UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE FILOSOFIA, LETRAS E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE GEOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA FÍSICA

RODOLFO LOPES DE SOUZA OLIVEIRA

ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA GEOMÓRFICA EROSIVA DA ÁREA URBANA DE ALFENAS, SUL DE MINAS GERAIS

(VERSÃO CORRIGIDA)

SÃO PAULO
2014

RODOLFO LOPES DE SOUZA OLIVEIRA

ANÁLISE E CARACTERIZAÇÃO DA DINÂMICA GEOMÓRFICA EROSIVA DA ÁREA URBANA DE ALFENAS, SUL DE MINAS GERAIS

(VERSÃO CORRIGIDA)

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da Universidade de São Paulo (USP) para a obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Área de Concentração: Geomorfologia

Orientador: Professor Doutor Antônio Carlos Colângelo

De acordo,

_____

Dr. Antônio Carlos Colângelo

SÃO PAULO
2014

Nome: OLIVEIRA, Rodolfo Lopes de Souza
Título: Análise e Caracterização da Dinâmica Geomórfica Erosiva da Área Urbana de Alfenas, Sul de Minas Gerais

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geografia Física da Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas (FFLCH) da Universidade de São Paulo (USP) para a obtenção do título de Mestre em Geografia Física.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Dr. Antônio Carlos Colângelo

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dr. Jurandyr Luciano Sanches Ross

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dra. Lidia Keiko Tominaga

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Dedico este trabalho às memórias felizes de Alfenas e àqueles que participaram de todo o meu trajeto escolar e acadêmico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pela oportunidade da existência em que tem sido possível realizar este trabalho e minha trajetória acadêmica e profissional.

Especialmente, agradeço ao Prof. Dr. Antônio Carlos Colângelo pela atenção e pelo empenho na orientação do trabalho e à Universidade de São Paulo pela viabilização de aulas e do desenvolvimento da pesquisa.

Aos meus pais, Emílio e Madalena, firmes alicerces da vida, que, desde o primeiro dia da minha vida, não têm medido esforços para que eu me realize, além de torcerem constantemente pelo meu sucesso.

À minha irmã, Fernanda, que torce e vibra por mim em cada passo. E que me aponta os erros e incoerências.

Ao Renato, que, além de torcer por mim, tem sido paciente e incentivador do meu sucesso.

Agradecerei, sempre, à Professora Marta Ferreira, da Universidade Federal de Alfenas, pois foi devido aos esforços e incentivos dela que acabei por estudar Geomorfologia.

Agradeço, ainda, à amiga Élida Rocha pela paciência em cada ajuda; ao amigo Danilo Garófalo pela disposição; aos amigos Carlos Oliveira e Danilo Gonçalves pela disponibilidade; às amigas Aline Paiva e Mariana Ferreira pela colaboração incentivadora; aos amigos Marcelo Dias e Valéria Naves pelo acompanhamento; a todos os amigos e colegas pelo companheirismo, pelo incentivo, pelas celebrações e, também, pela paciência (pode ser que nem todos estejam nomeados): Orlando, Adriano, Alexandre, Beto e Ana.

Todo mineiro tem um trem de ferro apitando nas veias, uma montanha brilhando nos olhos e uma banda tocando nos ouvidos.

SANTOS, Jorge Fernando, 1986

RESUMO

Os processos relativos à urbanização promovem alterações nas dinâmicas naturais, inclusive, sobre o relevo. Assim, a Geomorfologia apresenta-se como uma área de conhecimento importante para orientar a ocupação, estudando a evolução das formas e como estas passam a ser definidas na paisagem. Por essa premissa, este trabalho objetiva analisar o grau de suscetibilidade dos materiais superficiais e da morfologia do relevo da área urbana de Alfenas – MG a processos erosivos, justificando-se pela sua proposta de direcionamento para entender as respostas e as reações do relevo e do uso do solo às precipitações, ao comportamento da hidrologia (superficial e subsuperficial) e às interferências antrópicas, tendo por base informações detalhadas sobre esses elementos, pois há modificações nos fluxos de matéria e de energia operantes. Isso ajuda a explicar as ocorrências de processos erosivos da área, além de prever estados da morfologia onde estão operando esses processos – ou seja, até mesmo para compreender a antropogeomorfologia da área. A área de estudo corresponde à sede do município de Alfenas, localizada entre as coordenadas de 21º15’ e 21º35’ de latitude S e 46º00’ e 46º50’ de longitude W, incluída na carta topográfica de Alfenas, na escala 1:50.000. Foram utilizados materiais como a Planta Cadastral de Alfenas e fotografias aéreas na escala de 1:6.000, além de sistemas de informações geográficas e mapeamentos de detalhe para as análises, bem como ensaios de campo e de laboratório. Com a análise de dados morfométricos e da mecânica dos materiais superficiais, foi possível identificar e caracterizar os processos erosivos observados nos compartimentos de relevo definidos. Constatou-se que a ocupação antrópica alterou as formas e tem, de fato, contribuído para a deflagração de erosão acelerada.

Palavras chaves: Alfenas, Geomorfologia, erosão, dinâmica erosiva, área urbana

ABSTRACT

Urbanization causes changes in natural dynamics, including relief. On this way, Geomorphology represents an important scientific area that helps to guide occupancy actions, due to morphology evolution's studies and how forms are defined in landscape. Starting by this point, this work aims to analyze the level of susceptibility of surface materials and morphology of urban area of Alfenas, Minas Gerais, Brazil, to erosion. This is justified by a proposed guidance to understand the responses and the reactions of relief to land use, climate precipitation, hidrology (superficial and subsuperficial) and antropic processes, based on detailed information about these elements, because there are changes in flows of matter and energy operant. All of this helps to explain the occurrence of erosion in the area, besides to preview morphology states where erosional processes are occurring – ie, even to understand the antropomorphology of area. The study area is the city of Alfenas, Minas Gerais, Brazil, located between coordinates 21º15' and 21º 35' of latitude S and 46º00' and 46º50' of longitude W, included in topographic map of Alfenas (scale 1:50.000). Materials such the Cadastral Plant of Alfenas and aereal photographs (scale 1:6.000), as well geographic information systems, detail mapping and geotechnic essays were used for analysis. The obtained morphometric and surface materials mechanics data were fundamental to identify and to characterize erosional processes observed on the defined forms. It was found that human occupation has altered the forms and has contributed to the outbreak of accelerated erosion.

Keywords: Alfenas, Geomorphology, erosion, erosive dynamic, urban area

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Pontos de coleta das amostras de materiais superficiais 27
Figura 02 – Aparelho de Casagrande. 33
Figura 03 – Esquema do aparelho de Casagrande e seus componentes. 33
Figura 04 - Esquematização do Ensaio de Plasticidade. 34
Figura 05 – Tipos de encostas, segundo Troeh (1965), citado por Rodrigues (1982) 54
Figura 06 – Componentes da vertente (CHRISTOFOLETTI, 1980, *apud* KING, 1953) 54
Figura 07 - Terraços fluviais 57
Figura 08 – Localização da sede de Alfenas - MG 64
Figura 09 – Climograma de Alfenas – ano de 2010 68
Figura 10 – Climograma de Alfenas – ano de 2011 69
Figura 11 - Climograma de Alfenas – ano de 2012 70
Figura 12 – Climograma de Alfenas – ano de 2013 71
Figura 13 – Fragmentos Florestais no município de Alfenas - MG 73
Figura 14 – Uso da terra e cobertura vegetal da sede de Alfenas - MG 74
Figura 15 – Área de atuação do Comitê de Bacias da Unidade de Planejamento Rio Grande (GD3) 75
Figura 16 – Município de Alfenas antes da Represa de Furnas. 76
Figura 17 – Drenagem e Delimitação das Sub-bacias Hidrográficas da Sede de Alfenas - MG 77
Figura 18 – Montante do Córrego do Pântano 79
Figura 19 – Margem abrupta do Córrego do Pântano com evidências de terraços fluviais associados a deslizamentos 80
Figura 20 – Obras de canalização e retilinização do Córrego do Pântano 81
Figura 21 – Estado atual das margens do Córrego do Pântano e das obras de engenharia no médio curso 81
Figura 22 - Vista da área das nascentes do Córrego da Pedra Branca, próximo ao bairro Loteamento do Trevo, às margens da Rodovia MG-179 84
Figura 23 - Canalização do Córrego da Pedra Branca no bairro Santos Reis 85
Figura 24 - Ocupações próximas às margens do Córrego da Pedra Branca 86
Figura 25 - Retificação à montante do Córrego do Chafariz na região central da cidade de Alfenas 88

Figura 26 - Terraço fluvial no trecho médio-superior da sub-bacia do Córrego do Chafariz . 89
Figura 27 - Área à montante do Córrego da Estiva. Toda a cabeceira foi modificada com aterros e canalizações, devido a desmoronamentos 91
Figura 28a – Obra de canalização do Córrego da Estiva 92
Figura 28b - Infiltração de águas do Córrego da Estiva 92
Figura 29 – Mapa Litológico da região de Alfenas – MG 94
Figura 30 – Mapa Geológico da Região de Alfenas - MG 95
Figura 31 – Carta das Unidades de Paisagem da Região de Alfenas – MG 97
Figura 32 – Hipsometria da área da sede de Alfenas – MG 99
Figura 33 – Clinografia da área da sede de Alfenas – MG 100
Figura 34 – Modelo de Terreno Tridimensional da área sede de Alfenas e região do entorno imediato 102
Figura 35 – Fragilidade Ambiental Potencial da área da sede de Alfenas - MG 104
Figura 36 – Compartimentação do relevo, feições erosivas e deposicionais da área da sede de Alfenas - MG 106
Figura 37 – Planície 107
Figura 38 – Transição de colinas para planícies 108
Figura 39 – Gráfico da Curva do Limite de Liquidez das planícies aluviais 110
Figura 40 – Vista geral de colinas a partir de interflúvio da sub-bacia do Córrego do Pântano 111
Figura 41 – Vista de colina com topo de baixa declividade na sub-bacia do Córrego do Pântano 112
Figura 42 – Gráfico da curva do Limite de Liquidez do compartimento de colinas 114
Figura 43 – Deslizamento rotacional na margem direita do Córrego do Pântano, no compartimento de colinas 115
Figura 44 – Material caracterizado como turfa em vale do Córrego do Pântano (2009), no compartimento de colinas 116
Figura 45 – Vista geral do compartimento de morros convexos. 117
Figura 46 – Perfil observado no compartimento de morros convexos 118
Figura 47 – Gráfico da Curva do Limite de Liquidez (LL) do compartimento de morros convexos 119
Figura 48 – Deslizamento rotacional em tributário do Córrego da Pedra Branca no compartimento de morros convexos 121

Figura 49 – Processos de rastejo desenvolvidos em vertente no compartimento de morros convexos na sub-bacia do Córrego da Pedra Branca 121
Figura 50 – Vista parcial do compartimento de morros angulosos a partir de topo com afloramento rochoso 122
Figura 51 – Morros Angulosos de Alfenas com vista para os interflúvios da Sub-bacia do Córrego da Estiva 123
Figura 52 – Gráfico da Curva do Limite de Liquidez (LL) do material superficial do compartimento de morros angulosos 124
Figura 53 – Deslizamento ocorrido na Rua Caetés, bairro Vila Teixeira, na nascente do Córrego da Estiva, no compartimento de morros angulosos em 2009 126
Figura 54 - Obras de canalização do Córrego da Estiva no compartimento de morros angulosos em 2009 127
Figura 55 – Condução de obras e processos erosivos acelerados à montante do Córrego da Estiva no compartimento de morros angulosos 128
Figura 56 – Condução de obras e processos erosivos acelerados à montante do Córrego da Estiva no compartimento de morros angulosos 128
Figura 57 - Exposição de rocha xistosa em alteração no Córrego da Estiva 129

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 - Material Cartográfico e Produtos de Sensoriamento Remoto 18
Quadro 02 - Relação de Peneiras utilizadas para os ensaios de granulometria em laboratório – Escala Granulométrica ABNT – NBR 5734/95 30
Quadro 03 - Matriz de análise da suscetibilidade à erosão dos materiais superficiais dos tipos de relevo de Alfenas 37
Quadro 04 - Pares ordenados de classe-ordem para determinação do potencial erosivo dos materiais superficiais 38
Quadro 05 - Dados meteorológicos de Alfenas – MG mensais - ano de 2010..... 67
Quadro 06 – Dados meteorológicos de Alfenas – MG mensais - ano de 2011..... 68
Quadro 07 - Dados meteorológicos de Alfenas – MG mensais - ano de 2012 69
Quadro 08 - Dados meteorológicos de Alfenas – MG mensais - ano de 2013..... 70
Quadro 09 - Faixas altimétricas definidas para o trabalho de análise das formas de relevo ... 98
Quadro 10 - Distribuição granulométrica da amostra em planícies 109
Quadro 11 - Dados do Limite de Liquidez (LL) de planície aluvial 110
Quadro 12 - Dados do Limite de Plasticidade (LP) de planície aluvial 110
Quadro 13 - Índice de Plasticidade de planície aluvial 111
Quadro 14 - Índice de Consistência em planície aluvial 111
Quadro 15 - Distribuição granulométrica da amostra em colinas 113
Quadro 16 - Dados do Limite de Liquidez (LL) de colinas 114
Quadro 17 - Dados do Limite de Plasticidade (LP) de colinas 115
Quadro 18 - Índice de Plasticidade de colinas..... 115
Quadro 19 - Índice de Consistência em colinas 115
Quadro 20 - Distribuição granulométrica da amostra em morros convexos 118
Quadro 21 - Dados do Limite de Liquidez (LL) de morros convexos 119
Quadro 22 - Dados do Limite de Plasticidade (LP) de morros convexos 120
Quadro 23 - Índice de Plasticidade de morros convexos 120
Quadro 24 - Índice de Consistência em morros convexos 120
Quadro 25 - Distribuição granulométrica da amostra em colinas 125
Quadro 26 - Dados do Limite de Liquidez (LL) de morros angulosos 125
Quadro 27 - Dados do Limite de Plasticidade (LP) de morros angulosos 126
Quadro 28 - Índice de Plasticidade de morros angulosos..... 126
Quadro 29 - Índice de Consistência em morros angulosos 126

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 14
2. MATERIAIS E MÉTODO 17
2.1. Levantamentos bibliográficos, cartográficos e de dados 17
2.2. Instrumentos 18
2.3. Trabalhos de Campo 19
2.4. Procedimentos 20
2.4.1. Análise do Material Levantado e Compilação 20
2.4.2. Observação da Área de Estudo 20
2.4.3. Procedimentos em gabinete 20
2.4.3.1. Elaboração de Material Cartográfico Preliminar 20
2.4.3.1.1. Modelos Numéricos de Terreno 20
2.4.3.1.2. Carta Hidrográfica 22
2.4.3.2. Tipos de Relevo 23
2.4.3.3. Elaboração de Material Cartográfico Definitivo 24
2.4.4. Procedimentos em Campo 26
2.4.4.1. Observação de Materiais Superficiais 26
2.4.4.2. Verificação do Material Cartográfico Preliminar 29
2.4.5. Ensaios em Laboratório 29
2.4.5.1. Análise Granulométrica 29
2.4.5.2. Índices de consistência (Limites de Atterberg) 32
2.5. Descrição dos graus de suscetibilidade à erosão 35
3. RELEVO E DINÂMICA EROSIVA 40
3.1. Relevo na Paisagem 40
3.2. Processos erosivos: discussões e relações 43
3.2.1. Fatores envolvidos em processos erosivos 44
3.2.1.1. Fatores Hidrológicos 45
3.2.1.2. Fatores Pedológicos 49
3.2.1.3. Cobertura vegetal 51
3.2.1.4. Predisposição do relevo à erosão e feições erosivas 52
3.2.1.5. Ocupação antrópica 58
3.2.1.6. Nível de base 60
3.3. Abordagens do relevo 60

3.4. Cartografia Geomorfológica: instrumentação para análise do papel do relevo 62
4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA: ALFENAS 64
4.1. Localização e dados gerais 64
4.2. Breve histórico do município de Alfenas – MG 65
4.3. Clima 67
4.4. Vegetação 71
4.5. Uso da terra e cobertura vegetal 73
4.6. Hidrografia 74
4.6.1. Sub-bacia do Córrego do Pântano 78
4.6.2. Sub-bacia do Córrego da Pedra Branca 82
4.6.3. Sub-bacia do Córrego do Chafariz 87
4.6.4. Sub-bacia do Córrego da Estiva 90
4.7. Geologia 92
4.8. Geomorfologia 95
5. PROCESSOS EROSIVOS: TIPOS DE RELEVO E MATERIAL SUPERFICIAL 104
5.1. Planícies aluviais 107
5.1.1. Caracterização mecânica dos materiais superficiais das planícies aluviais 109
5.2. Colinas 111
5.2.1. Caracterização mecânica dos materiais superficiais das colinas 113
5.3. Morros convexos 116
5.3.1. Caracterização mecânica dos materiais superficiais dos morros convexos 117
5.4. Morros angulosos 122
5.4.1. Caracterização mecânica dos materiais superficiais dos morros angulosos 123
5.5. Considerações sobre as características dos materiais superficiais 129
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS 131
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 134
8. APÊNDICE A – Compartimentação do relevo, feições erosivas e deposicionais da área da sede de Alfenas - MG 140

1. INTRODUÇÃO

A Geomorfologia é uma ciência que estuda as diferentes feições da superfície terrestre, buscando compreender as relações processuais passadas e atuais do relevo. Este não é um arranjo estático na paisagem, mas um sistema dinâmico onde se processam fenômenos que extrapolam a temporalidade, influenciado por fluxos de matéria e de energia. A caracterização das formas do relevo e dos processos geomorfológicos é essencial para a identificação de áreas em desequilíbrio, além de contribuir nas proposições de recuperação e preservação.

No que concerne aos espaços urbanos, a Geomorfologia contribui para esclarecer e auxiliar na ocupação planejada dos espaços. Para tal, o mapa geomorfológico constitui uma importante ferramenta, pois deve mostrar um inventário do relevo, expondo áreas propícias ou não à ocupação humana. De acordo com Rodrigues (2005), a interferência antrópica na paisagem se constitui em ação geomorfológica. Essa ação pode, desde causar modificações nas propriedades, como também gerar, de forma direta e indireta, outra morfologia – denominada, pela autora, de morfologia antropogênica -, passando pela interferência em vetores, taxas e balanços dos processos.

Os conhecimentos geomorfológicos devem ser colocados à disposição dos projetos de planejamento rural e urbano, para minimizar processos de erosão acelerada, que, na maioria das vezes, associa-se a práticas que degradam materiais superficiais, como o próprio solo. Assim, o estudo geomorfológico assume papel fundamental para a elaboração de planos e de projetos que visam explicar os possíveis impactos ambientais decorrentes da implantação de empreendimentos em determinadas superfícies.

Em uma escala de tempo humana, é possível reconhecer, de forma quase imediata, como a expressão da dinâmica geomórfica incide na paisagem, a partir do desencadeamento de processos morfoesculturais – dentre estes, erosivos. Tendo isso por base, também se entende a relação de atributos e elementos da paisagem e da cobertura superficial que interferem e/ou influenciam os processos erosivos, como a umidade e a capacidade de resposta do material ao escoamento superficial (O'LOUGHLIN, 1986).

