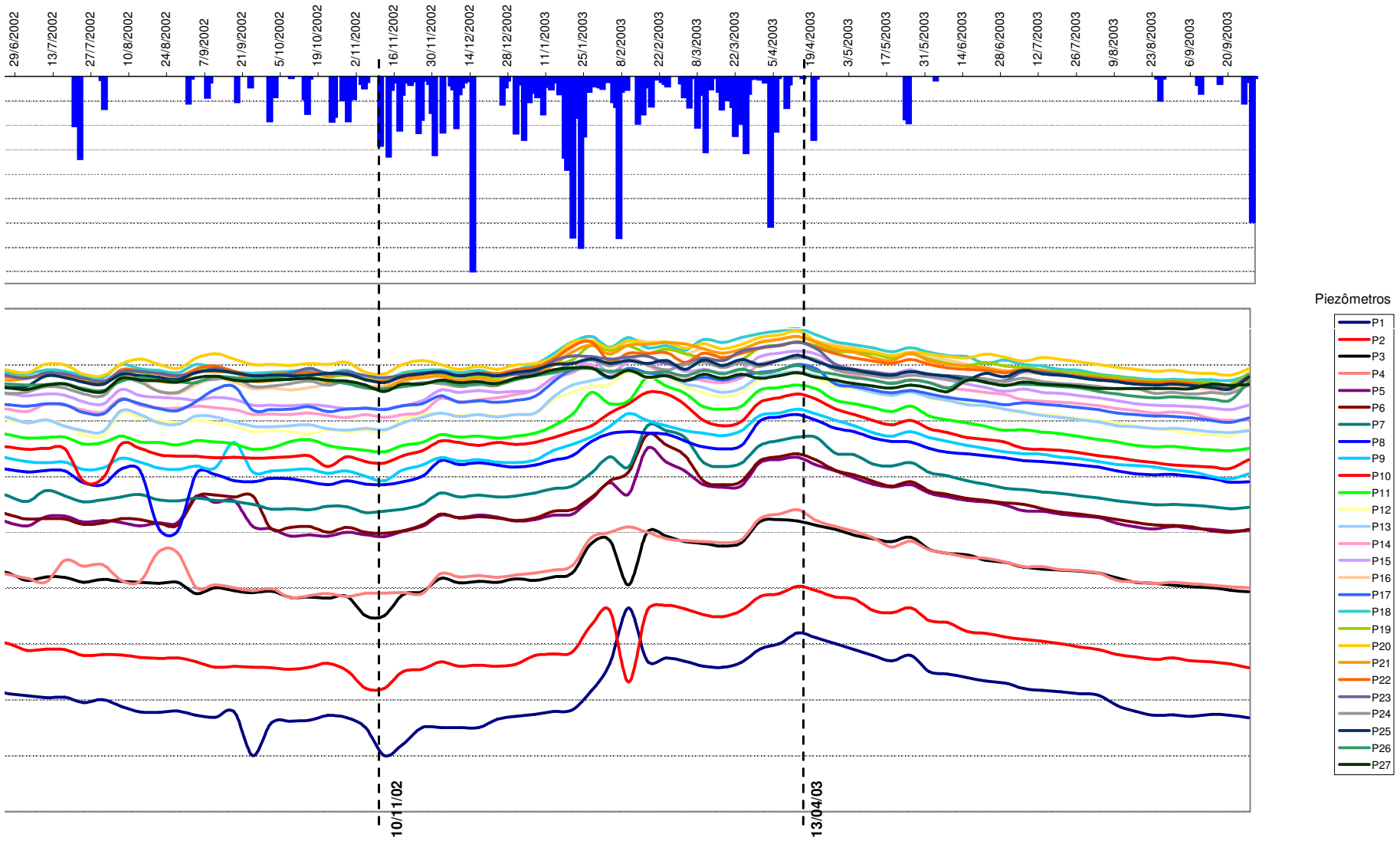


Figura 32 - Pluviometria e Piezometria (Estação de Monitoramento Faz. Paraíso - ago/01 a ago/03).