Grande parte dos trabalhos desenvolvidos no sul de Minas Gerais prioriza práticas agrícolas e carregam baixo teor de conhecimento sobre a conservação dos solos. Nesses estudos, veem-se informações sobre a vegetação original, microclimas, acidez e alcalinidade dos solos para subsidiar propostas de melhorias e correções voltadas à agricultura. Todavia um mapeamento de caráter geomorfológico não figura nas pautas de planejamento da maioria dos municípios sul mineiros, e Alfenas não é exceção, ainda, a esta regra.

Entendida, aqui, como um processo, a urbanização da área urbana de Alfenas atingiu seu ápice de crescimento a partir de meados dos anos 1950s e, desde então, isso continua até a contemporaneidade, da mesma forma que se constam nos estudos sobre a maioria das cidades brasileiras. O meio físico original, por consequência – não somente o da área de estudo deste trabalho -, acabou por ser descaracterizado como resultado de impactos provocados pela ocupação humana (não somente urbana), causando a aceleração de processos geomorfológicos que, na maioria das vezes, assumem caráter catastrófico. Esta modificação do meio físico também é visível nas áreas rurais, dada pela imposição da agricultura e da pecuária em superfícies topograficamente inclinadas.

A área urbana de Alfenas e sua região do entorno imediato (REI) apresentam altitudes que variam de 750m a 960m, com predomínio de áreas de declividade baixa a moderada (de 5% a 20%) (OLIVEIRA e FERREIRA, 2010), bem como a presença generalizada de relevo de morros e colinas, sendo que a ocupação urbana se deu inicialmente no primeiro compartimento citado, expandindo-se para áreas de colinas e planícies fluviais alterando a topografia juntamente com toda a paisagem. Essa área possui uma dinâmica geomórfica influenciada por processos erosivos que operam de acordo com a resposta dos materiais da superfície a tais processos, que se expressam, por fim, na morfologia da área.

Como comprovação da alteração da morfologia da área por processos erosivos, Oliveira (2010) reflete sobre a ocorrência desses processos pela deflagração de um deslizamento de terra, em 2010, às margens do Córrego da Estiva, na área urbana de Alfenas. Esse evento foi desencadeado pela aceleração de processos laminares, culminando no desmoronamento de uma via de circulação.

O que justifica a execução deste trabalho é sua proposta de direcionamento para entender as respostas e as reações do relevo da área da sede de Alfenas em relação à forma das vertentes e ao material superficial, tendo por base informações detalhadas sobre esses elementos, uma vez que há modificações nos fluxos de matéria e de energia operantes. Isso servirá para explicar as ocorrências de processos erosivos e para compreender a antropogeomorfologia da área.

Assim, ter-se-á a possibilidade de o poder público recorrer menos a medidas emergenciais e paliativas, pois haverá um material de orientação sobre a evolução das formas da área urbana de Alfenas com base para se prever as suscetibilidades do terreno a interferências externas.

Dessa forma, este trabalho visa analisar o grau de suscetibilidade da morfologia do relevo da área da sede de Alfenas – MG aos processos erosivos. Faz-se isso a partir da

declividade do terreno, da textura do material superficial e da plasticidade desse material, de forma que tais processos sejam identificados e caracterizados em cada compartimento de relevo, a fim de avaliar os processos geomorfodinâmicos resultantes da interação do meio físico com a atividade humana. Por fim, colabora-se, nesta dissertação, para o aumento de informações sobre a região do Sul de Minas Gerais, com a finalidade de subsidiar políticas e projetos de planejamento.

Esses objetivos partem da premissa de que as feições erosivas de Alfenas ocorrem pela aceleração da dinâmica erosiva pela apropriação antrópica do espaço, em decorrência do aumento do escoamento superficial e da exposição de porções do terreno ao impacto direto das chuvas e das formas das vertentes.

Assim, tem-se a hipótese de que as características mecânicas dos materiais superficiais das unidades de relevo da sede de Alfenas favorecem menos os processos erosivos do que as formas de ocupação humana.

2. MATERIAIS E MÉTODO

O trabalho foi norteado pela abordagem de análise geomorfológica apresentada por Ab'Sáber (1969). Essa abordagem sistematiza a análise em três níveis - a compartimentação topográfica, a estrutura superficial e a fisiologia da paisagem:

1) *Compartimentação topográfica* refere-se aos diferentes níveis topográficos e características do relevo que são importantes para o processo de ocupação do relevo. Neste nível é possível definir os diferentes graus de suscetibilidade que a área possui quanto à forma de ocupação e uso.

2) *Estrutura superficial* é importante para a definição do grau de fragilidade do terreno responsável pelo levantamento de depósitos que ocorreram e ocorrem em diferentes condições climáticas.

3) *Fisiologia da paisagem* tem como princípio o entendimento dos processos morfodinâmicos atuais. A ação humana é responsável pela aceleração de processos morfogenéticos antigos e atuais (tecnogênicos).

Para cada etapa, foram utilizados materiais e procedimentos específicos que serão descritos a seguir. O trabalho contou com atividades de gabinete, de laboratório e de campo. O ambiente do desenvolvimento de cada etapa será pormenorizado na descrição dos procedimentos realizados.

2.1. Levantamentos bibliográficos, cartográficos e de dados

Os levantamentos e as revisões dos materiais bibliográficos e cartográficos são aqui citados pela importância que representam no que diz respeito ao embasamento da pesquisa e em cada etapa de desenvolvimento. Constituíram atividades de gabinete e de laboratório.

Foram levantados materiais cartográficos disponíveis sobre a área de estudo, os quais se constituem de cartas topográficas nas escalas 1:50.000 e 1:250.000 e de um mapa geológico na escala 1:250.000; utilizou-se também a Planta Cadastral de Alfenas, em escala de 1:6000. Além destes mapas, foram relacionados também produtos de sensoriamento remoto, tais como imagens de satélite, de radar e fotografias aéreas (Quadro 01).

Materiais	*Articulação*	*Escala*	*Ano*	*Executor*
Folha Topográfica Alfenas	SF-23-I-I-3	1:50.000	1970	IBGE
Folha Topográfica Areado	SF-23-V-D-I-4	1:50.000	1970	IBGE
Folha Topográfica Machado	SF-23-I-III-1	1:50.000	1970	IBGE
Carta Geológica - Folha Varginha	SF – 23 – Y – B	1:250.000	1979	Projeto Sapucaí (CPRM)
Fotografias Aéreas		1:2.000 e 1:6.000	2006	BASE
Planta Cadastral de Alfenas – MG		1:6.000	2006 e 2010	BASE e PMA
Imagem orbital Landsat 8	Bandas 3, 4, 5 e 8		2013	NASA

Quadro 01: Material Cartográfico e Produtos de Sensoriamento Remoto

As fotografias aéreas e a Planta Cadastral foram obtidas juntamente ao acervo da Universidade Federal de Alfenas, mediante concessão da Prefeitura Municipal de Alfenas. Completaram-se observações em imagem obtida no *Google Earth*.

Dados meteorológicos dos anos de 2010, 2011, 2012 e de 2013 de Alfenas, em série histórica, com as médias mensais térmicas e volumes mensais acumulados de precipitação, foram obtidos junto ao Núcleo de Alfenas da Cooperativa Regional de Cafeicultores de Guaxupé (COOXUPE).

Para a análise de granulometria e de índices de consistência, os dados foram gerados diretamente na pesquisa, conforme procedimentos da NBR 5734/80 e da NBR 6459/82, respectivamente, que serão descritos adiante neste capítulo.

2.2. Instrumentos

Durante o trato com os materiais e dados, utilizaram-se programas de computador e instrumentos laboratoriais, para obter e organizar dados e outros instrumentos de análise.

A geração de dados de granulometria e de índices de consistência foi realizada no Laboratório de Solos da Empresa EcoOmni, em São Paulo – SP, mediante acordo entre o mestrando e os proprietários da empresa. Utilizaram-se uma plataforma de peneiras vibratórias, peneiras de diferentes espessuras, almofariz, cadinhos, provetas, béqueres, pistilo, placa de vidro, balança comum, balança de precisão e estufa.

Para trabalhos de campo, foram utilizados GPS, máquina fotográfica, martelo geológico para rochas sedimentares, martelo pedológico, enxada, pá reta, faca, fita métrica, carta topográfica de Alfenas 1:50.000, planta cadastral de Alfenas 1:6.000, caderneta de campo e o material cartográfico preliminar.

Assim, para organizar os dados meteorológicos e os obtidos nos ensaios de solos, recorreu-se ao Microsoft Excel 10, onde os dados foram tabulados. A partir deles, foram gerados os climogramas e gráficos de curvas de granulometria e de plasticidade.

A interpretação das fotografias aéreas ocorreu pela utilização de estereoscópio de espelho no Laboratório de Solos da empresa EcoOmni. Para a fotointerpretação, foram marcados os pontos centrais (áreas com menor distorção) de cada fotografia, fixando, em seguida, os pontos homólogos dos pares estereoscópicos. Após estes procedimentos, delimitaram-se as áreas com menor distorção das fotografias aéreas, sendo estas áreas consideradas no mapeamento. Por meio da análise dos pares estereoscópicos, os usos do solo e os processos morfodinâmicos foram mapeados.

Recorreu-se à utilização de sistema de informações geográficas – Ilwis e ArcGis -, para sistematização da cartografia preliminar e definitiva; de programas de desenho – AutoCad e Corel Draw -, para apresentação estética dos materiais cartográficos. Foram elaborados o mapa hidrográfico da área de estudo, a hipsometria, clinografia, o modelo tridimensional de terreno, uso da terra e os tipos de relevo, onde apresentam-se as formas das vertentes e as feições erosivas.

2.3. Trabalhos de Campo

Os trabalhos de campo podem ser agrupados em três fases, de forma que a periodização de atividades realizadas não segue, necessariamente, um perfil estritamente cronológico.

Alguns infortúnios ocorreram. Houve o impedimento da entrada em propriedades privadas e instituições, além da proibição da entrada em nascentes. Isso afetou a obtenção de dados e a observação de algumas características, mas que não impediram a execução do trabalho.

Aqui, as fases dos trabalhos de campo:

I. Fase preliminar: para reconhecimento da área de estudo, durante 13 e 14 de agosto de 2011, 18 e 19 de setembro de 2011 e 14, 15 e 16 de outubro de 2011.

II. Fase de observação das encostas, coleta de amostras de material superficial e ensaios de campo: 12 e 13 de maio de 2012; 17 a 20 de julho de 2012; 12, 13 e

14 de outubro de 2012; 17 e 18 de janeiro de 2013; 16, 17 e 18 de julho de 2013.

III. Verificação das informações dos materiais cartográficos preliminares: 17 e 18 de janeiro de 2013; 16 a 18 de julho de 2013; 1º e 2 de março de 2014.

2.4. Procedimentos

Seguiram-se procedimentos que visaram a análise integrada dos elementos do relevo para atingir os objetivos pretendidos.

2.4.1. Análise do material levantado e compilação

Consistiu em leituras, observações, análises e compilações de materiais bibliográficos, cartográficos e fotográficos para atender a necessidade de caracterização da área. Alfenas carece de materiais de detalhe no que diz respeito à geologia, à hidrografia e aos solos e materiais superficiais.

2.4.2. Observação da área de estudo

A área de estudo necessitou de reconhecimentos. Foram realizadas visitas *in situ* para observação dos elementos da paisagem e sua caracterização geral. Também, a área foi fotografada para análise pormenorizada em gabinete. Esse procedimento ocorreu constantemente a cada trabalho de campo realizado, de tal forma que modificações na paisagem puderam ser percebidas para serem descritas no trabalho de caracterização. Corresponde a uma etapa de grande contribuição para o trabalho no que concerne à produção de novos materiais e dados.

2.4.3. Procedimentos em gabinete

2.4.3.1. Elaboração de material cartográfico preliminar

2.4.3.1.1. Modelos Numéricos de Terreno

As bases cartográficas envolvidas diretamente no trabalho correspondem à carta topográfica Alfenas, do IBGE, 1970, em escala 1:50.000, e à planta cadastral de Alfenas, da Prefeitura Municipal de Alfenas, 2006, em escala 1:6.000 em formato digital.

Definiu-se um quadrilátero na carta topográfica do IBGE para ser escanerizado. A imagem obtida foi importada para o SIG Ilwis, onde procedeu-se o georreferenciamento com a definição dos pontos de controle pela ferramenta de edição *GeoReference*, para a criação de seu domínio.

A partir daí, foram digitalizadas manualmente as curvas de nível, atribuindo-lhes os valores altimétricos correspondentes, de 760m a 940, e a drenagem, em planos de informações (*layers*) diferentes.

- Hipsometria

Como a altitude se trata de uma grandeza variante no espaço, a elaboração de um mapa ou de uma carta hipsométrica demanda a utilização de operações matemáticas para a elaboração do modelo. O modelo hipsométrico é gerado pelo comando que aciona a interpolação dos valores das curvas de nível da base: *Interpolation* do SIG Ilwis. Este é acessado no menu *Operations,* em seguida seleciona-se a ferramenta *Contour Interpolation*. A partir disso, pôde ser elaborado o modelo digital de terreno, sobrepondo a drenagem.

- Declividade

Os cálculos da clinografia (ou declividade) da área de estudo selecionada para as atividades das aulas também foram gerados pelo SIG, utilizando-se, assim, de filtros que possibilitam esse fim. Filtragem espacial é uma operação "local", dependente do contexto, na qual os valores dos "pixels" na imagem original são modificados em função dos níveis de cinza ou números digitais.

Os filtros mais aplicados em Modelos Numéricos de Terrenos são: DFDX, DFDY, DFDUP, DFDDN, D2FDX2, D2FDY2, D2FDXDY, LAPLACE e SHADOW.

O comando *slope* do Ilwis permite a elaboração da declividade em graus e em porcentagem. Com o emprego do comando *slicing* sobre o modelo gerado em porcentagem, é possível agrupar classes e defini-las. Os intervalos utilizados foram os propostos por Ross (1992), indicando declividades de até 2% a acima de 30%. Seguindo isso, pôde-se obter a carta preliminar de declividade.

- Modelo Tridimensional

Ainda sob o prisma de embasamento da modelagem do terreno, o modelo 3D também segue a mesma estrutura, sendo que sua visualização se dá em três dimensões, e não plana (duas dimensões).

O Modelo Digital do Terreno em 3D da Confluência do Rio Itararé com o Rio Paranapanema foi gerado pelo Ilwis, utilizando o modelo de malha em grade retangular, aplicando uma filtragem adequada.

A grade retangular é um modelo digital que aproxima superfícies através de um poliedro de faces retangulares. Os vértices desses poliedros podem ser os próprios pontos amostrados. Os elementos possuem espaçamentos fixos, e os valores de grandeza entre os espaçamentos são estimados. A distância do pixel pode ser calculada pelo método da distância de Borgefors, em que a interpolação é calculada levando em consideração os valores das curvas para a determinação do valor do pixel pela distância em que ele está em relação às curvas:

$$H_P = H_2 + (d_2/(d_1 + d_2)) * (H_1 - H_2)).$$

2.4.3.1.2. Carta Hidrográfica

A drenagem da carta de 1:50.000 já tinha sido digitalizada. Gerou-se uma carta simplificada a partir desse *layer*. Esse material serviu para comparações e completar observações, mas a apresentação foi descartada, em virtude da base da Planta Cadastral em 1:1.000 e das análises das fotografias aéreas.

Para compor as análises referentes à hidrografia, recorreu-se a comandos dimensionais métricos e à elaboração da hierarquia fluvial.

Definir a hierarquia da rede fluvial, segundo CHRISTOFOLETTI (1980), consiste no processo de se estabelecer a classificação de determinado curso d'água (ou da área drenada que lhe pertence) no conjunto total da bacia hidrográfica na qual se encontra. Ainda segundo o autor, isso é realizado com a função de facilitar e tornar mais objetivos os estudos morfométricos (análise linear, areal e hipsométrica) sobre as bacias hidrográficas. Os procedimentos adotados para o estabelecimento da hierarquia da rede fluvial de cada sub-bacia delimitada consistiram na adoção do esquema proposto por Strahler, que, combinado ao de Horton, permite a identificação do canal principal.

De acordo com Strahler (1952), a identificação se inicia com os rios de 1ª ordem, que são aqueles que não recebem nenhum afluente. A partir da confluência de dois rios de 1ª ordem, forma-se um segmento de 2ª ordem. A confluência de dois rios de 2ª ordem define um rio de 3ª ordem e assim por diante. Quando dois rios de ordens diferentes juntam-se, prevalece a maior ordem.

Para Horton (1945):

> **os canais de primeira ordem são aqueles que não possuem tributários; os canais de segunda ordem somente recebem tributários de primeira ordem; os de terceira ordem podem receber um ou mais tributários de segunda ordem, mas também podem receber afluentes de primeira ordem; os de quarta ordem recebem tributários de terceira ordem e,**

> **também, os de ordem inferior. E assim sucessivamente. (apud CHIRSTOFOLLETI, 1980)**

O estabelecimento da hierarquia fluvial definitiva foi executado a partir da Planta Cadastral em escala 1:6.000. De onde também foi possível definir padrões de drenagem.

2.4.3.2. Tipos de relevo

A análise da compartimentação do relevo possibilita a análise e a compreensão do estabelecimento de formas do relevo na paisagem de maneira completa e integrada. Atendendo a essa premissa de análise, retoma-se a proposta metodológica norteadora do trabalho, formulada por Ab'Sáber (1969) e organiza-se a análise pormenorizadamente conforme Ross (1992), com os seis táxons de análise do relevo:

- 1 º táxon: unidades morfoestruturais que correspondem às grandes macroestruturas, como os escudos antigos, as faixas de dobramentos proterozóicos, as bacias paleomesozóicas e os dobramentos modernos. Essa unidade pode conter uma ou mais unidades morfoesculturais, associadas a diversidades litológico-estruturais, guardando evidências das intervenções climáticas na elaboração das grandes formas;
- 2 º táxon: unidades morfoesculturais, que correspondem aos compartimentos gerados pela ação climática ao longo do tempo geológico, com intervenção dos processos tectogenéticos. As unidades morfoesculturais são caracterizadas pelos planaltos, planícies e depressões, que estão inseridas numa unidade morfoestrutural. Como exemplo, na unidade morfoestrutural representada pelos dobramentos antigos, como da região central do Brasil, insere-se o Planalto Central Goiano, a Depressão do Tocantins e a Planície do Araguaia. As unidades morfoesculturais, em geral, não têm relação genética com as características climáticas atuais;
- 3 º táxon: unidades morfológicas, correspondentes ao agrupamento de formas relativas aos modelados, que são distinguidas pelas diferenças da rugosidade topográfica ou do índice de dissecação do relevo, bem como pelo formato dos topos, vertentes e vales de cada padrão. Como exemplo, na Folha SE.22 Goiânia (Mamede et al, 1983), o Planalto Central Goiano (unidade morfoescultural, denominado de unidade geomorfológica na referida folha) se caracteriza pela presença de quatro unidades morfológicas (denominadas de subunidades na referida folha): Planalto do Distrito Federal, Planalto do Alto Tocantins-Paranaíba, Planalto Rebaixado de Goiânia e Depressões Intermontanas. Uma unidade morfoescultural pode conter várias unidades de padrão de formas semelhantes;

- 4 º táxon: corresponde à unidade de padrão de formas semelhantes. Estas formas podem ser: a) de agradação (acumulação), como as planícies fluviais ou marinhas, terraços; b) de degradação como colinas, morros e cristas. Na metodologia adotada pelo Projeto Radambrasil (IBGE, 1995) no segundo conjunto de símbolos, denominado de Formas de Relevo, estas encontram-se subdivididas em três partes: Formas Estruturais, Formas Erosivas e Formas de Acumulação. As formas estruturais são representadas pela letra S, seguida por outras letras e respectivas traduções. O mesmo procedimento é adotado para as formas erosivas e para as formas de acumulação. Nos Tipos de Dissecação encontram-se três letras básicas: a, c e t, ou seja, formas aguçadas, formas convexas e formas tabulares. Os Índices de Dissecação encontram-se sintetizados adiante, onde são combinadas cinco classes medidas na imagem de radar, correspondentes à dimensão interfluvial, e à intensidade de aprofundamento dos talvegues, avaliada qualitativamente, também representada por cinco classes;
- 5 º táxon: corresponde aos tipos de vertentes ou setores das vertentes de cada uma das formas do relevo. Cada tipologia de forma de uma vertente é geneticamente distinta; cada um dos setores dessa vertente pode apresentar características geométricas, genéticas e dinâmicas também distintas. Ross (1992) observa que as representações desse táxon são possíveis em escalas maiores, como 1:25.000. Dentre as principais características geométricas das formas das vertentes destacam-se: vertente escarpada, convexa, côncava, retilínea, dentre outras;
- 6 º táxon: refere-se às formas menores resultantes da ação dos processos erosivos atuais ou dos depósitos atuais. Exemplo, as formas associadas às intervenções antropogênicas como as boçorocas, ravinas, cortes de taludes, escavações, depósitos tecnogênicos como assoreamentos, aterros, “bota-foras”, ou as consideradas naturais, como cicatrizes de escorregamentos, bancos de deposição fluvial, dentre outros.

Foi realizada a estereoscopia das fotografias aéreas para identificação de processos erosivos e de formas de relevo, produzindo-se planos de informação sobrepostos às fotografias.

Além desses materiais, utilizou-se também o sig ArcGis para elaboração de todo o mapeamento inicial.

2.4.3.3. Elaboração de material cartográfico definitivo

As observações feitas em campo permitiram a verificação da veracidade dos materiais cartográficos prévios. Felizmente, as inconformidades foram poucas.

Foram indicadas as feições erosivas que não apareceram nas fotografias aéreas, em decorrência da data: as fotografias foram produzidas em 2006, e o trabalho foi realizado durante parte de 2011, 2012, 2013 e parte de 2014.

Os dados, então, foram exportados para o sig *ArcGis 10*.

Os comandos no sistema de informações geográficas foram os mesmos para a geração de modelos numéricos. As alterações de terreno foram inseridas por digitalização manual no AutoCad, processo que também ocorreu na definição das formas das vertentes e na localização de processos erosivos.

Os mapas hipsométrico e clinográfico e modelo do relevo em perspectiva tridimensional foram gerados a partir de um modelo digital de elevação (MDE), acionando-se a interpolação das curvas de nível da base de Alfenas, na escala de 1:6.000, com curvas cotadas de 1 em 1 metro. Para a interpolação, foi aplicado o comando *Topo to Raster*, do software ArcGis 10. Para a geração do mapa altimétrico, o MDE foi representado em uma escala tonal de verde (menores altitudes) para o marrom (maiores altitudes), com transparência de 20%, sobreposto à imagem de sombreamento do relevo do MDE, com iluminação de azimute de 315°, gerada a partir da ferramenta *hillshade* da extensão *3D Analyst* do software *ArcGIS™ 10*. O mapa clinográfico foi gerado por meio do comando *Slope*, com declividade representada em porcentagem, presente no módulo *Surface* da extensão *Spatial Analyst Tools* do software *ArcGIS 10* ™. Já o modelo em perspectiva tridimensional foi gerado a partir da extensão *ArcScene* do software *ArcGIS 10*™.

O mapa de uso da terra e cobertura vegetal tomou como base as bandas 3, 4, 5 e 8 do satélite Landsat 8. Inicialmente, foi feito o recorte das bandas, tendo como máscara o arquivo vetorial do limite da área de estudo. Em seguida, foi gerada uma composição colorida falsa-cor R5G4B3, a partir do comando *Composite Bands*. A fim de melhorar a resolução espacial da imagem da composição colorida, foi feita uma fusão desta com a banda 8, pancromática, com resolução espacial de 15 metros. Tal procedimento foi realizado a partir do comando *Create Pan-sharpened Raster Dataset*, originando uma nova imagem falsa-cor com a resolução espacial da banda pancromática. Por fim, foi feito o mapeamento do uso do solo e da cobertura vegetal por análise visual, tendo sido identificadas 17 classes de uso e de cobertura vegetal: Lago; Eucalipto; Capoeira; Uso misto; Solo Exposto; Aeroporto; Remanescente Florestal; Industrial; Café; Unifenas; Cultura anual; Estação de tratamento de esgoto; Aterro Sanitário; Expansão urbana / sítio; Pastagem; e Horticultura.

O mapa de fragilidade ambiental é uma combinação das variáveis declividade e uso do solo. Para cada classe de cada uma das variáveis é atribuído um peso, assim como para cada

variável, conforme proposto por Ross (1994). Tal procedimento foi realizado a partir do comando *Weighted Overlay* do software *ArcGis 10*.

Os processos erosivos observados e os tipos de relevo estão apresentados no mapa de Feições Erosivas e Deposicionais e Compartimentos de Relevo. Este material foi elaborado a partir da fotointerpretação por etereoscopia das fotografias aéreas em escala de 1:6.000 que foram transferidas para a planta cadastral, a fim de identificar feições erosivas e deposicionais, além das formas de relevo que puderam ser compartimentadas. Os trabalhos de campo foram utilizados para checar e complementar as informações.

2.4.4. Procedimentos em campo

2.4.4.1. Observação de materiais superficiais

Além das formas em si, a deflagração de processos erosivos ocorre pela natureza do material superficial, se é mais ou menos propenso a ser erodido. Explorando algumas características, especialmente, de solos, foram realizados ensaios que permitem analisar essa suscetibilidade à erosão. Deixa-se claro, aqui, que essa observação não se trata de um procedimento restrito ao material caracterizado como solo *strictu sensu*, mas de amostras que sugerem materiais superficiais. Diz-se isso porque os solos são anisotrópicos, embora suas características não sejam casuais (MANFREDINI et. al., 2003).

Para cada tipo de relevo, escolheu-se um ponto de análise ao longo das médias encostas, de forma que se analisassem, também, os diferentes compartimentos de relevo que, por ventura, localizem-se numa mesma sub-bacia (Figura 01). Nessas localizações, então, foram escavadas trincheiras de 1,0m² com auxílio da pá reta e da enxada ou aproveitaram-se barrancos. Esses barrancos foram limpos com martelo pedológico para observação.

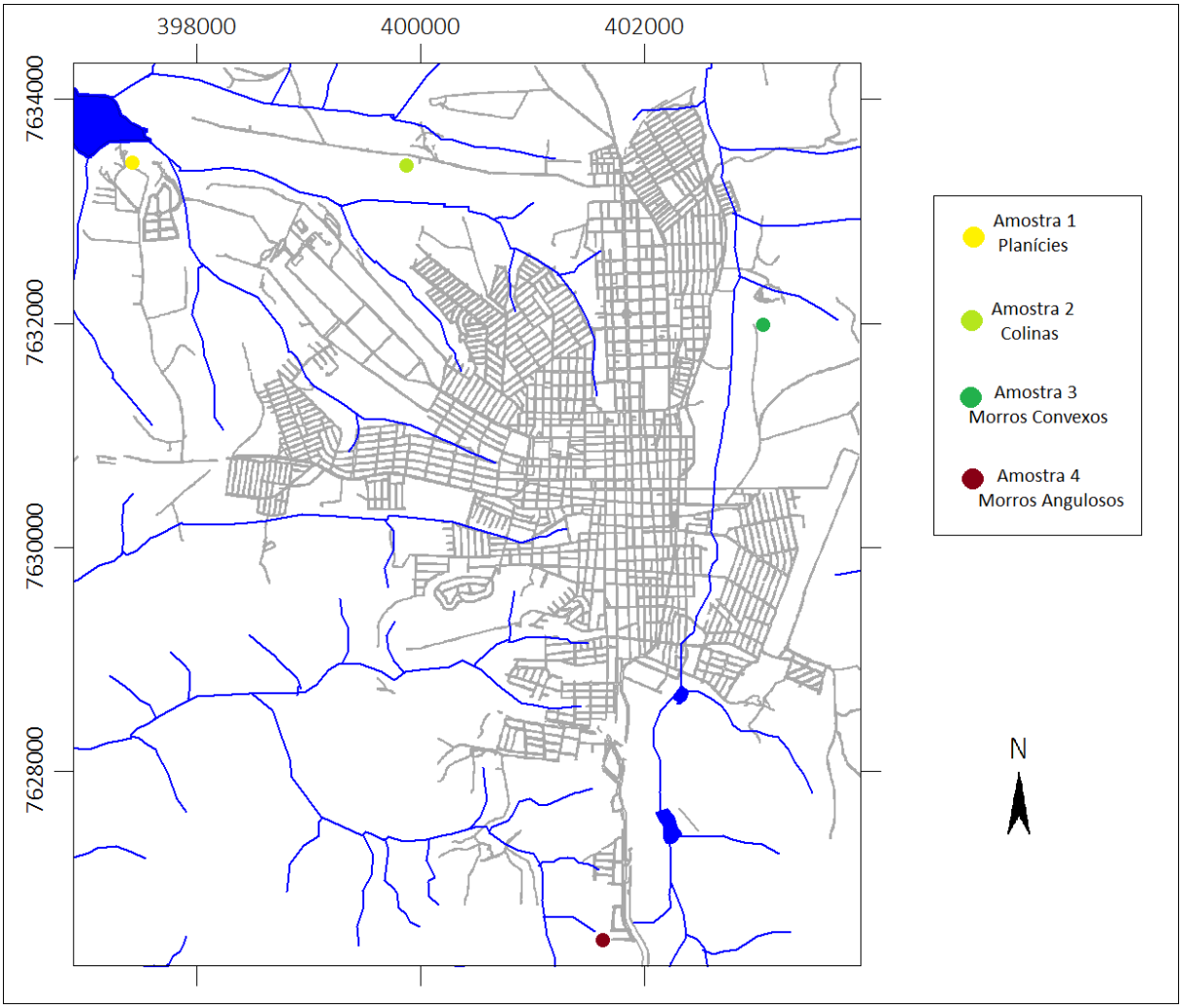


Figura 01 – Pontos de coleta das amostras de materiais superficiais

Não foi possível fotografar as áreas dos ensaios e coletas realizadas para as amostras 1 e 2, em decorrência do impedimento de autoridades e proprietários.

A identificação das características do material analisado no campo contou com a realização de ensaios de solo. Foi possível a observação da textura, da estrutura, da porosidade e da atividade biológica.

Foi possível fotografar os pontos referentes aos compartimentos de morros convexos e de morros angulosos, mediante acordo entre o autor e os proprietários das áreas observadas; os compartimentos de colinas e de planícies foram analisados, no entanto, sem registro fotográfico, tendo em vista a não autorização de registros nesses pontos.

- Observação da Textura.

Para a observação da textura, observou-se: primeiro, a cor da porção superficial, para que se notasse a existência ou não de diferenças, o que possibilita identificar horizontes;

segundo, recolheu-se uma amostra de solo que foi saturada com água e trabalhada entre os dedos, para desfazer os agregados, dando sequência à esfrega desse material entre o polegar e o indicador, o que permite perceber as proporções dos diferentes constituintes. A textura pode ser arenosa, média, argilosa ou muito argilosa.

De acordo com Coche (1985), após molhar a amostra, pode-se moldar uma bola de 3,0cm de diâmetro e deixá-la cair. Se a amostra for destruída, identifica-se textura arenosa; se a bolinha não se destruir, forma-se um cilindro de 6,0 cm a 7,0cm de comprimento que, se se destruir, a textura é média; se não se destruir, continua-se molhando o cilindro até o comprimento em torno de 15cm e forma-se uma meia-lua, que, caso se trinque levemente, a textura é argilosa; se for possível moldar um círculo, a textura é muito argilosa.

- Observação da estrutura

A estrutura expressa toda a complexidade das interações entre os constituintes e os fatores de formação (material de origem, clima, relevo e atividade biológica) do solo. Ela condiciona o funcionamento atual do solo, definindo a geometria dos espaços vazios (poros) por onde a água circula ou é retida, por meio dos quais acontecem as trocas gasosas.

A estrutura do solo é composta por diferentes tipos de agregados, cuja presença ou ausência permite classificar tal estrutura como contínua – sem agregados, com partículas soltas, sem cimentação; quando há cimentação, é maciça -, ou descontínua – fragmentária. Os agregados podem ser arredondados, angulosos ou laminares, de acordo com a forma; muito pequenos, pequenos, médios, grandes e muito grandes, em escalas variáveis, conforme o tamanho.

A caracterização da consistência é feita em três estados de umidade, sendo eles: consistência a seco: solta, macia, dura; consistência úmida: solta, friável, firme; consistência molhada: plasticidade – de não plástica a muito plástica - e pegajosidade – de não pegajosa a muito pegajosa.

- Observação da porosidade

A porosidade constitui ou determina o ambiente do solo, que está na interface entre atmosfera, litosfera e biosfera. É por essa propriedade que a água circula, por onde ar e solutos circulam ou são retidos no material. Refere-se ao volume do solo ocupado pela água, pelo ar e pelos seres vivos. Grande parte da porosidade é invisível a olho nu e à lupa, pois se constitui em poros resultantes de organizações elementares entre constituintes argilosos, dentre outros, mas certos tipos de poros podem ser observados a olho nu e a lupa. No campo,

a porosidade é descrita por meio da forma, do tamanho, da abundância e da origem dos poros. Quanto à origem, a porosidade pode ser:

- porosidade de alteração;
- porosidade textural: de partículas ou intersticial;
- porosidade extrutural: entre os agregados do solo;
- porosidade biológica (tubular e vesicular): resultado da atividade de raízes, formigas, minhocas, cupins etc..

2.4.4.2. Verificação do material cartográfico preliminar

As informações contidas no material cartográfico elaborado em gabinete foram verificadas nos trabalhos de campo. Apareceram poucas inconsistências que foram corrigidas. Acrescentaram-se as ocorrências de processos erosivos que não apareceram nas fotografias aéreas devido à data de obtenção destas.

2.4.5. Ensaios em laboratório

Os ensaios de laboratório foram feitos no Laboratório de Solos da empresa EcoOmni em São Paulo – SP.

Procederam-se análises de laboratório sobre a textura por meio de análise granulométrica e à determinação dos índices de consistência (Limite de Atterberg).

2.4.5.1. Análise Granulométrica

Todos os solos, em sua fase sólida, contêm partículas de diferentes tamanhos em proporções as mais variadas. A determinação do tamanho das partículas e suas respectivas porcentagens de ocorrência permitem obter a função distribuição de partículas do solo e que é denominada distribuição granulométrica.

A distribuição granulométrica dos materiais coletados foi obtida por meio do processo de peneiramento. A ABNT define a granulometria conforme as malhas das peneiras, de acordo com a NBR 5734/95, que podem ser vistas no quadro 02.

MALHA (n.º)	DIÂMETRO (mm)	FRAÇÃO GRANULOMÉTRICA
10	2,00	Pedregulho fino
30	0,59	Areia grossa
40	0,42	Areia grossa
60	0,250	Areia média
120	0,125	Areia média
200	0,074	Areia fina
Prato		Silte e argila

Quadro 02: Relação de Peneiras utilizadas para os ensaios de granulometria em laboratório – Escala Granulométrica ABNT – NBR 5734/95

No laboratório, as amostras coletadas nas trincheiras e nos perfis foram secas em estufa por 24 horas, a fim de que se subtraísse o excesso de umidade. Após esta etapa, houve a quebra dos torrões maiores. Foram medidos 100g do material de cada amostra em balança comum, antes de serem levados para a plataforma de peneiras vibratórias. As peneiras disponíveis foram as de malha n.º 10, n.º 30, n.º 40, n.º 60, n.º 120 e n.º 200, além do prato.

Obtiveram-se, como resultado desta análise, materiais granulares, areias e pedregulhos, em decorrência das peneiras disponíveis enquanto que, para silte e argila, foi utilizado o processo de decantação. O material contido no fundo do prato das peneiras foi colocado num Becker, sendo adicionada água destilada. Essa suspensão foi levada para uma proveta graduada que foi completada por mais água destilada. Agitaram-se, então, os sedimentos. Como a argila é mais leve, ela fica suspensa, ao passo que o silte se precipita no fundo da proveta. Então, após um período de 24 horas, era retirada uma coluna de 30 cm de água da proveta por sifonação, que era levada a outro becker, onde o silte também ficava decantando. A cada oito horas, decanta-se a argila de 10 cm de coluna d'água destilada. Após isso, completa-se novamente a quantidade de água da proveta e agitam-se os sedimentos. Quando a água da proveta estiver mais transparente, com menos sedimentos, significa que a decantação está terminada, e os materiais se separaram.

A distribuição granulométrica úmida ocorreu para dois pontos da Sub-bacia do Córrego do Pântano. Tomou-se essa decisão para detalhar melhor a porcentagem de silte e de argila dessa sub-bacia, tendo em vista que ela se trata da área mais densamente ocupada.

Conforme a porcentagem de cada fração granulométrica presente, classifica-se o material de acordo com a suscetibilidade à erosão.

A textura do material é definida pela proporção das diferentes frações granulométricas. Classificaram-se os materiais conforme a maior presença de determinada fração granulométrica.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT/NBR 6502/95) – Terminologia - Rochas e Solos define como:

- Bloco de rocha – Fragmentos de rocha transportados ou não, com diâmetro superior a 1,0 m.
- Matacão – fragmento de rocha transportado ou não, arredondado por intemperismo ou abrasão, com uma dimensão compreendida entre 200 mm e 1,0 m.
- Pedregulho – solos formados por minerais ou partículas de rocha, com diâmetro compreendido entre 2,0 e 60,0 mm. Quando arredondados ou semi-arredondados, são denominados cascalhos ou seixos. Divide-se quanto ao diâmetro em: *pedregulho fino* – (2 a 6 mm), *pedregulho médio* (6 a 20 mm) e *pedregulho grosso* (20 a 60 mm).
- Areia – solo não coesivo e não plástico formado por minerais ou partículas de rochas com diâmetros compreendidos entre 0,06 mm e 2,0 mm. As areias de acordo com o diâmetro classificam-se em: *areia fina* (0,06 mm a 0,2 mm), *areia média* (0,2 mm a 0,6 mm) e *areia grossa* (0,6 mm a 2,0 mm).
- Silte – solo que apresenta baixo ou nenhuma plasticidade, baixa resistência quando seco ao ar. É formado por partículas com diâmetros compreendidos entre 0,002 mm e 0,06 mm.
- Argila – solo de granulação muito fina constituída por partículas com dimensões menores que 0,002 mm.