29/6/2002
13/7/2002
27/7/2002
10/8/2002
24/8/2002
7/9/2002
21/9/2002
5/10/2002
19/10/2002
2/11/2002
16/11/2002
30/11/2002
14/12/2002
28/12/2002
11/1/2003
25/1/2003
8/2/2003
22/2/2003
8/3/2003
22/3/2003
5/4/2003
19/4/2003
3/5/2003
17/5/2003
31/5/2003
14/6/2003
28/6/2003
12/7/2003
26/7/2003
9/8/2003
23/8/2003
6/9/2003
20/9/2003
10/11/02
13/04/03
Piezômetros
P1
P2
P3
P4
P5
P6
P7
P8
P9
P10
P11
P12
P13
P14
P15
P16
P17
P18
P19
P20
P21
P22
P23
P24
P25
P26
P27

PERFIL DE SOLO 01 (P1) – Neossolo Quartzarênico órtico						
CARACTERES DO FUNDO MATRICIAL	**HORIZONTE E PROFUNDIDADE (CM)**					
	A	AC	CA	C11	C12	C
	10 cm	14 – 21cm	43 – 50 cm		90 – 97 cm	150 – 180 cm
Esqueleto	Freqüência: 55%	47%	38%	40%	37 %	55%
	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; finos e muito finos; bem selecionados; angulares e subangulares; subalongados e subesféricos; superfícies rugosas e onduladas; grãos fraturados.	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; muito finos e finos; bem selecionados; arredondados e subarredondados; esféricos e subesféricos; superfícies alisadas e onduladas; muito fraturados.	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; finos e muito finos; bem selecionados; arredondados e subarredondados; subesféricos com alguns esféricos; superfícies alisadas;	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; muito finos e finos; bem selecionados; arredondados e subarredondados; superfícies alisadas; e fraturamento em 30% dos grãos.	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; finos e muito finos; bem selecionados; arredondados e subarredondados; subesféricos com alguns esféricos; alisados;	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; areia média; arredondados e subarredondados; subesféricos e alongados; superfícies alisadas;
Plasma	Freqüência: 5%	3%	2%	2%	3%	5%
	Plasma argilo-orgânico, de coloração marrom escura; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; envolve alguns grãos muito finos, formando algumas pontes e cimentações, não havendo agregados significativos.	Plasma argilo-orgânico, de coloração marrom escura; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; não formam agregados significativos, somente algumas pontes e cimentações.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; não formam agregados significativos, exceto por um pequeno agregado retangular envolvendo partículas muito finas de quartzo.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de pontes de plasma e pequenos agregados poucos.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; não formam agregados significativos.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; com formação de pequenos agregados plásmicos.
Poros	Freqüência: 40%	50%	60%	58%	60%	40%
	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); finos	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); finos	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); finos; 30% dos poros são	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); finos; fortemente	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); finos e médios; fortemente	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); finos e

Quadro 03 - Caracteres micromorfológicos dos horizontes dos Perfis de Solo 01, 02, 03 e 04 (Toposseqüência Paraíso).

(Continuação)

	dominantes, com alguns grosseiros poucos; fortemente comunicantes, porém adensados; formação de pedotúbulo do tipo granotúbulo com preenchimento solto contínuo;	dominantes; fortemente comunicantes, porém adensados; ocorre um macroporo planar médio, formado pela circulação hídrica.	moderamente comunicantes e 70% são fortemente comunicantes; ocorre poro planar;	comunicantes; ocorre poro planar;	comunicantes;	médios; fortemente comunicantes; ocorre pedotúbulo do tipo granotúbulo com preenchimento solto contínuo.
Tramas (distribuição relativa)	Mônica com 30% do restante do fundo matricial com Gefúrica;	Mônica;	Mônica;	Mônica com agregados plásmicos muito pequenos poucos;	Mônica com agregados plásmicos muito pequenos poucos;	Mônica e 20% do restante do fundo matricial com Gefúrica;
Feições Pedológicas	Ausentes;	Ausentes;	Ausentes;	Ausentes;	Ausentes;	Pequenos agregados de plasma e grãos finos do esqueleto formando as paredes de um macroporo do tipo canal.
Microestrutura	Grãos simples.	Grãos simples.	Grãos simples e grãos com pontes.	Grãos simples.	Grãos com películas.	Grãos com películas.

PERFIL DE SOLO 02 (P2) - Neossolo Quartzarênico hidromórfico				
CARACTERES DO FUNDO MATRICIAL	**HORIZONTE E PROFUNDIDADE (CM)**			
	A	**AC**	**CA**	**C**
	07 cm	**16 – 23 cm**	**45 – 52 cm**	**170 – 177 cm**
Esqueleto	Freqüência: 58%	60%	50%	40%
	Grãos de quartzo; adensados; médios, finos e muito finos, mal selecionados; angulares e subangulares; subesféricos e subalongados; superfícies rugosas;	Grãos de quartzo; muito finos e finos; bem selecionados; angulares; subesféricos e subalongados, e alguns esféricos; superfícies alisadas; grãos fraturados.	Grãos de quartzo; finos e muito finos; bem selecionados; subangulares e subarredondados; subesféricos e subalongados; superfícies rugosas e onduladas.	Grãos de quartzo; finos, muito finos e médios; mal selecionados; arredondados e subarredondados; subesféricos e subalongados; superfícies alisadas e onduladas.
Plasma	Freqüência: 5%	3%	3%	8%
	Plasma argilo-orgânico, de coloração marrom escura; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de pequenas tramas gefúricas (pontes de	Plasma argilo-orgânico, de coloração marrom escura; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de pequenas tramas gefúricas (pontes de	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de algumas cimentações plásmicas.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de algumas cimentações