Assim, conforme a textura, Medeiros *et. al.* (2006) definem classificações de solos com base nas texturas, propostas pela EMBRAPA. Esta classificação aplica-se, neste trabalho, aos materiais superficiais analisados granulometricamente:

- Solos de Textura Arenosa (Solos Leves) - Possuem teores de areia superiores a 70% e o de argila inferior a 15%; são permeáveis, leves, de baixa capacidade de retenção de água e de baixo teor de matéria orgânica. Altamente susceptíveis à erosão, necessitando de cuidados especiais na reposição de matéria orgânica, no preparo do solo e nas práticas conservacionistas. São limitantes ao método de irrigação por sulcos, devido à baixa capacidade de retenção de água, o que ocasiona uma alta taxa de infiltração de água no solo e, consequentemente, elevadas perdas por percolação.
- Solos de Textura Média (Solos Médios) - São solos que apresentam certo equilíbrio entre os teores de areia, silte e argila. Normalmente, apresentam boa drenagem, boa capacidade de retenção de água e índice médio de erodibilidade. Portanto, não necessitam de cuidados especiais, adequando-se a todos os métodos de irrigação.

- Solos de Textura Argilosa (Solos Pesados) - São solos com teores de argila superiores a 35%. Possuem baixa permeabilidade e alta capacidade de retenção de água. Esses solos apresentam maior força de coesão entre as partículas, o que além de dificultar a penetração, facilita a aderência do solo aos implementos, dificultando os trabalhos de mecanização. Embora sejam mais resistentes à erosão, são altamente susceptíveis à compactação, o que merece cuidados especiais no seu preparo, principalmente no que diz respeito ao teor de umidade, para o qual o solo deve estar com consistência friável. Apresentam restrições para o uso da irrigação por aspersão quando a velocidade de infiltração básica for muito baixa.

2.4.5.2. Índices de consistência (Limites de Atterberg)

Somente a distribuição granulométrica não caracteriza bem o comportamento dos solos. Para Pinto (2006), o comportamento de partículas com superfícies específicas tão distintas perante a água é muito diferenciado. Isso ocorre devido à composição química dos elementos que compõem o material superficial. E, obviamente, tudo isso interfere no comportamento desse material e, também, dos solos. Uma forma prática para determinação desse comportamento foi buscada pela Engenharia em uma forma indireta de análise, baseada no comportamento do solo na presença de água. Os ensaios foram propostos pelo engenheiro químico Atterberg, pesquisador do comportamento do solo sob o aspecto agronômico, adaptados e padronizados pelo professor de Mecânica dos Solos, Arthur Casagrande (PINTO, op. cit.). A partir dos trabalhos de CASAGRANDE (1948, *apud* PINTO op. cit.), os limites de consistência passaram a constituir parâmetros essenciais na classificação e caracterização de solos coesivos finos, estando intimamente relacionados com os principais parâmetros responsáveis pelo comportamento dos solos. O mesmo autor foi também o responsável pela criação do aparelho conhecido por *concha de Casagrande*.

Os teores de umidade correspondentes às mudanças de estado são definidos como Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP) dos solos. Esses limites identificam o teor de plasticidade, de acordo com a umidade que separa dois estados de consistência de um solo. A diferença entre esses dois limites, que indica a faixa de valores em que o solo se apresenta plástico, consiste no fato de que o LL separa o estado liquido do plástico, enquanto que o limite de plasticidade, separa o estado plástico do semissólido. Tal diferença é definida por Pinto (op. cit.) como o Índice de Plasticidade (IP) do solo. Em condições normais, só são apresentados os valores do LL e do IP como índices de consistência dos solos. O LP é

empregado para a determinação do IP. A passagem de um estado para outro ocorre de forma gradual, com a variação da umidade.

O procedimento de ensaio do Limite de Liquidez é padronizado no Brasil pela ABNT (Método NBR 6459). Utiliza-se no ensaio o aparelho (concha) de Casagrande, exposto na Figura 02 e na Figura 03, com seus componentes.

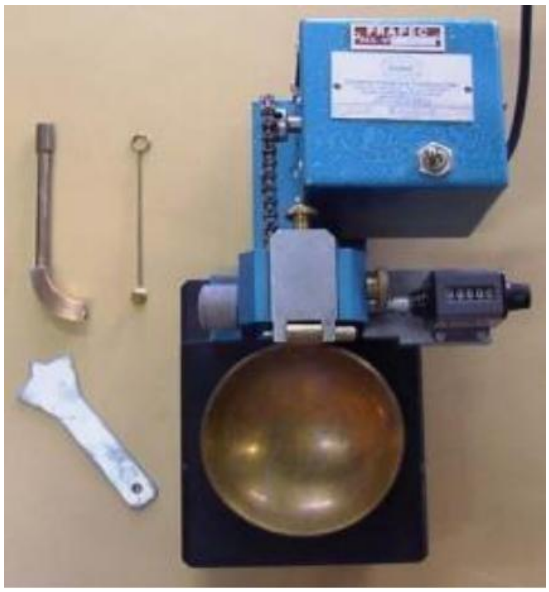


Figura 02 - Aparelho de Casagrande. Fonte: ABNT NBR 6459/82

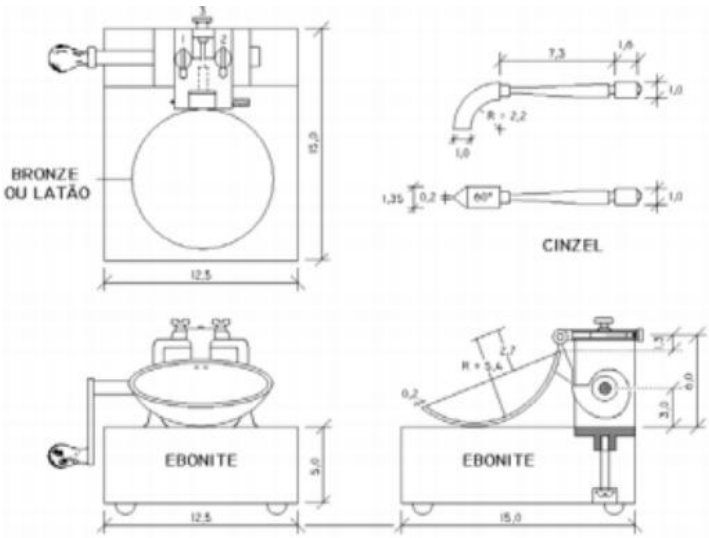


Figura 03 - Esquema do aparelho de Casagrande e seus componentes. Fonte: ABNT NBR 6459/82

Para o ensaio de Casagrande, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Aparelho de cinzel de Casagrande;
- balança de Precisão;
- estufa;
- cápsula de porcelana;
- cadinhos;
- espátula;
- água destilada.

Após umedecer a amostra de solo, coloca-se o material na concha de Casagrande, girando a manivela à razão de duas revoluções por segundo, contando o numero de golpes. Transfere-se o material restante da concha para a placa de vidro, misturando-o com o restante da amostra existente, homogeneizando-o e aumentando a umidade do solo (acrescentando água). A concha deve ser limpa e seca após cada etapa, repetindo este procedimento até que se tenham cinco pares de valores teor de umidade por número de golpes.

A quantidade de golpes deve ser entre 10 e 40, com dois acima e dois abaixo, e um próximo de 25 golpes. Em cada etapa, foi anotado o número de golpes da concha na base do contato, o que é necessário para que as bordas inferiores da ranhura unam-se ao longo do eixo de simetria (fechando a fenda no solo contido na concha).

Ao terminar os golpes de cada etapa, retira-se cerca de 15g do solo junto às bordas que se uniram. Em seguida, pesa-se essa material e deixa-o por 24 horas em estufa. No dia seguinte, pesa-se a amostra seca, para determinar o teor de umidade do solo.

O ensaio de plasticidade é orientado pela NBR 7180/82 da ABNT e é bastante simples. Os equipamentos necessários são uma placa de vidro com uma face esmerilhada e um cilindro padrão com 3,0mm de diâmetro, conforme está representado na figura 04. O ensaio inicia-se rolando, sobre a face esmerilhada da placa, uma amostra de solo com um teor de umidade inicial próximo do limite de liquidez, até que, duas condições sejam, simultaneamente, alcançadas: o rolinho tenha um diâmetro igual ao do cilindro padrão e o aparecimento de fissuras (inicio da fragmentação). O teor de umidade do rolinho, nesta condição, representa o limite de plasticidade do solo.

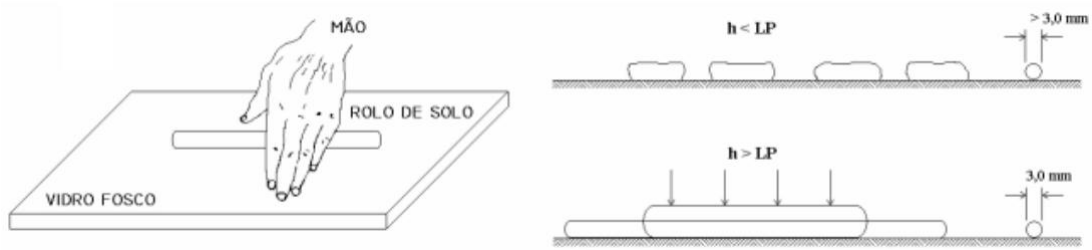


Figura 04: Esquematização do Ensaio de Plasticidade. Fonte: NBR 7180/82, ABNT

Para o ensaio de plasticidade do solo, foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Placa de vidro, com espessura de cinco mm;
- balança de Precisão;
- estufa;
- cápsula de porcelana;
- cadinhos, cujas massas foram previamente medida;
- espátula;
- água destilada.

O ensaio foi feito com a mesma amostra de solo utilizada no ensaio do Casagrande. Foram utilizados, aproximadamente, 50g de solo úmido de cada amostra. Rola-se o solo com a mão sobre uma placa de vidro até formar bastonetes com diâmetro aproximado de 3,0 mm ou até o aparecimento de fissuras no bastonete. Interrompe-se o procedimento quando o bastonete se rompe, colocando a amostra fissurada do bastonete nos cadinhos, que seguem para a pesagem e, depois, para a estufa, onde permanecem por 24 horas, a fim de que se retire a umidade. Então, pesam-se, novamente, os cadinhos, para determinar o teor de umidade.

O valor do limite da liquidez do solo é apontado pelo ponto correspondente ao ponto do eixo y do gráfico para 25 golpes. E o limite de plasticidade é uma média aritimética entre os valores dos teores de umidade.

Classificam-se os materiais, conforme a plasticidade, em:

- pouco (fracamente) plástico: $1 < IP < 7$
- plasticidade média (medianamente plástico): $7 < IP < 15$
- muito (altamente) plástico: $IP > 15$

Os dados obtidos nos dois ensaios foram anotados e tabulados para constituição dos gráficos analíticos.

Por fim, calcula-se o Índice de Consistência do material, para determinar se este é mais ou menos compressível (sujeito a recalques), conforme a correlação de Terzaghi:

$$Cc = 0{,}009.(LL-10)$$

2.5. Descrição dos graus de suscetibilidade à erosão

Para definir se o material superficial possui maior ou menor grau de influência à erosão em relação à ocupação, propôs-se um modelo teórico simplificado para analisar a declividade, a plasticidade e a textura dos materiais superficiais dos compartimentos de relevo. Esse modelo é constituído por pares que indicam a propensão natural dos materiais à deflagração de erosão natural. O pares do modelo são representados por:

P.D – t

Sendo:

P – a plasticidade

D – a declividade

t - a textura

Admite-se que a análise proveniente dessa matriz não seja completa, devido às variáveis com que ela trabalha. As variáveis apresentadas são as que puderam ser obtidas ao longo do trabalho, em vista de carência de materiais e estudos sobre esses aspectos na região de Alfenas, notadamente em nível de detalhe. Os atuais modelos de suscetibilidade são facilmente aplicados com programas de computador, na medida em que se tenham os dados disponíveis. A verificação dos dados provenientes dessa pequena matriz se dá em campo.

São analisadas na matriz:

- Plasticidade, medida pelo Índice de Plasticidade,
- Declividade, medida em alta, média e baixa.

Para a plasticidade, utiliza-se a classificação conforme o Índice de Plasticidade (IP). Materiais pouco plásticos (1> IP > 7) recebem peso 1; materiais de plasticidade média (7>IP>15), peso 2; materiais muito plásticos (IP>15), peso 3.

A declividade média do compartimento segue a proposta de Ross (1994), sendo: de 0 a 6%, muito fraca; de 6% a 12%, fraca; de 12% a 30%, média; de 20% a 30%, forte; mais do que 30%, muito forte. Para a matriz, agrupa-se em: 0 a 12%, fraca – peso 1; 12% a 25%, média – peso 2; acima de 25%, forte, peso 3.

Segue-se a matriz no quadro 03.

		DECLIVIDADE – D		
		Fraca 0 ≤ D ≤ 12% (1)	Média 12% ≤ D ≤ 25% (2)	Forte D ≥ 25% (3)
PLASTICIDADE – P	Baixa (1)	**1.1**	**1.2**	**1.3**
	Média (2)	**2.1**	**2.2**	**2.3**
	Alta (3)	**3.1.**	**3.2**	**3.3**

Quadro 03: Matriz de análise da suscetibilidade à erosão dos materiais superficiais dos tipos de relevo de Alfenas

- 1.1. Materiais pouco plásticos, localizados em áreas de declividade baixa. Suscetibilidade muito baixa à erosão.
- 1.2. Materiais pouco plásticos, localizados em áreas com declividade média. Suscetibilidade média à erosão. Saturação e gravidade atuam.
- 1.3. Materiais pouco plásticos, localizados em áreas com declividade alta. Suscetibilidade alta à erosão. Predomina a gravidade.
- 2.1. Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade baixa Suscetibilidade baixa à erosão. Predomina saturação do material.
- 2.2. Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade média. Suscetibilidade média à erosão. Saturação do material e gravidade atuam.
- 2.3. Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade alta. Suscetibilidade alta à erosão. Atuam a gravidade e a saturação, predominando a gravidade.
- 3.1. Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de baixa declividade. Suscetibilidade alta à erosão. Predominam saturação.
- 3.2. Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de declividade média. Suscetibilidade alta à erosão. Atuam saturação e gravidade.
- 3.3. Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de alta declividade. Suscetibilidade extrema à erosão. Predominam saturação e gravidade.

As classes 1.1., 1.2., 2.1 e 2.2 correspondem a classes em que a deflagração de processos erosivos está mais associada às pressões de ocupação, em decorrência das características naturais. Já as classes 2.3, 3.1, 3.2 e 3.3 correspondem àquelas em que as características

naturais superam as pressões de ocupação no que diz respeito à ocorrência de processos erosivos.

Para completar a análise, define-se uma ordem de textura do solo. Acrescenta-se à classe uma letra que indica a textura, sendo:

- a – textura argilosa;
- b – textura média;
- c – textura arenosa.

Assim, têm-se pares de classe-ordem no quadro 04.

PARES	CARACTERÍSTICAS
1.1-a	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas de declividade baixa, com textura argilosa. Suscetibilidade muito fraca à erosão.
1.2-a	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas de declividade média, com textura argilosa. Suscetibilidade fraca à erosão. Gravidade predomina
1.3-a	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas de declividade alta, com textura argilosa. Suscetibilidade fraca à erosão. Gravidade predomina.
2.1-a	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade baixa com textura argilosa. Suscetibilidade fraca à erosão. Predomina saturação do material.
2.2-a	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade média, com textura argilosa. Suscetibilidade média à erosão. Saturação do material predomina.
2.3-a	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade alta, com textura argilosa. Suscetibilidade alta à erosão. Atuam a gravidade e a saturação, predominando a gravidade.
3.1-a	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de baixa declividade, com textura argilosa. Suscetibilidade fraca à erosão. Predomina saturação.
3.2-a	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de declividade média, com textura argilosa. Suscetibilidade fraca à erosão. Predomina a saturação.
3.3-a	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de alta declividade, com textura argilosa. Suscetibilidade média à erosão. Predominam saturação e gravidade.
1.1-b	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas de declividade baixa, com textura média. Suscetibilidade fraca à erosão.
1.2-b	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas de declividade média, com textura média. Suscetibilidade média à erosão. Gravidade predomina
1.3-b	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas de declividade alta, com textura média. Suscetibilidade alta à erosão. Gravidade predomina.
2.1-b	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade baixa com textura média. Suscetibilidade média à erosão. Predomina saturação do material.
2.2-b	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade média, com textura média. Suscetibilidade média à erosão. Saturação do material predomina.
2.3-b	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade alta, com textura média. Suscetibilidade alta à erosão. Atuam a gravidade e a saturação.
3.1-b	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de baixa declividade, com textura média. Suscetibilidade média à erosão. Predomina saturação.

3.2-b	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de declividade média, com textura média. Suscetibilidade forte à erosão. Predomina a gravidade.
3.3-b	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de alta declividade, com textura média. Suscetibilidade forte à erosão. Predominam saturação e gravidade.
1.1-c	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas de declividade baixa, com textura arenosa. Suscetibilidade baixa à erosão. Predomina saturação.
1.2-c	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas com declividade média, com textura arenosa. Suscetibilidade forte à erosão. Saturação e gravidade atuam.
1.3-c	Materiais pouco plásticos, localizados em áreas com declividade alta, com textura arenosa. Suscetibilidade alta à erosão. Predomina a gravidade.
2.1-c	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade baixa, com textura arenosa. Suscetibilidade fraca à erosão. Predomina saturação do material.
2.2-c	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade média, com textura arenosa. Suscetibilidade forte à erosão. Saturação do material e gravidade atuam.
2.3-c	Materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade alta, com textura arenosa. Suscetibilidade forte à erosão. Atuam a gravidade e a saturação, predominando a gravidade.
3.1-c	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de baixa declividade, com textura arenosa. Suscetibilidade forte à erosão. Predominam saturação.
3.2-c	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de declividade média, com textura arenosa. Suscetibilidade muito forte à erosão. Atuam saturação e gravidade.
3.3-c	Materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de alta declividade, com textura arenosa. Suscetibilidade extrema à erosão. Predominam saturação e gravidade.

Quadro 04: Pares ordenados de classe-ordem para determinação do potencial erosivo dos materiais superficiais

3. RELEVO E DINÂMICA EROSIVA

Admite-se que a relação entre o meio físico e a sociedade não se tornou inadequada com o desenvolvimento tecnológico, e sim que se tornou mais complexa. Também se acrescenta que processos erosivos operam em diferentes níveis e dimensões. Esses processos são gerados por diferentes fatores, dentre estes a pluviosidade e as pressões da ocupação urbana, mas que atuam sobre a esculturação das formas de relevo.

Erosão pode ser entendida como a remoção do material superficial do relevo, sendo um aspecto normal do desenvolvimento da paisagem, mas somente em algumas partes do mundo é dominante em relação a outros processos de denudação. Os outros processos importantes de remoção de sedimentos são os movimentos de massa e a solução de sedimentos, sendo cada um dominante de acordo com o ambiente adequado a eles (KIRKBY, 1980).

Silva *et al.* (2004 *apud* ACIESP, 1997) afirmam que a erosão natural ou geológica é o desgaste da superfície da terra por água, gelo ou outro

s agentes naturais, sob condições de meio ambiente natural em termos de clima e vegetação, sem perturbações provocadas pelo Homem, sendo possível estabelecer o ciclo dessa forma de erosão. Verifica-se uma sequência de fases evolutivas das formas de relevo a partir da dissecação e aplainamento vertical da paisagem.