(Continuação)

	plasma).	plasma).		plásmicas poucas.
Poros	Freqüência: 37%	37%	47%	52%
	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; moderadamente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; 80% dos macroporos são moderadamente comunicantes e 20% fracamente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; em algumas zonas se adensam em outras se expandem; fortemente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; em algumas zonas se adensam em outras se expandem; formação de um pequeno canal macroporo médio; fortemente comunicantes.
Tramas (distribuição relativa)	Mônica com algumas tramas gefúricas.	Mônica com algumas tramas gefúricas.	Mônica com algumas tramas gefúricas.	Quito-gefúrica.
Feições Pedológicas	Ausentes.	Ausentes.	Ausentes.	Pequenos agregados de plasma e grãos finos do esqueleto formando as paredes de um macroporo do tipo canal.
Microestrutura	Grãos simples e grãos com pontes.	Grãos simples e grãos com pontes.	Grãos simples e grãos com pontes.	Grãos com películas.
PERFIL DE SOLO 03 (P3) – Transição entre o Neossolo Quartzarênico hidromórfico e o Gleissolo				
CARACTERES DO FUNDO MATRICIAL	**HORIZONTE E PROFUNDIDADE (CM)**			
	A	AC	CA	C1
	10 cm	15 – 22 cm	17 – 34 cm	35 – 74 cm
Esqueleto	Freqüência: 60%	52%	45%	40%
	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; médios e finos, bem selecionados; arredondados e subarredondados; os grãos maiores são subesféricos e os menores subalongados e alongados; superfícies rugosas.	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; médios e finos; subangulares e subarredondados; subesféricos e subalongados; superfícies rugosas e onduladas; muitos grãos fraturados; ocorrem pequenos pedaços de folhas.	Grãos de quartzo; distribuição aleatória; médios e finos; subangulares e subarredondados; subesféricos e subalongados; superfícies rugosas e onduladas; muitos grãos fraturados.	Grãos de quartzo; grãos finos e muito finos; distribuição aleatória; grãos angulares e subangulares; subesféricos, alongados e alongados; superfícies rugosas e onduladas.
Plasma	Freqüência: 4%	8%	7%	7%
	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de pequenas manchas bem dispersas poucas.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de algumas cimentações.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; distribuição aleatória; formação de algumas cimentações.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; distribuição aleatória; formação de algumas cimentações de grãos muito finos e adensados.

(Continuação)

Poros	Freqüência: 36%	40%	48%	53%
	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; adensados; fortemente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; fortemente comunicantes; formação de um canal cujas paredes são de plasma.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; fortemente comunicantes; formação de um canal cujas paredes são de plasma.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos a médios; fortemente comunicantes.
Tramas (distribuição relativa)	Transição de Quito-gefúrica para Mônica.	Ocorrem Mônica, Quitônica e Quito-gefúrica.	Transição de Quito-gefúrica para Mônica, com algumas tramas Quitônica.	Quitônica e Quito-gefúrica. Ocorrem também tramas do tipo gefúrica.
Feições Pedológicas	Formação de 01 cutã de poro, cujo o plasma é opaco.	Ausentes;	Ausentes;	Aparecem alguns nódulos de plasma bem escuros com 1mm de diâmetro, de formato esferoidal, envolvendo alguns grãos de superfícies alisadas e onduladas.
Microestrutura	Grãos simples e grãos com pontes.	Grãos simples e grãos com pontes.	Grãos simples e grãos com películas.	Grãos simples e grãos com pontes.