Morgan (1995, *apud* MIRANDA 2005) define que a erosão do solo é um processo bifásico de destacamento de partículas individuais do solo e seu transporte pela água e o vento. A deposição ocorre quando a energia é insuficiente para transportar as partículas. Considera ainda dois tipos de agentes erosivos:

- os que atuam removendo uma espessura relativamente uniforme do solo. O destacamento pelas gotas de chuva e o escoamento superficial como fluxos rasos de largura infinita incluem-se neste caso;
- e aqueles que concentram sua ação em canais, como os fluxos de água em pequenos sulcos, os quais podem ser obliterados por intemperismo, ou tornarem-se feições permanentes e de maiores dimensões como ravinas.

3.1. Relevo na paisagem

A paisagem, em suas diversas definições, é vista como algo onde operam diferentes componentes interligados. Delpoux (1972), quando reflete sobre a paisagem, define-a como uma entidade espacial correspondente à soma de um tipo geomorfológico e de uma cobertura. Não se vê, aí, um componente isolado e pleno, e sim um conjunto que é formado por outros elementos que são somados, ou seja, que se interagem.

A “ecologia da paisagem” surge com Neef (1967) na Sociedade Geográfica da República Democrática Alemã, dando ênfase aos estudos biogeográficos. O estudo prossegue segundo uma pesquisa de caráter ecológico, que é ao mesmo tempo um estudo de dinâmica das paisagens, no sentido em que visa determinar o funcionamento do ecossistema, como fazem tradicionalmente os ecologistas, mas localizando cuidadosamente sobre o transeto, portanto sobre o espaço, todos os fluxos encontrados e a localização dos estoques de elementos estudados. Neef (1972), já numa abordagem mais geográfica dos componentes da paisagem natural, procura desenvolver uma postura voltada aos interesses da sociedade. "As conclusões que Neef alcança são fundamentais, deixando cristalino que se a geografia quiser atingir uma posição de mérito na resolução dos problemas mundiais, ela deverá aprofundar-se em uma concepção que a transforme em uma ciência ambiental” (Abreu, 1982).

Nessa linhagem, destaca-se o trabalho de G. Bertrand (1975), apoiado na teoria biorresistásica de H. Erhart (1956). Bertrand (1968) entende que “o conceito de ‘paisagem' ficou quase estranho à geografia física moderna e não tem suscitado nenhum estudo adequado”. Alia-se às relações entre o potencial ecológico, exploração biológica e a ação humana na caracterização da paisagem global. Como referenciais básicos destacam-se os trabalhos de Erhart (1956), representados pela teoria biorresistásica e suas derivações, a exemplo do balanço denudacional de Jahn (1954), ampliado por Tricart (1957), incorporando o conceito de “balanço morfogenético” que culmina no estabelecimento dos diferentes “meios”, considerando a dinâmica da paisagem, como sistema de classificação (Tricart, 1977).

Kügler (1976), ao desenvolver pesquisa e mapeamento geomorfológico na Alemanha Oriental, conceitua, de forma integrada, o relevo e o território. Essa conceituação consiste em uma interface extremamente dinâmica, produzindo uma paisagem fortemente marcada pela sociedade e por sua estrutura econômica. Apoia-se, indiscutivelmente, na clássica visão alemã das diferentes esferas que se interseccionam e definem uma epiderme de pouca espessura, consubstanciando-se, formalmente, através da paisagem (Abreu, 1982), de onde emerge o conceito de *Landschaftschülle*.

O conceito de georrelevo concebido por Kügler corresponde a uma superfície limite produzida pela dinâmica dos integrantes sistêmicos, resgatando o conceito tradicional da geomorfologia alemã. A dinâmica e as propriedades adquiridas são fundamentais para se compreender a forma com que se dá a evolução das propriedades geoecológicas do georrelevo em propriedades sócio-reprodutoras. O uso das propriedades geoecológicas, como suporte ou recurso, reflete a intensidade e modos de uso face aos custos sociais de reprodução. Kügler

(1976) utiliza-se dos eixos tradicionais de evolução da geomorfologia alemã, apoiado em Passarge (1912) e Penck (1924). Ao emergir de um contexto geográfico, a geomorfologia supera a perspectiva dicotômica interna (como a estrutural e climática, lembradas por Abreu, 1982), culminando com a concepção de georrelevo, numa perspectiva paisagística.

Acrescenta-se o fato de que Ab'Sáber (1969) sistematiza os níveis de abordagem metodológica em geomorfologia, oferecendo um quadro de referência que valoriza a perspectiva geográfica ao retomar o conceito de "fisiologia da paisagem" usado por Siegfried Passarge (1912). Na visão de Abreu (1982), Ab'Sáber (1969) assume uma postura naturalista dos estudos de geografia física global.

Sotchava (1977) trabalha o conceito de geossistema. Entende-se por geossistemas os sistemas territoriais naturais, que se distinguem no envoltório geográfico, em diversas ordens dimensionais, generalizadamente nas dimensões regional e topológica. São constituídos de componentes naturais intercondicionados e inter-relacionados em sua distribuição e se desenvolvem no tempo, como parte do todo. Sotchava (op. cit.) esclarece, nesse sentido, que, embora os geossistemas sejam fenômenos naturais, todos os fatores econômicos e sociais que influenciam sua estrutura são levados em consideração durante o estudo e a análise (no caso da escola russa são feitas descrições verbais ou mensurações e cálculos matemáticos). Em sua caracterização e no processo de desenvolvimento natural, há a convergência de dois princípios: homogeneidade e diferenciação (SOTCHAVA, 1978). Isso quer dizer que o geossistema define-se, primeiro, pela presença de características homogêneas e repetidas; segundo, por ele se destacar pela presença de subsistemas diferentes, que o fazem específico.

O relevo também é entendido como um sistema. Essa concepção foi introduzida na Geomorfologia por Chorley (1962), caracterizando o relevo como um sistema constituído por um conjunto estruturado por objetos e/ou atributos (CHORLEY, 1971), sendo unitário, completo, uma entidade discreta e isolada em relação aos outros níveis de sistemas que compõem o universo (CHORLEY e HAGGET, 1975).

O relevo é proposto, então, como um sistema aberto, podendo atingir um estado de estabilidade que se caracteriza pelo equacionamento da importação e da exportação de energia e de matéria por meio de um ajustamento das formas ou da geometria do sistema. Kennedy e Chorley (1971) definem os conjuntos de sistemas em sistemas morfológicos, sistemas em sequência ou encadentes, sistemas processos-resposta e sistemas controlados. Neles, ocorrem alterações na magnitude dos eventos que dependem da magnitude e da frequência dos *inputs* e dos *outputs* das mudanças internas dos sistemas, que ocorrem por causa de sua autorregulação, ou *feedback* negativo, com o intuito de criar um estado de equilíbrio entre os

vários componentes desses sistemas, especialmente, nos de processo-resposta. A busca pelo entendimento desse equilíbrio fez com que este fosse classificado (KENNEDY e CHORLEY, op. cit.) em:

- Equilíbrio estático (quando não há mudanças no tempo);
- Estado constante de equilíbrio (variação sobre uma condição média de constância);
- Equilíbrio dinâmico (variação sobre condições médias de mudança);
- Equilíbrio de mudança (equilíbrio estático separado por episódios de mudanças).

3.2. Processos erosivos: discussões e relações

Autores como Baccaro e Guerra (1999), em "Erosão e Conservação dos Solos", retratam bem as fases de um processo erosivo e também indicam quais são os fatores que proporcionam o surgimento deste tipo de processo, e quais fatores podem ocasionar a aceleração de uma erosão. Para elucidar a importância de conhecer todas as fases de um processo erosivo na tentativa de mitigar este problema, Guerra (1999) afirma que:

> **O início do processo erosivo se reveste de grande importância, porque para evitar a erosão é preciso que se conheça a dinâmica erosiva, desde os seus primórdios, ou seja, a partir do momento em que as gotas de chuva começam a bater nos solos.**

Para entender a erosão, é importante delinear o que vem a ser erodibilidade e erosividade:

- **Erodibilidade: s**egundo Owoputi & Stole (2001), existem vários fatores que podem reduzir a erodibilidade dos solos como: compactação do solo pelo impacto das gotas da chuva, maior profundidade do fluxo e uma menor declividade na zona erodida. A erodibilidade dos materiais inconsolidados está relacionada a dois fatores principais, que são a destacabilidade e a transportabilidade das partículas. Para solos finos a destacabilidade das partículas é mais difícil, devido às forças de atração entre elas, mas uma vez destacadas, mantêm - se em suspensão e são transportadas com facilidade. No caso dos solos grossos, normalmente não existem forças de coesão, assim as partículas destacam-se mais facilmente, mas à medida que a granulometria aumenta, diminui a sua transportabilidade (PEJON, 1992). A erodibilidade pode ser conceituada como o índice relativo às propriedades inerentes ao solo, e que reflete a sua suscetibilidade à erosão (STEIN *et al.*, 1987).

- **Erosividade:** o conceito de erosividade corresponde às perdas por erosão devido às chuvas, em um solo perfeitamente uniforme, com comprimento de rampa e declividade padronizado, totalmente homogêneo, com cobertura vegetal também padronizada. Desta forma, poderíamos conceituar a erosividade das chuvas como a influência do fator chuva sobre as perdas de solo, desde que todas as outras variáveis permanecessem idealmente constantes, ou seja, a erosividade é a capacidade potencial da chuva em causar erosão do solo. Segundo Morgan (1996), a erosividade da chuva é um índice baseado na energia cinética da chuva. Assim, a erosividade de uma chuva é uma função da sua intensidade e duração, e da massa, diâmetro e velocidade da chuva.

3.2.1. Fatores envolvidos em processos erosivos

Silva (2004) retrata a importância dos fatores atuantes no processo erosivo. Para ele, estes processos podem ser influenciados pelos diferentes tipos de solos, pela natureza geológica da rocha, pelo clima, pelo relevo e, também, pela cobertura do solo.

Aqui, serão tratados fatores com características que influenciam na deflagração e na mitigação de processos erosivos. Para tanto, serão discutidas as influências dos fatores hidrológicos, tanto a partir da dinâmica fluvial como a partir do clima; os fatores pedológicos, ressaltando a diferença existente entre o solo e as formações superficiais, com enfoque no primeiro; a cobertura vegetal; o relevo, especialmente, o que concerne à forma das encostas e à declividade destas; e a ocupação antrópica, retomando pontuações acerca do impacto das atividades humanas sobre os sistemas naturais e suas consequências. Mesmo que se tenha discriminado esses fatores, é fato que eles não atuam isoladamente - as intensidades de cada um aparecem conforme a influência maior ou menor de um ou outro fator.

Adianta-se, resumidamente, que os processos erosivos são decorrentes dos seguintes fatores: declividade (relevo), pluviosidade (clima e sistema hidrológico), comprimento da encosta (relevo), capacidade de absorção da água pelo solo (propriedades pedológicas), resistência do solo à erosão (propriedades pedológicas) e densidade da cobertura vegetal, sendo a água o mais importante agente erosivo, até porque o escoamento concentrado ocasiona entalhes profundos, bem como o movimento de grandes massas de solo (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1999).

3.2.1.1. Fatores hidrológicos

O ciclo hidrológico envolve a movimentação da água no meio físico. Segundo Secretaria Estadual de Meio Ambiente de São Paulo (2006), afirma-se que:

> **...dentro do ciclo hidrológico a água pode estar no estado gasoso, liquido ou sólido, distribuindo-se tanto na subsuperfície e superfície da Terra como na atmosfera. A água encontra-se em constante circulação, passando de um meio a outro ou de um estado físico a outro...**

Há uma série de processos que permitem a circulação da água na terra, que são a evaporação, transpiração, precipitação (chuva, neve ou granizo), escoamento superficial, infiltração e escoamento subterrâneo. Alguns meios de circulação da água, especialmente, a precipitação, a infiltração e uma junção entre o escoamento superficial e o subterrâneo estão relacionados diretamente ao processo de produção e transporte de sedimentos nos processos erosivos. Sendo assim, as dinâmicas do ciclo hidrológico são de grande importância para a ocorrência dos processos erosivos, tendo em vista que essas dinâmicas favorecem ou desfavorecem determinadas condições, como o desenvolvimento ou não de vegetação, um fator que, estando presente, reduz as potencialidades erosivas do solo mediante chuvas, por exemplo. Se tais chuvas, em um período inicial, de baixa intensidade, não ocorrerem, a taxa de erosão *a posteriori* tende a ser maior, em decorrência da pouca cobertura vegetal do solo nesse momento (BACCARO, 1999).

O comportamento hidrológico depende basicamente de três fatores: precipitação, infiltração de água no solo e escoamento superficial, obviamente, considerando a cobertura vegetal e o uso da terra..

O clima exerce grande influência no processo erosivo. Os principais efeitos do clima na degradação estão aliados ao fenômeno da precipitação e a sua capacidade erosiva. A chuva é uma das manifestações climáticas de relevância na erosão dos solos, pois o volume e a velocidade da enxurrada (entendida como forma de escoamento superficial) dependem da intensidade, duração e frequência do evento chuvoso (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1985). Para Coelho Netto *et al.* (2002), “a pluviosidade é um fator preponderante na análise dos fatores que provocam o surgimento de processos erosivos e intensificam os já existentes”. Chuvas de mesma intensidade, porém com durações diferentes, terão ações erosivas diferenciadas, e tanto maiores quanto mais longa a precipitação. Após a saturação do terreno, toda a água passará a escoar pela encosta, denudando assim o terreno (RODRIGUES, 1982). O impacto das gotas de chuvas na superfície promove a desagregação e a liberação das partículas. Já o escoamento permite o transporte das partículas liberadas. As gotas de chuva,

ao atingirem os materiais superficiais, deslocam-nos de sua posição inicial, iniciando, assim, o processo de erosão.

Segundo Selby (1993), a erosão oriunda do impacto da gota de chuva é responsável por quatro processos: desagregação das partículas do solo; pequeno deslocamento lateral (rastejamento); saltação das partículas juntamente com as gotas d'água (splash); e distribuição das partículas. Paralelamente, Kinnel (2001) sugere quatro tipos de destacamento e de transporte de partículas na geração dos processos erosivos: destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por splash, destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por fluxo induzido por esta, destacamento pelo impacto da gota de chuva e transporte por fluxo natural, destacamento e transporte por fluxo natural de escoamento.

Conforme Guerra e Cunha (1995), a água da chuva, ao atingir a superfície da litosfera, e o solo também, pode ser armazenada em pequenas depressões ou se infiltrar, aumentando a umidade do solo ou, ainda, abastecendo o lençol freático. Quando o solo não consegue mais absorver água, o excesso começa a mover-se em superfície ou em subsuperfície, de tal forma que ocasiona erosão, pelo escoamento das águas.

O escoamento pode ser tanto aquele ocasionado pelo excedente hídrico das chuvas nas vertentes, como aquele dos canais fluviais, que pode ser alimentado pelas chuvas ou pelo escoamento subterrâneo (VILLELA E MATOS, 1977).

Já a infiltração de água é um dos processos que permite a circulação da água pela terra. Brandão *et al.* (2003), relata que "...a infiltração é o processo pelo qual a água atravessa a superfície do solo. O entendimento deste processo é muito importante, pois a taxa de infiltração de água no solo é um dos fatores que influencia mais o escoamento superficial, sendo responsável por processos indesejáveis, como a erosão...".

Morgan (1986) definiu a taxa de infiltração como sendo o índice que mede a velocidade com que a água se infiltra no solo e que exerce papel importante no escoamento superficial. A taxa de infiltração de água no solo tem relação direta com a formação e aceleração dos processos erosivos. A infiltração sofre influência de diversos fatores, como as características do solo, tipo de cobertura do solo, tipo de preparo e manejo do solo e o encrostamento superficial (BRANDÃO *et al*, 2003). Se a infiltração ocorrer mais rapidamente, haverá uma menor quantidade de água na superfície do solo para formar o escoamento superficial, diminuindo o número de eventos erosivos ocasionados por estes escoamentos.

O escoamento superficial é um dos meios que proporciona a circulação da água no ciclo hidrológico, podendo ocorrer pelo escoamento do excedente hídrico gerado durante as chuvas nas vertentes e pelo escoamento em canais. Para Villela e Matos (1977), "... o escoamento

superficial abrange desde o excesso de precipitação que ocorre logo após uma chuva intensa e se desloca livremente pela superfície do terreno, até o escoamento de um rio, que pode ser alimentado tanto pelo excesso de precipitação como pelas águas subterrâneas".

Christofoletti (1980), afirma que "o escoamento fluvial faz parte integrante do ciclo hidrológico e a sua alimentação se processa através das águas superficiais e das subterrâneas". Da mesma forma que ocorre com a infiltração, o escoamento superficial é influenciado por diferentes fatores também - clima, tipo de solo, rocha, relevo, cobertura vegetal e uso do solo. Uma região que apresente clima mais úmido com chuvas intensas, solos com predominância de partículas finas e estruturas horizontais, rocha matriz impermeável e/ou próximo à superfície, relevo dissecado que apresente altas declividades, deficiência na cobertura vegetal e uso do solo intensificado pelas ocupações urbanas e rurais, terá a formação de um escoamento superficial de forma mais ligeira e intensa durante uma chuva nas vertentes, se comparado com regiões que apresente características opostas àquelas citadas.

Villela e Matos (1977) tratam de questões referentes à variação da vazão de água em um canal. Segundo eles, as variações que ocorrem na vazão são influenciadas por fatores geológicos, pluviométricos, umidade do solo, temperatura, topografia, tipo de vegetação e forma da bacia. Sendo assim, um estudo físico geral da bacia hidrográfica estudada é essencial para entender a variação da vazão ao longo do tempo.

Sobre a influência das chuvas na vazão de um canal, Villela e Matos (1977), afirmam que, iniciada a precipitação, parte é interceptada pela vegetação e obstáculos e retida nas depressões até preenchê-las completamente, parte se infiltra no solo suprindo a sua deficiência de umidade. Uma vez excedida a capacidade de infiltração, inicia-se o escoamento superficial direto. A vazão então aumenta até atingir um máximo, quando toda a bacia estiver contribuindo. Terminada a precipitação, o escoamento superficial prossegue durante certo tempo e a curva de vazão vai diminuindo e retorna ao seu valor normal. A vazão é um tipo de grandeza que caracteriza o escoamento superficial, juntamente com o coeficiente de escoamento superficial, tempo de concentração, tempo de recorrência e o nível de água (VILLELA e MATOS, 1977).

A quantidade da vazão de um canal d'água é um fator essencial para a determinação da dinâmica de sedimentos que ocorre no seu interior, o que torna estas considerações extremamente úteis para o entendimento do transporte de sedimentos. Christofoletti (1980) faz uma associação entre a vazão de um canal e sua capacidade de transporte de sedimentos, tratando inclusive do processo de migração de canais fluviais que ocorre principalmente devido à dinâmica de sedimentos no interior do canal. Ele afirma que

> **...a carga detrítica nos cursos de água é uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas... a sedimentação em fluxos de água inclui os processos de remoção, transporte e deposição das partículas do regolito, envolvendo toda dinâmica da bacia de drenagem... os canais fluviais possuem três tipos de cargas distintas, que são, a dissolvida, a dos sedimentos em suspensão e a do leito do canal.**

A carga do leito do canal é composta por partículas de granulometria maior, como areias, cascalhos e matacões, que são transportados pela saltação, deslizamento ou rolamento na superfície do leito. A velocidade desta carga é extremamente lenta devido ao volume e densidade dos detritos, o que ocorre devido ao fato de estas partículas poderem se deslocar de forma intermitente (CHRISTOFOLETTI, 1980). A quantidade e o tamanho do material transportado no fundo do canal dependem da sua capacidade e competência. Christofoletti (*op. cit.*) define capacidade de transporte como sendo "a maior quantidade de detritos de determinado tamanho que o fluxo do canal consegue transportar, enquanto que o maior diâmetro encontrado entre os detritos é referente à sua competência".

Já a carga em suspensão é representada por partículas de granulometria reduzida, como por exemplo, silte e argila, as quais são tão pequenas que se conservam em suspensão no fluxo de água, tendo uma velocidade superior a das partículas do material de leito (CHRISTOFOLETTI, op. cit.).

As partículas dissolvidas são os elementos ou compostos químicos que se encontram homogeneamente dissolvidos na água, como por exemplo, o cloro e o sódio.

Este tipo de sedimento possui velocidade ainda maior do que aquela apresentada pelos sedimentos suspensos.

Então, o transporte realizado pelos canais fluviais contribui para a formação de processos de assoreamentos, que ocorrem nas mais variadas escalas. Carvalho (2000) trabalhou com questões relativas ao assoreamento que ocorrem nos reservatórios de usinas hidroelétricas, chegando à conclusão de que os reservatórios brasileiros perdem em média 0,5% da sua capacidade de armazenamento de água por ano devido ao assoreamento. Ainda neste trabalho, ele faz a associação mostrando a importância que os processos erosivos têm no que diz respeito aos assoreamentos e, por fim, mostra diversas metodologias para coleta de sedimentos de leito e suspenso e também metodologias para a determinação da vazão de água de um canal fluvial.

3.2.1.2. Fatores pedológicos

É importante declarar que não serão tratadas aqui as generalizações com formações superficiais. O termo “formação superficial”, muitas vezes utilizado erroneamente como sinônimo de “estrutura superficial”, é conceituado por Dewolf (1965) como sendo ”formações continentais, friáveis ou secundariamente consolidadas, provenientes da desagregação mecânica e da alteração química das rochas, que tenham ou não sofrido remanejamento e transporte, qualquer que seja a sua gênese e sua evolução”. Para a autora, substrato é a rocha subjacente friável ou coerente, que suporta as formações superficiais, quer ela derive diretamente deste substrato ou resulte de remanejamento. Portanto, o conceito de formação superficial assume maior abrangência por incorporar materiais resultantes da alteração *in situ*, o que difere da perspectiva oferecida pela noção de estrutura superficial, que tem por princípio oferecer subsídios à reconstrução evolutiva do modelado. Outro aspecto digno de nota é que o estudo das formações superficiais tem sido tratado com objetivos distintos pelas diferentes especialidades (principalmente geologia, geomorfologia e pedologia), o que dificulta a adoção de um conceito comum.

O solo possui características diferentes que influenciam no processo de infiltração. Segundo Brandão *et al.* (2003), a textura e a estrutura influenciam diretamente na infiltração, porque determinam a forma, quantidade e continuidade dos poros do solo. Os solos que possuem predominantemente a areia grossa em sua formação, terão uma condutividade hidráulica e uma infiltração melhor do que aqueles que têm uma predominância de partículas finas como o silte e a argila. Aqueles solos que possuem estruturações verticais têm uma maior capacidade de infiltração, em comparação com aqueles que têm estruturas predominantemente horizontais. Em algumas situações, a estrutura do solo pode exercer mais influência do que a textura sobre a taxa de infiltração de água.

O solo é considerado um fator intrínseco, pois, além de comandar a erosão, também é afetado por ela. O tipo de solo é um fator que determina a suscetibilidade à erosão, a erodibilidade, ou seja, maior ou menor facilidade dos solos serem erodidos (FONTES, 1998).

Confirmando Brandão *et al.* (2003), Bitar (1995) afirma que as propriedades físicas do solo, principalmente, textura, estrutura, permeabilidade, e densidade, e as características químicas, biológicas e mineralógicas, exercem diferentes influências na erosão, ao conferir maior ou menor resistência a ação das águas.

Algumas características, como textura, estrutura, permeabilidade, densidade e a matéria orgânica interferem diretamente na apresentação do solo e como ele responde à erosão:

- Textura: o tamanho das partículas influi na capacidade de infiltração e de absorção de água de chuva, o que interfere no potencial de escoamento superficial e na quantidade de solo arrastado pela erosão, pois solos de textura arenosa são mais porosos, ou seja, a infiltração pode processar-se neles de forma mais rápida. Solos de texturas argilosas apresentam uma ligação entre as partículas maiores, o que incorre na maior facilidade para a remoção de partículas, tal qual se oberva em pequenas enxurradas.

- Estrutura: modo como se arranjam as partículas do solo, igualmente à textura, influi na capacidade absorção e de infiltração das águas das chuvas e na capacidade de arraste da partícula do solo, ou seja, a resistência à erosão.

- Permeabilidade: determina a maior ou a menor capacidade de infiltração das águas de chuva, estando diretamente relacionada à porosidade do solo.

- Densidade: relação entre a massa total do solo e de seu volume; é inversamente proporcional à porosidade e à permeabilidade. A compactação do solo favorece um aumento da densidade, com a diminuição dos macroporos, tornando os solos mais erodíveis.

- Matéria orgânica: a matéria orgânica incorporada ao solo permite maior agregação e coesão entre as partículas, tornando o solo mais estável em presença de água, mais poroso e com maior poder de retenção de água. A matéria orgânica aumenta a capacidade de infiltração do solo.

Outra característica importante do solo, com relação ao comportamento erosivo é a sua espessura. Solos rasos permitem rápida saturação dos horizontes superiores, favorecendo o desenvolvimento de enxurradas (SALOMÃO e IWASA 1995), e ainda, uma característica relevante no processo erosivo é:

> **A gradiência textural entre os horizontes superiores do solo é uma das características pedológicas mais importantes em relação ao seu comportamento erosivo. Trata-se da relação entre os teores de areia e argila observada nos horizontes superiores do solo. Solos com alta gradiência textural apresentam, portanto, horizonte A bem mais arenoso que o horizonte B, subjacente. Assim, por exemplo, solos do tipo podzólico, são em geral, mais suscetíveis à erosão que os do tipo latossólico, por apresentarem, logo abaixo do horizonte A (superior), um horizonte com maior concentração de argilas e com poucos macroporos que representa certa barreira à infiltração das águas. Como consequência, o fluxo de água logo abaixo da superfície, paralela a encosta, e a saturação do horizonte superior favorecem o desenvolvimento de enxurradas, tendendo a propiciar maior erosão nos podzólicos.**

Um aspecto a ser mencionado referente ao solo é a atividade biológica que se desenvolve no solo e os processos bioquímicos correspondentes, pois estes têm participação

ativa na agregação das partículas, e também na formação de canais proporcionando um aumento da permeabilidade.

Quanto à plasticidade, esta é definida como uma propriedade dos solos, que consiste em uma maior ou menor capacidade de serem moldados sob certas condições de umidade. Em Gidigaw (1976, *apud* MIRANDA, 2004) cita como influente na plasticidade dos solos, os seguintes fatores: a natureza dos minerais; a porcentagem de fração argila, a natureza dos Cátions Trocáveis e a quantidade de matéria orgânica. Bertoni e Lombardi Neto (1990, *apud* CASSETI, 2003) destacam, dentre as propriedades do solo que influenciam na erosão, aquelas que controlam a velocidade de infiltração da água, a permeabilidade e a capacidade de absorção, e aquelas ligadas à coesão, que resistem à dispersão, ao salpicamento, à abrasão e às forças de transporte da chuva e enxurrada.

3.2.1.3. Cobertura vegetal

A presença ou não de cobertura vegetal também influencia na ocorrência da infiltração, além de permitir formação de maior quantidade de macroporos no solo.

Para Rodrigues (1982), a remoção da cobertura vegetal provoca uma série de mudanças, tais como: interrupção brusca do efeito estabilizador das florestas, expondo o terreno a novas condições; interrupções de todas as funções exercidas pela cobertura vegetal, tais como interceptação, retenção, evapotranspiração etc.; desaparecimento do horizonte húmico, aumentando assim a infiltração; elevação do lençol freático e consequentemente aumento do grau de saturação do maciço; diminuição da resistência mecânica do solo pela deterioração radicular.

A densidade e o tipo de cobertura vegetal são importantes para minimizar a ação dos processos erosivos no solo. Dessa forma, a cobertura vegetal é uma defesa natural contra a erosão, pois atua como uma proteção direta contra o impacto das gotas de chuva. Além de contribuir para a dispersão da água, interceptando-a e evaporando-a antes que atinja o solo, a vegetação aumenta a infiltração da água; melhora estruturação do solo devido o acréscimo de matéria orgânica ao solo, aumentando a capacidade de retenção de água e a diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada pelo maior atrito na superfície.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), os principais efeitos da cobertura vegetal perante aos processos erosivos são:

- Proteção direta contra o splash;
- Dispersão e quebra da energia das águas da chuva;
- Possibilita o aumento da infiltração, devido ao trabalho das raízes;

Vale acrescentar ainda que a vegetação natural exerce uma melhor atuação em proteger dos solos frente à ação do efeito "splash" e contra a ação do escoamento concentrado, enquanto que na vegetação artificial há perdas bem maiores de solo. De acordo com Jorge e Uehara (1998):

> **A cobertura vegetal tanto pode ser natural como a vegetação da Serra do Mar, quanto artificial ou cultural como as plantações. Entretanto a vegetação natural pode ser primitiva, virgem quando não tocada pelo homem, ou secundaria, quando alterada pela ação antrópica. Em todos os casos o solo dispõe de uma certa cobertura que exerce uma ação maior ou menor de proteção contra as intempéries. Entretanto, pode se considerar que a relação de equilíbrio existente entre a vegetação primitiva e o solo, adquiridas ao longo anos, apontam para este tipo de cobertura vegetal como a de maior ação de proteção. A cobertura vegetal apresenta influência na distribuição da água pela interceptação, escoamento pelos troncos e concentração na serrapilheira.**

3.2.1.4. Predisposição do relevo à erosão e feições erosivas

O relevo é um fator natural que determina a velocidade dos processos erosivos. Maiores velocidades de erosão podem ser esperadas em terrenos com maior declividade, como morros, do que em relevos suaves, como colinas amplas, pois declividades mais acentuadas favorecem a concentração e maiores velocidades de escoamento das águas, aumentando a capacidade erosiva destas.

A declividade tem tão maior importância quanto maior for o trecho percorrido pela água que escoa, ou seja, quanto maior for o comprimento da encosta ou vertente. Por isso, a influência do relevo na erosão é analisada pela ponderação de dois fatores: declividade e comprimento da encosta (DAEE, 1990).

A importância das características das vertentes para a compreensão de sistemas de erosão aparece em Casseti (2004):

> **A vertente se caracteriza como a mais básica de todas as formas de relevo, razão pela qual assume importância fundamental para os geógrafos físicos. Essa importância pode ser justificada sob dois ângulos de abordagem: um, por permitir o entendimento do processo evolutivo do relevo em diferentes circunstâncias, o que leva à possibilidade de reconstituição do modelado como um todo (conceito de geomorfologia "integral" de Hamelim, 1964), e outro por sintetizar as diferentes formas do relevo tratadas pela geomorfologia, encontrando-se diretamente alterada pelo homem e suas atividades (conceito de geomorfologia "funcional" do referido autor).**

Vertentes são planos de declive variados que divergem dos interflúvios, enquadrando o vale. Ainda de acordo com Casseti (*op. cit.*), uma vertente contém informações importantes para a compreensão dos mecanismos morfogenéticos que são responsáveis pela elaboração do

relevo na escala de tempo geológico (propriedades geoecológicas), possibilitando também a compreensão das mudanças processuais recentes (processos morfodinâmicos), na escala de tempo histórico, individualizando-se como palco de transformações sócio reprodutoras. Além disso, podem-se descrever diferentes tipos de vertentes, conforme aparecem diferentes rupturas de declive, o que influenciará na determinação de processos erosivos. Sendo assim: nas zonas de planície, muitas vezes as vertentes são mal esboçadas, e o rio divaga amplamente; Nas zonas montanhosas, as vertentes podem ser abruptas e podem formar gargantas. Aí as vertentes estão mais próximas do leito do rio, enquanto nas planícies estão mais afastadas.

As vertentes apresentam formas muito variadas, porém, para efeito didático, podem-se agrupá-las em três tipos: côncava, convexa e retilínea (Figura 05 e Figura 06). Essas formas são associadas, também, à declividade, que é considerada principal fator de influência na deflagração da dinâmica erosiva, pois esta possui magnitudes que variam pela maior ou menor declividade. Os tipos de vertentes estão em função principalmente do clima da região, da natureza, da estrutura e do volume do terreno. Tanto é que, em casos de escoamento superficial, o tamanho e a quantidade do material em suspensão arrastado pela água dependem da velocidade com que ela escorre, e essa velocidade é função do comprimento do declive e da inclinação do terreno (GUERRA e GUERRA, 2006). Rodrigues (1982) completa citando que as encostas convexas coletoras, e secundariamente em encostas convexas dispersoras desenvolvem-se voçorocas. A encosta côncava (dispersora ou coletora) é a menos propensa a erosão devido a essa feição, conforme se pode observar na figura 05.

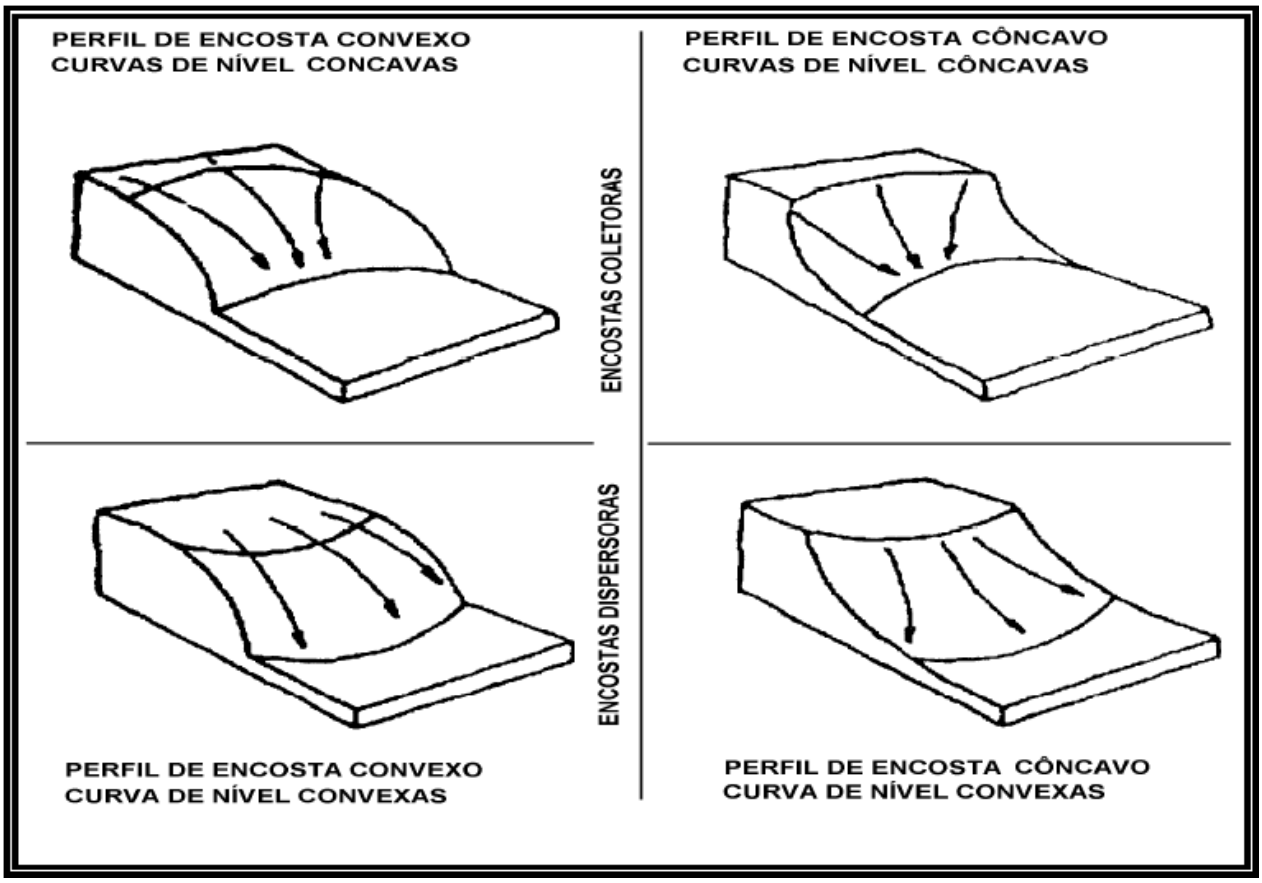


Figura 05: Tipos de encostas, segundo Troeh (1965), citado por Rodrigues (1982)

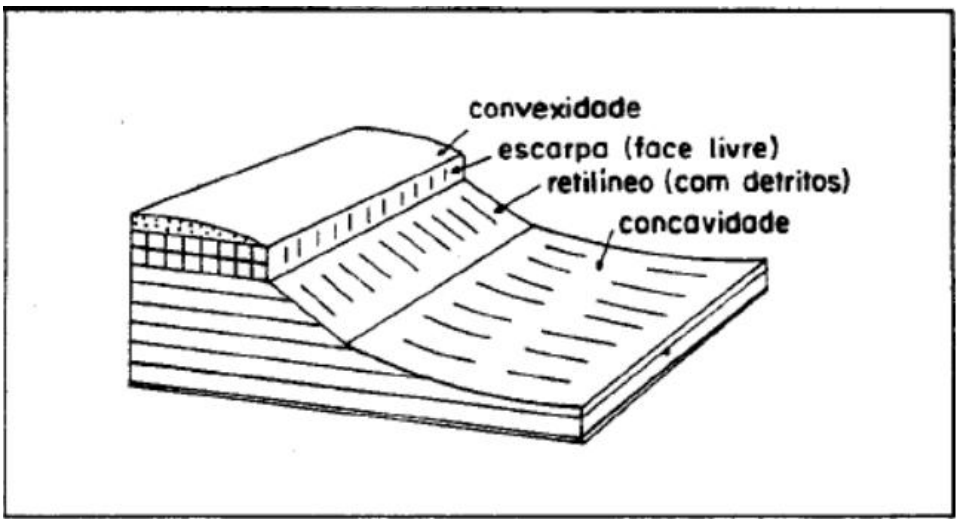


Figura 06: Componentes da vertente (CHRISTOFOLETTI, 1980, *apud* KING, 1953)

O conceito de vertente ou encosta, segundo Dylik (1968), corresponde a uma forma tridimensional que foi modelada pelos processos de denudação, atuantes no presente ou no passado, representando a conexão entre o interflúvio e o fundo do vale. Apresentam três dimensões: limite superior - corresponde ao setor onde provém um transporte contínuo de materiais para a base da encosta; limite inferior - corresponde ao setor onde os processos

deixam de atuar e limite interno - constituído pelo substrato rochoso ou pela superfície de ataque do intemperismo.