PERFIL DE SOLO 03 (P3) (CONTINUAÇÃO) - Transição entre o Neossolo Quartzarênico hidromórfico e o Gleissolo				
CARACTERES DO FUNDO MATRICIAL	**HORIZONTE E PROFUNDIDADE (CM)**			
	C1	C2	C3	C4
	36 – 73 cm	147 – 154 cm	200 – 207 cm	230 – 300cm
Esqueleto	Freqüência: 55%	50%	48%	60%
	Grãos de quartzo; médios e finos; os maiores são arredondados e subarredondados; subesféricos e subalongados; superfícies onduladas; e os menores, subangulares; subalongados e alongados; sueperfícies rugosas e onduladas.	Grãos de quartzo; médios e finos, com alguns grãos muito finos; os grãos médios são arredondados; subesféricos; alisados; e os grãos menores são subarredondados e subangulares, com alguns angulares; subalongados e alongados; superfícies onduladas. Ocorrem alguns grãos fraturados poucos.	Ocorrem as 02 maneiras: 1) finos e médios; moderadamente selecionados; arredondados e alguns subarredondados; esféricos e subesféricos, com alguns subalongados; superfícies alisadas algumas onduladas; 2) finos e médios; subarredondados com alguns arredondados; subesféricos e subalongados; superfícies onduladas e alisadas; grãos fraturados e um pouco menores que na anterior.	Grãos de quartzo; médios e finos, com alguns muito finos; arredondados e subarredondados; subesféricos e subalongados; superfícies alisadas e onduladas.
Plasma	Freqüência: 10%	5%	10%	5%
	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória;	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória em alguns	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; formação de alguns agregados	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; formação de algumas

(Continuação)

	formação de pequenas cimentações de grãos médios.	pontos isolados; ocorrendo o recobrimento ou capeamento fino de alguns grãos de quartzo.	sendo que: em 1) (ver esqueleto) os agregados estão mais preservados, formando películas envolvendo os grãos; em 2) com algumas tramas Gefúricas.	pequenas cimentações distribuídos aleatoriamente.
Poros	Freqüência: 35%	45%	42%	35%
	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; fortemente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes, com alguns poros grosseiros do tipo canais feitos por raízes; fortemente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos a médios; algumas zonas são mais adensadas do que outras; fortemente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos, adensados; moderadamente comunicantes.
Tramas (distribuição relativa)	Transição de Gefúrica para Mônica, com algumas tramas de porfírica.	Transição de Quito-gefúrica para Mônica.	Quito-gefúrica.	Transição de Quito-gefúrica para Mônica.
Feições Pedológicas	Ausentes;	Ausentes;	Ausentes;	Ausentes;
Microestruturas	Grãos com pontes.	Grãos com películas e grãos com pontes.	Grãos com películas.	Grãos com películas.

PERFIL DE SOLO 04 (04) - Gleissolo				
CARACTERES	**HORIZONTE E PROFUNDIDADE (CM)**			
	A	AC	CA	Cg
	14 - 21 cm	40-48 cm	61 - 65 cm	160 - 167cm
Esqueleto	Freqüência: 42%	55%	60%	65%
	Grãos de quartzo; finos e muito finos; subarredondados e subangulares; subesférico com alguns subalongados; superfícies rugosas e onduladas; distribuição aleatória.	Grãos de quartzo; finos e muito finos; subangulares e angulares; subalongados e subesféricicos; superfícies onduladas e rugosas; alguns grãos fraturados.	Grãos de quartzo; médios, finos e muito finos; subarredondados e subangulares; subesféricos e subalongados; superfícies onduladas e alisadas; mal selecionados;	Grãos de quartzo; finos e muito finos; subangulares e angulares; subesférico; superfícies onduladas e alisadas; muito adensado.
Plasma	Freqüência: 5%	5%	3%	15%
	Plasma argilo-orgânico, de coloração marrom escura; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de pequenas cimentações de grãos finos.	Plasma argilo-orgânico, de coloração marrom escura; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; bem disperso; dá-se a impressão de que existiam agregados e foram degradados pela lixiviação.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de pequenas cimentações com grãos finos.	Plasma argilo-férrico, de coloração marrom amarelada; opaco sob nicóis cruzados; distribuição aleatória; formação de pequenos agregados envolvendo grãos muito finos, angulosos e subangulosos.

(Continuação)

Poros	Freqüência: 53%	40%	37%	20%
	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; fortemente comunicantes; formação de 01 macroporo grosseiro.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; fortemente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); macroporos finos dominantes; fortemente comunicantes.	Porosidade intergrãos (de empilhamento simples); adensados; fracamente comunicantes; formação de alguns macroporos do tipo cavidades e vesículas com 01mm.
Tramas (distribuição relativa)	Transição de Porfiro-gefúrica para Mônica.	Transição de Quito-gefúrica para Mônica.	Mônica com um pouco de Gefúrica.	Porfiro-quitônica.
Feições Pedológicas	Ausentes;	Ausentes;	Ausentes;	Ausentes;
Microestrutura	Grãos simples.	Grãos simples com alguns grãos com películas.	Grãos simples com alguns grãos com pontes.	Grãos compactos (com películas).