Para Bertoni & Lombardi Neto (1999) o comprimento da rampa é um dos mais importantes fatores na erosão do solo, pois com o aumento do comprimento da rampa, ocorre um aumento no volume de escoamento superficial, produzindo um aumento na intensidade de erosão, principalmente sobre a forma de sulcos. O comprimento da encosta é um fator muito importante, pois, à medida que o caminho percorrido vai aumentando, não somente a água vai-se avolumando proporcionalmente, mas também a velocidade de escoamento aumenta progressivamente (GABRIELS, 1999).

Também, o relevo apresenta a atividade erosiva representada e constatada em diferentes feições. Exemplo disso são anfiteatros de erosão, as várzeas, terraços fluviais e depósitos coluvionares.

Anfiteatros de erosão são reentrâncias originadas por importantes e profundos movimentos de massa que dissecam de alto a baixo as vertentes convexas; não se restringem apenas às cabeceiras de drenagem, mas ocorrem lateralmente ao longo dos vales. Nos anfiteatros de erosão, morfometria e forma favorecem a concentração do escoamento superficial e subsuperficial, caracterizando-os como ambientes úmidos, com intemperismo e solos relativamente mais profundos. São áreas essencialmente dinâmicas da paisagem, onde ocorre atividade morfogenética nas encostas. Formas e depósitos evidenciam recorrência de movimentos de massa, escorregamentos e corridas de lama; rocha sã ou pouco alterada podem aflorar nas suas bordas. Por isso, a superposição de colúvios com horizontes humíferos é comum nas vertentes dos anfiteatros (MODENESI, 1988).

Várzeas são terrenos baixos e mais ou menos planos que se encontram junto às margens dos rios. Constituem, a rigor, na linguagem geomorfológica, o leito maior dos rios. Em certas regiões, as várzeas são aproveitadas para a agricultura. São consideradas áreas frágeis do ponto de vista de sua ocupação, pois são constituídas por materiais inconsolidados e heterogêneos, provindos das vertentes laterais, muitas vezes relacionadas a depósitos coluvionares e materiais aluvionares. Comumente, os materiais que compõem as planícies possuem drenabilidade deficiente e características hidráulicas contrastantes, ou seja, mudança brusca de textura entre uma camada e outra, que, quando submetidos a cargas elevadas, compactam e se deformam (MODENESI, *op. cit.*).

Os terraços fluviais representam antigas planícies de inundação que foram abandonadas. Surgem como patamares aplainados, de largura variada, limitados por uma escarpa em

direção ao curso de água. Várias hipóteses foram propostas para explicar a formação de terraços. Citam-se aqui:

- Davis (1902, apud CHRISTOFOLETTI, op. cit.) descreve que a formação de terraços relaciona-se à tendência contínua do entalhamento fluvial até atingir o perfil de equilíbrio;
- Bauling (1935, apud CHRISTOFOLETTI, op. cit.) aponta a formação de terraços devido às oscilações do nível do mar, ocasionada pelas glaciações, o que promove modificações na posição do nível de base dos rios, favorecendo processos erosivos e deposicionais;
- Bigarella (1965, apud CHRISTOFOLETTI, op. cit.) relaciona a formação dos terraços às oscilações climáticas. Na faixa intertropical, as fases de clima úmido contribuiriam para o entalhamento fluvial, enquanto que as fases secas promoveriam aplainamento lateral, em decorrência da quantidade de detritos oriundos das vertentes.

Quando os terraços são compostos por materiais relacionados à antiga planície de inundação, podem ser designados de terraços fluviais. Estes se situam a determinada altura acima do curso de água atual, que não consegue recobri-los, nem mesmo em época das cheias (CHRISTOFOLETTI, op. cit.). Santos (2008), ao citar Suguio e Bigarella (1980), destaca dois modelos de terraços: no primeiro, chamado de terraço embutido, não ocorre entalhamento no embasamento rochoso do fundo do vale e, tanto a planície de inundação, quanto o terraço, localizam-se sobre a mesma calha rochosa. No outro tipo de terraço, denominado terraço encaixado, a planície de inundação e os diferentes níveis do terraço encontram-se sobre o embasamento rochoso. Essas especificações são tratadas por Christofoletti (1974), podendo ser vistas na figura 07.

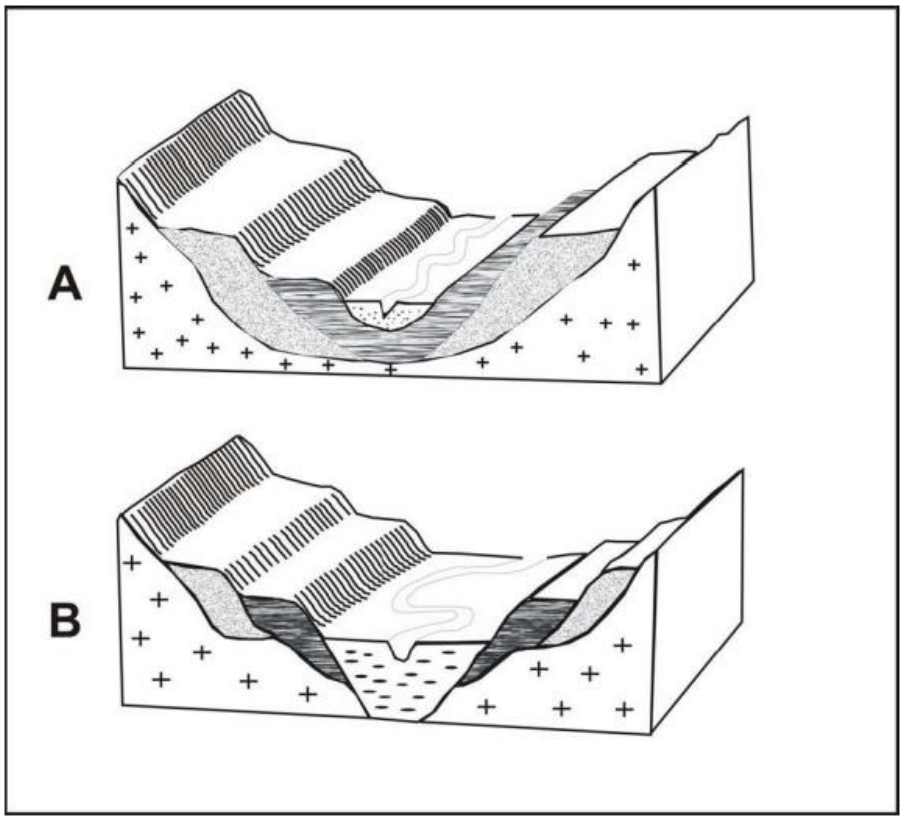


Figura 07: Terraços fluviais. Em A: terraço embutido; em B: terraço encaixado (CHRISTOFOLETTI, 1974)

O abandono da planície de inundação pode ser considerado o preenchimento deposicional em um vale em momentos anteriores (CHRISTOFOLETTI, 1980). Se uma oscilação climática provoca diminuição no curso de água, provavelmente, verifica-se a formação de uma nova planície de inundação, em nível mais baixo, embutida na anterior; mas caso a oscilação climática resulte em níveis mais altos de cheias, deflagra-se a agradação no assoalho do canal – então, a planície de inundação primitiva pode ficar recoberta por novo recobrimento aluvial (CHRISTOFOLETTI, op. cit.).

Depósitos coluvionares podem ser conceituados como o acúmulo de material localizado frequentemente no sopé de uma encosta e transportado por efeito da gravidade (GUERRA e GUERRA, 2006). Os depósitos coluvionares ocorrem geralmente em fundos de vales e sopés de vertentes e taludes. Muitas vezes são alterados para abertura de vias de transporte, promovendo a sua instabilidade. Nos trópicos, instabilidades envolvendo colúvios são comuns. Isso se explica devido ao intemperismo favorecido pelo clima, que promove a geração de mantos de alteração residuais espessos. Conforme estes se movimentam, resultam em várias áreas com depósitos de colúvios. Estes são materiais transportados pela gravidade

até o sopé das formas – enquanto os alúvios correspondem a materiais transportados pela água (GUERRA e GUERRA, *op. cit.*).

3.2.1.5. Ocupação antrópica

O tipo de uso da terra também tem influência sobre a infiltração. Terras onde há criação de gado ou um intenso trabalho de máquinas agrícolas sofrem uma grande compactação, o que sela os poros do solo e diminui ou até mesmo impede a passagem da água. Quando o solo fica descoberto, o impacto direto das gotas da chuva proporciona a formação do efeito "splash" (erosão por salpicamento), que desagrega partículas do solo e também executa a sua selagem.

A ocupação promovida pelo homem está associada a diversos aspectos destrutivos (FONTES, 1998). Tais aspectos estão associados ao uso de máquinas impróprias e ao desconhecimento acerca de processos e de dinâmicas naturais, que são responsáveis pela existência equilibrada do meio físico.

A intervenção humana sobre os aspectos geomorfológicos causa a destruição da cobertura do solo e a subsequente denudação e erosão (NIR, 1983). A intensidade dessa destruição dependerá do tipo de sociedade, bem como se diferenciará de um período histórico para outro. As bases de Nir (*op. cit.*) são complementadas, no Brasil, por Rodrigues (1997 e 2005), que propõe um reforço da necessidade de superar as abordagens com ênfases nos elementos exclusivamente definidos pela natureza para apontar a importância de tratamento simultâneo e sistemático das interferências antrópicas. Essas interferências são avaliadas enquanto ações geomorfológicas, podendo ser estudadas como intervenções nas formas, materiais e processos.

A atuação do homem, então, com suas atividades de ocupação das terras faz com que este processo aumente sua intensidade tornando-se, assim, diversas vezes, destrutivo e, consequentemente, trazendo o empobrecimento das terras produtivas. A intervenção humana consiste em *inputs* no sistema que modificam a magnitude dos processos denudativos, modificando os estados de equilíbrio e permitindo afirmar que haveria, então, uma tendência ao equilíbrio de mudança de Kennedy e Chorley (1971).

As atividades antrópicas destacam-se como o fator central no desenvolvimento dos processos erosivos acelerados, iniciados a partir da retirada da cobertura vegetal provocando a ruptura do equilíbrio natural do meio físico, onde a velocidade do desgaste será maior que o processo de recuperação, dificultando uma situação de estabilidade.

Para Rodrigues (1982), a implantação de centros urbanos, preferencialmente, nos topos das colinas, altera completamente o meio físico, de forma que a pavimentação reduz a infiltração, levando ao aumento do escoamento superficial, inclusive, concentrando-o. Sendo assim, atribui-se a esses núcleos urbanos a responsabilidade por processos erosivos periurbanos.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1990) a remoção de camadas delgadas de solo sobre toda a área é uma forma de erosão menos notada e caracteriza um processo de erosão laminar e, por isso, a mais perigosa. Os solos tomam uma coloração diferente e tem diminuída a produtividade. A erosão laminar arrasta as partículas mais leves do solo, e considerando que a parte mais ativa do solo, de maior valor, é a integrada pelas menores partículas, podem-se julgar os seus efeitos sobre a fertilidade do solo. Caracterizada pela formação de canais, onde a remoção e o transporte das partículas de solo são feitos pelo escoamento concentrado e em velocidades maiores, porém condicionado às características do local, possui um poder erosivo maior formando feições lineares como, sulcos, ravinas ou voçorocas. Se se notarem pequenos canais resultantes da concentração de escoamentos superficiais concentrado, observam-se um processo conhecido por sulcos. Feições erosivas resultantes do aprofundamento dos sulcos oriundos da concentração do escoamento superficial são tidas por ravinas. Já as voçorocas constituem feições de erosão mais complexa e destrutiva no quadro evolutivo da erosão linear e são originadas por dois tipos de escoamento que podem atuar em conjunto ou separadamente: o superficial e o subsuperficial. São erosões de grande porte, com formas variadas e de difícil controle (BERTONI e LOMBARDI NETO, 1990).

Cerri *et al*. (1997, *apud* CRUZ, 2001), de acordo com revisão dos principais conceitos sobre os processos erosivos, ressaltam a grande variedade de termos relacionados à erosão dos solos e a necessidade de haver uma colocação clara dos conceitos adotados em estudo de erosão. Segundo os autores as voçorocas representam a forma de erosão mais complexa e mais destrutiva no quadro evolutivo da erosão linear. Correspondem ao produto da ação combinada das águas do escoamento superficial e subterrâneo, desenvolvendo diversos fenômenos como *piping* (erosão interna), liquefação de areias, escorregamentos, corridas de areia etc.. São erosões de grande porte, com formas variadas e de difícil controle.

Ainda de acordo com Cerri e*t al.* (*op. cit.*), as alterações no equilíbrio morfo-hidro-pedológico, em decorrência do inadequado uso e ocupação do solo, são consideradas como fatores principais o surgimento de voçorocas. Quando se instalam ao longo dos cursos d'água, principalmente em sua cabeceira, são denominadas de voçorocas de encosta. Em geral são

ramificadas, de grande profundidade, apresentando paredes irregulares e perfil transversal em "U".

3.2.1.6. Nível de base

Por fim, cabe mencionar como os processos erosivos estão vinculados ao nível de base. Nível de base ou nível de base de erosão é o nível mais baixo a que um grupo de agentes exodinâmicos, e mais raramente auxiliados por movimentos de origem endógena, pode reduzir determinada superfície. É, por conseguinte, o limite inferior, abaixo do qual não pode haver mais erosão, sendo comandado pelo nível do mar, o nível de base geral. Além do nível geral, existem os níveis locais, dos quais se formam, por exemplo, as planícies de montanha e as planícies locais (GUERRA e GUERRA, 2008).

Em relação a cursos fluviais, é importante falar do nível de base de um rio, que é o ponto-limite abaixo do qual a erosão das águas correntes não pode trabalhar, constituindo o ponto mais baixo a que um rio pode chegar, sem prejudicar o escoamento de suas águas. No perfil longitudinal de rios, é instável, mas é o mais estável em relação à fragilidade da instabilidade dos outros pontos, sendo também o nível do mar o mais baixo (GUERRA e GUERRA, op. cit.).

3.3. Abordagens do relevo

A compartimentação do relevo depende dos objetivos e do nível de abordagem proposto para o estudo. Abreu (1982) reporta-se a quatro obras julgadas fundamentais para a classificação dos fatos geomorfológicos: Birot (1955), Cailleux & Tricart (1956), Tricart (1965) e Ab´Sáber (1969). A proposição de Cailleux & Tricart (1956) foi retomada por Tricart (1965) com ampliação de sete para oito ordens de grandeza, sendo que a valorização excessiva da escala obscureceu algumas considerações sobre a essência do objeto da classificação. "Tricart (1965) acaba levando o leitor a julgar que a essência do objeto de estudo da disciplina se altera com a escala, daí ser necessário adaptar o método à escala de abordagem. Isto fica particularmente nítido quando ele trata do mapeamento geomorfológico, questão para a qual a classificação dos fatos é fundamental" (ABREU, 1982). A contribuição dada por Ab´Sáber (1969) foi a de proporcionar o ordenamento escalar dos fatos estudados em três níveis de abordagem, revelando uma flexibilidade que permite ajustamento mais satisfatório em relação à essência dos fatos, tanto do ponto de vista espacial quanto temporal.

Em Ab'Sáber (op. cit.), têm-se bases para elaborar instrumentos de investigação do relevo, com três níveis de análise. Os três níveis da investigação geomorfológica de Ab Saber

(op. cit.), são, primeiro, a **compartimentação topográfica**, segundo, o entendimento da **estrutura superficial** da paisagem e, terceiro, a **fisiologia da paisagem** (AB'SÁBER, 1969).

Nesta direção, o primeiro nível estabelece correspondência à individualização de um conjunto de formas com características semelhantes, o que leva a se admitir que tenham sido elaboradas em determinadas condições morfogenéticas ou morfoclimáticas que apresentem relações litoestratigráficas ou que tenham sido submetidas a eventos tectodinâmicos. A interpenetração das diferentes forças ao longo do tempo leva à caracterização das formas de relevo, da situação topográfica ou altimétrica e da existência de traços genéticos comuns como fatores de individualização do conjunto. Com a divisão do relevo em compartimentos, elabora-se o mais preciso possível a descrição das formas do relevo.

O segundo nível, referindo-se ao entendimento da estrutura superficial da paisagem, tem como preocupação descrever analiticamente e estabelecer correlações dos fatos observados em campo. São detritos superficiais ligados a determinadas formas de transportes, em condições morfogenéticas específicas. É também denominada de depósito de cobertura elaborado por agentes morfogenéticos sob uma determinada condição climática, presente nos diferentes compartimentos topográficos. O termo estrutura superficial refere-se à forma de jazimento dos depósitos correlativos em superfície, diferindo do conceito de estrutura geológica, cujos depósitos originários foram litificados ao longo do tempo, perturbados ou não por atividades tectônicas.

Para explicação do terceiro nível, onde se delineia a análise de processos morfodinâmicos pela *Fisiologia da Paisagem*, conceito trabalhado por Passarge (1972), além de sua utilidade em planejamentos, tem-se:

> ***Fisiologia da paisagem:*** **tem como princípio o entendimento dos processos morfodinâmicos atuais. A ação humana é responsável pela aceleração de processos morfogenéticos antigos e atuais (AB'SÁBER, 1969).**

Essa ideia contribui para a produção do estudo aqui proposto, pois os processos erosivos se comportam como agentes morfogenéticos, figurando como elementos da morfologia atual.

Corroborando a isso, Ross (1992) difunde uma divisão para análise do relevo a partir de seis táxons, que contempla a análise detalhada de processos erosivos em seus 5º e 6º táxons:

5º Táxon - corresponde aos setores ou elementos ou partes de cada uma das formas de relevo identificadas e individualizadas em cada um dos conjuntos de padrões de formas.

6º Táxon - relaciona-se com as formas menores, derivadas dos processos atuais (sulcos, ravinas, voçorocas, deslizamentos etc.) ou ainda formas originadas pela ação do homem (assoreamentos, cortes, aterros).

Assim, é possível perceber que, de fato, as escalas e as intensidades de presenças e processos geomorfológicos são condizentes às diferentes escalas em que se pode abordá-lo. Para tanto, identificar, delimitar, classificar e mapear unidades geomorfológicas, ou sistemas de relevo justapostos no espaço é um recurso técnico básico que os geomorfólogos dispõem para tentar explicar a gênese e a evolução das formas de relevo e também relacioná-las aos seus respectivos sistemas de erosão (COLÂNGELO, 2004).

3.4. Cartografia geomorfológica: instrumentação para a análise do papel do relevo

A medida e a visualização das unidades de relevo e da relação destas com os ambientes urbanos não fogem da necessidade de mapeamento. Isso é bem explicado pelo que se pode obter com um mapa geomorfológico, pois ele é uma ferramenta importante por permitir que se obtenham análises e informações sobre o relevo estudado, já que ele deve mostrar um inventário do relevo expondo áreas propícias ou não à ocupação humana por diferentes usos (DEMEK, 1967). Além disso, o desenvolvimento do mapeamento geomorfológico tem suas bases na necessidade de o homem conhecer o ambiente geográfico e seus elementos particulares a fim de usá-los com a razão, tanto que a elaboração desses mapas levou também aos estudos de morfografia, morfometria e, num momento posterior, da morfogênese (KLIMASZEWSKI, 1982 *apud* MARUJO, 1991). Dessa forma, pode-se afirmar que a execução de mapeamentos geomorfológicos geram recursos técnicos que se configuram como importantes ferramentas para a qualidade de estudo pretendida neste projeto. Portanto, a análise das dimensões e das relações dos processos geomorfológicos é bem visualizada em documentos cartográficos, de onde podem se derivar as possíveis caracterizações e conclusões.

Além de materiais cartográficos, os dados do relevo, as informações geológicas, os levantamentos de profundidades do mar ou de um rio, sem mencionar as informações meteorológicas e os dados geofísicos e geoquímicos, podem ser observadas e analisadas a partir de MNTs (FELGUEIRAS e CÂMARA, 2005). Um Modelo Numérico de Terreno (MNT) é uma representação matemática computacional da distribuição de um fenômeno espacial que ocorre dentro de uma região da superfície terrestre. Quanto à modelagem de terreno em geomorfologia, em nível de detalhe, pode-se citar O'Loughlin (1986) e Dietrich *et. al.* (1992) por ambos terem atingido objetivos na modelagem de bacias hidrográficas para descrever os atributos topográficos de declive de encostas e suas contribuições para a compreensão da dinâmica sobre esses atributos, seja de forma bidimensional ou tridimensional, primando por esta, mas de forma que os modelos não se limitem a representar

geometrias simples de representação. A obtenção desse arcabouço de materiais para análise, na atualidade, é proveniente de tecnologias computacionais. Assim, é viável dizer que a Geomorfologia atual tem se ajustado à evolução tecnológica (SOUZA, 2006). O desenvolvimento da informática vem viabilizando interfaces com o sensoriamento remoto em base orbital, com a Cartografia Digital e com a utilização de SIGs (Sistemas de Informações Geográficas), o que tem oferecido recursos indispensáveis para o sucesso de várias pesquisas geomorfológicas. Hoje, sem a utilização de SIGs, a elaboração de projetos ambientais seria inviabilizada pelo longo tempo em sua elaboração de forma analógica, pois as operações sobre planos de informações, representadas por mapeamentos geomorfológicos, agiliza esses processos e contribui para que dados mais precisos sejam analisados. A utilização desses mapas, como instrumentos de reflexão e de análise, contribuirá para a elucidação de problemas erosivos e deposicionais que, por ventura, venham a ocorrer (ARGENTO, 2007).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA: ALFENAS

4.1. Localização e dados gerais

A área estudada corresponde à área da sede do município de Alfenas, localizada entre as coordenadas de 21º15’ e 21º35’ de latitude S e 46º00’ e 46º50’ de longitude W, incluindo a carta topográfica de Alfenas, na escala 1:50.000 (Figura 08).

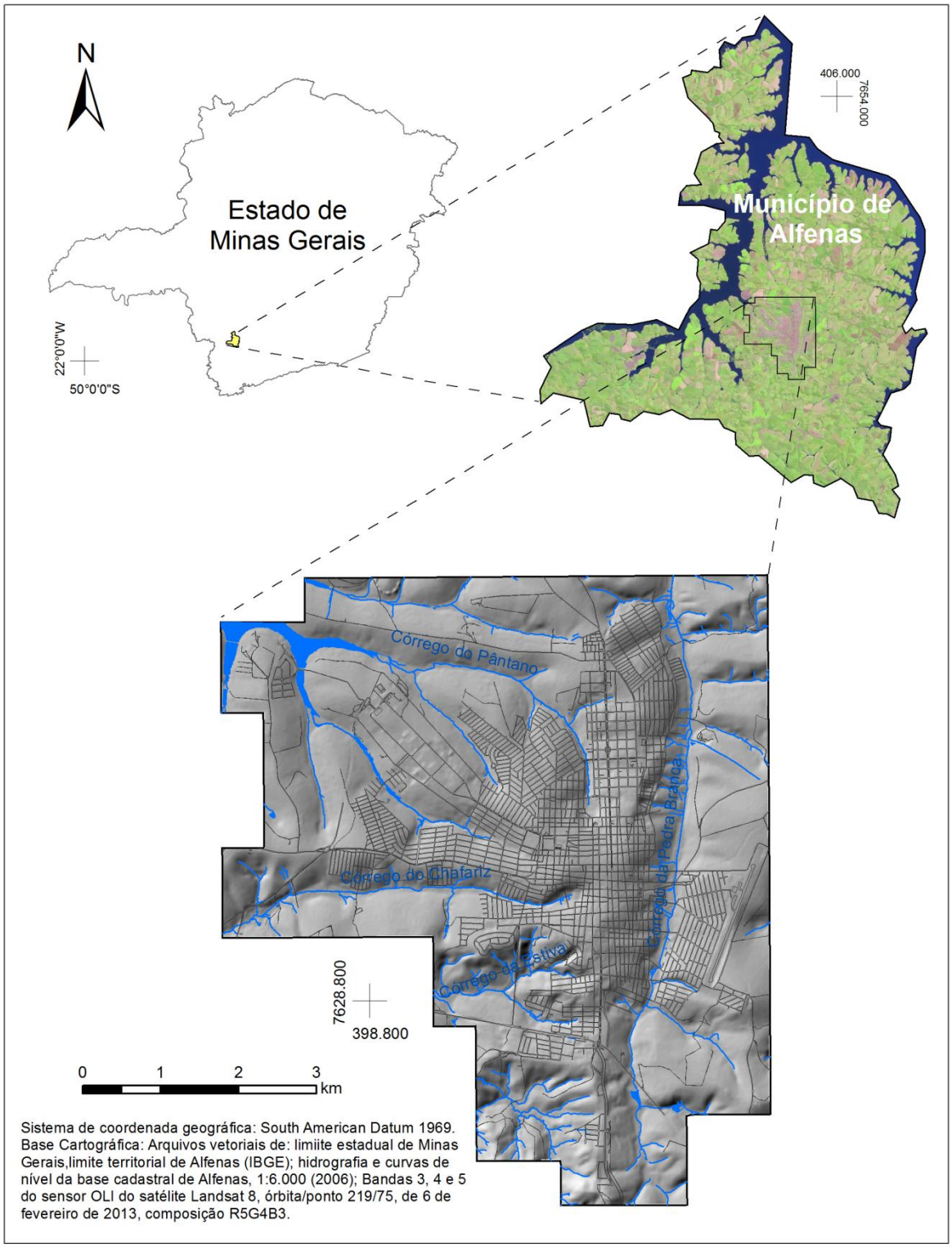


Figura 08: Localização da área da sede de Alfenas - MG

Alfenas localiza-se na porção sul-sudoeste de Minas Gerais, na mesorregião de planejamento do Sul de Minas. Seus limites são os municípios de Carmo do Rio Claro, de Campo do Meio, de Campos Gerais, de Fama, de Paraguaçu, de Machado, de Serrania, de Divisa Nova, de Areado e de Alterosa. As distâncias dos principais centros nacionais e regionais são, aproximadamente, 340km de Belo Horizonte, 306km de São Paulo, 255km de Campinas, 430km do Rio de Janeiro, 250km de Ribeirão Preto, 105km de Poços de Caldas, 100km de Pouso Alegre, 1133km de Brasília. As principais rodovias que dão acesso ao município são a BR-491, a BR-369, a MG-179, a MG-184 e a MG-453. Um importante fato sobre a localização de Alfenas é sua inserção na região do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas, instalada no baixo Rio Grande desde o final da década de 1950.

O município de Alfenas possui área de 847,87 km² onde está reunida uma população estimada, em 2013, de 77.618 habitantes, tendo apresentado 73.774 habitantes no censo de 2010 (IBGE, 2014). A área urbana ocupa cerca de 15 km² (CARDOSO, 2003).

4.2. Breve histórico do município de Alfenas - MG

Antes de 1737, o Rio Sapucaí já havia sido “descoberto” entre o que corresponde aos municípios de Carmo do Rio Claro e de Paraguaçu.

A ocupação da região por europeus e negros deu-se no final do século XVIII. Antes, era habitada pelos índios mandibóias (AYER, 1985), dos quais não restam muitos indícios, somente fragmentos de utensílios e peças de cerâmica por terem sido paulatinamente dizimados da paisagem da região. Há só em Alfenas, segundo a Prefeitura Municipal (2010), 15 sítios de interesse arqueológico demarcados no município, conforme registros realizados por pesquisadores do setor de arqueologia da MHNJB/UFMG e do IAB (Instituto de Arqueologia Brasileira).

A data de ocupação do município ainda é polêmica e alvo de especulações de famílias tradicionais da cidade. Como se pode ler no sítio da Prefeitura Municipal de Alfenas, alguns autores apontam os últimos anos do século XVIII e início do século XIX, com a construção de uma capela, como época da fundação da cidade, em 1799. Segundo Ayer (1991), o primeiro a tomar posse das terras que correspondem a Alfenas, teria sido o Alferes Domingos Vieira e Silva, que obteve a Carta de Sesmaria dessas terras por meio de um despacho do Visconde de Barbacena em 25 de setembro de 1793. Todavia, na região já havia outros proprietários de terras.

O fato é que, durante o século XIX, Alfenas experienciou condições de arraial, freguesia e vila, até tornar-se município em 15 de outubro de 1869, mas chamando-se Vila Formosa de

Alfenas. A substituição de Vila Formosa para apenas Alfenas deu-se em 1871, devido a confusões de correspondências com Vila Formosa, em Goiás.

O nome “Alfenas” foi oriundo da presença da família Martins Alfena, que conquistou status de influência na região da cidade. Todavia, é possível dizer que, por direito e tradição histórica, o nome da cidade deveria ter sido Pedra Branca, haja vista menções a esse nome desde a construção da primeira capela, consagrada a São José e Nossa Senhora das Dores, que rendeu ao lugarejo o nome de São José e Dores da Pedra Branca. Menção disso é a existência do Córrego da Pedra Branca (ou dos Aflitos) e a antiga Rua da Pedra Branca, atual Avenida São José.

A existência de uma vegetação densa na região, antes da ocupação dos pioneiros brancos, é evidente, uma vez que restaram fragmentos reliquiais. Domingos Vieira Silva empreendeu o desbravamento da região – Alfenas e municípios de seu entorno - dando início à construção de pontes, estradas e de um arraial a partir da madeira existente na região, conforme Ayer (op. cit.). Quanto à hidrografia original, antes da construção do Reservatório da UHE de Furnas, na década de 1960, sabe-se dos córregos e ribeirões próprios da região, como o Rio Verde, o Sapucaí, o Cabo Verde, o Muzambo, o Gambá, o Córrego das Pedras, o Ribeirão dos Caçús, além do Rio São Tomé.

Além das sedes rurais e de outras feitorias, a maior parte da mata original retirada deu lugar ao café, como em, praticamente, todo o Sul de Minas.

A ocupação da área urbana de Alfenas orientou-se de acordo com os córregos da cidade. Primeiramente, foram ocupados os interflúvios arredondados e, daí por diante, as áreas colinosas e de planície.

Mesmo o Brasil tendo experimentado uma aceleração de seu crescimento urbano a partir da década de 1950, o que, de fato, contribuiu para o crescimento urbano de Alfenas foi o empreendimento da barragem para o reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas – meados da década de 1950 e início da de 1960 – e a criação da FETA (Fundação de Ensino e Tecnologia de Alfenas, atual Universidade José do Rosário Velano – UNIFENAS) na década de 1970, reforçando a vocação educacional oriunda da EFOA (Escola de Farmácia e Odontologia de Alfenas, atual Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG). A população de Alfenas em 1980 era de cerca de 32 mil habitantes, tendo passado os 47 mil no final da referida década, chegado aos 52 mil em 1991 (IBGE, 1991). Atualmente, Alfenas conta com uma população que ultrapassa os 75 mil habitantes, segundo estimativa de 2013 (IBGE, 2014).

4.3. Clima

O clima é ameno, com média anual de 19,6°C, média máxima anual de 26,9°C e média mínima anual de 14,3°C, classificado como Tropical de Altitude (IBGE). Nos períodos mais quentes já foram registradas temperaturas de até 37°C e, no inverno, temperaturas abaixo de zero, que não ocorrem com frequência, apenas esporadicamente acontecem geadas devido a massas de ar de origem polar (ALAGO, 2006). São definidas duas estações, uma chuvosa, que ocorre no período de outubro a março, com índice pluviométrico anual em torno de 1500 mm, e outra mais seca, de abril a setembro (CARDOSO, 2006).

Uma caracterização completa do clima da localidade de Alfenas foi dificultada, devido à ausência de série histórica de dados térmicos e pluviómetricos das últimas décadas. A estação meteorológica, indicada pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia) mais próxima com dados mais completos é a do município de Machado. Esses dados são gerados e aproveitados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG), direcionados na Fazenda Experimental Machado (FEMA), além da disponibilização realizada pelo campus de Machado do IFSULDEMINAS (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais). Assim, recorreu-se aos dados meteorológicos da estação meteorológica da COOXUPÉ (Cooperativa Regional de Cafeicultores de Guaxupé LTDA.) em Alfenas. Essa cooperativa atua na região do Sul de Minas em relação à produção agrícola, especialmente, a cafeicultura. Os dados anuais completos disponíveis são do período de 2010 a 2013.

Em relação à pluviosidade e à temperatura, foram obtidos os dados expressos nos quadros 05, 06, 07 e 08, bem como nos climogramas (Figura 09, 10, 11 e 12).

- **2010**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitação(mm)	127,4	100,8	141,4	20	22,2	8,6	23,6	0	52,8	93	240,4	313
Temperatura (°C)	25	25	24	22	19,4	17,2	18,9	19,3	21,7	22,5	23,2	25,1

Quadro 05: Dados meteorológicos de Alfenas – MG mensais - ano de 2010

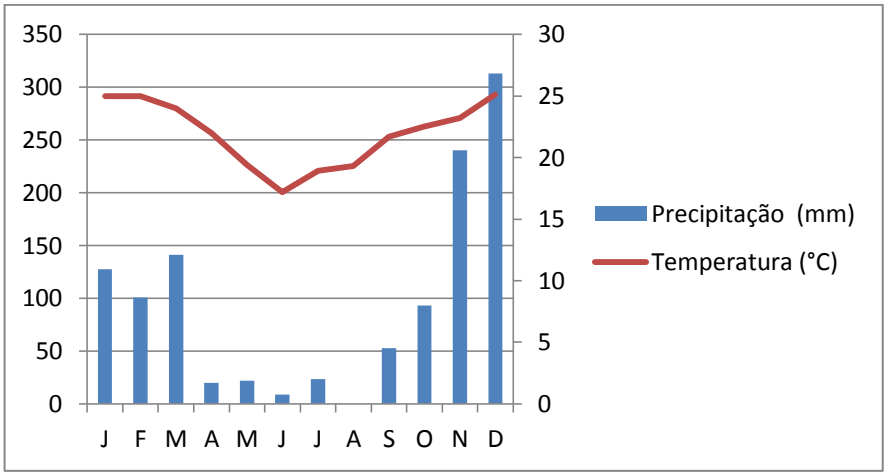


Figura 09: Climograma de Alfenas – ano de 2010

No ano de 2010, totalizaram-se 1143 mm de chuva, sendo novembro (240,4 mm) e dezembro (313 mm) os meses mais chuvosos. As maiores temperaturas médias máxima ocorreram nos meses de dezembro (ultrapassando os 25°C) e de novembro (23,2 °C). Os máximos de pluviosidade e de temperatura ocorreram nos mesmos meses – confirmando que o verão vem a ser a estação mais quente e úmida de Alfenas, até porque, de janeiro a março, houve volume médio acima de 100 mm mensais. Já em relação às médias baixas, observa-se queda da temperatura entre os meses de abril e junho (mês que registrou média de 17,2 °C), na passagem do outono para o inverno, mantendo-se abaixo dos 20°C médios até o mês de agosto; a pluviosidade reduziu-se a partir de abril, tendo seu ponto mais baixo (0 mm) no mês de agosto – confirmando que o inverno trata-se da estação mais fria e seca de Alfenas. A média térmica anual foi de 21,9°C, e a amplitude térmica de 6,2°C.

- **2011**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitação (mm)	429	79,4	284,4	98	4,4	26,8	0,6	9	1,6	169	100,8	280,8
Temperatura (°C)	24,4	25,4	23,1	22,1	19,2	16,6	18,6	20,9	21,7	22,4	22,3	23,7

Quadro 06: Dados meteorológicos de Alfenas – MG mensais - ano de 2011

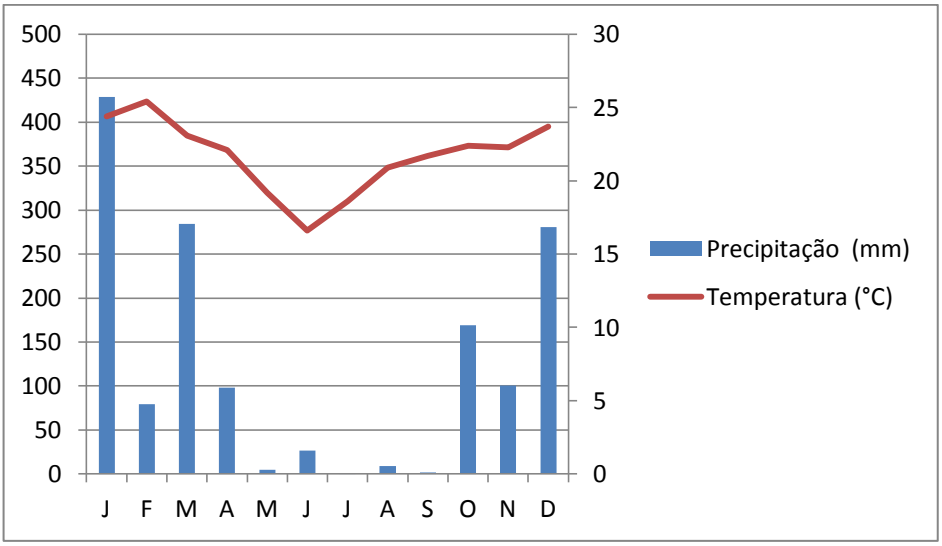


Figura 10: Climograma de Alfenas – ano de 2011

No ano de 2011, totalizaram-se 1483 mm de chuva, sendo janeiro o mês mais chuvoso (429 mm), seguido por março (284,4 mm), além de que novembro e dezembro superaram os 123 mm da média de pluviosidade do ano. As maiores temperaturas médias máximas ocorreram nos meses de dezembro (ultrapassando os 25°C) e de novembro (23,2 °C). A pluviosidade média máxima coincidiu com a média térmica máxima – meses de janeiro e de dezembro. Já em relação às médias baixas, observa-se queda da temperatura entre os meses de abril e junho (mês que registrou média de 16,6 °C), na passagem do outono para o inverno, mantendo-se abaixo dos 21°C médios até o mês de agosto; a pluviosidade reduziu-se a partir de abril, tendo seu ponto mais baixo (0,6 mm) no mês de julho, seguido de setembro (1,6 mm) – o trimestre de julho a setembro foi o mais seco de 2011.

Em relação a 2010, o ano de 2011 foi mais chuvoso e com relativa elevação da temperatura, com aumento da amplitude térmica, de 8,8°C (2,6°C de diferença).

- **2012**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitação (mm)	268	109,2	94	66	58,4	124	23	0,2	44,6	106	93	194
Temperatura (°C)	23	24,5	23,7	22,8	18,5	18,8	17,6	19,1	21,8	24,3	23,7	25,3

Quadro 07: Dados meteorológicos de Alfenas – MG mensais - ano de 2012

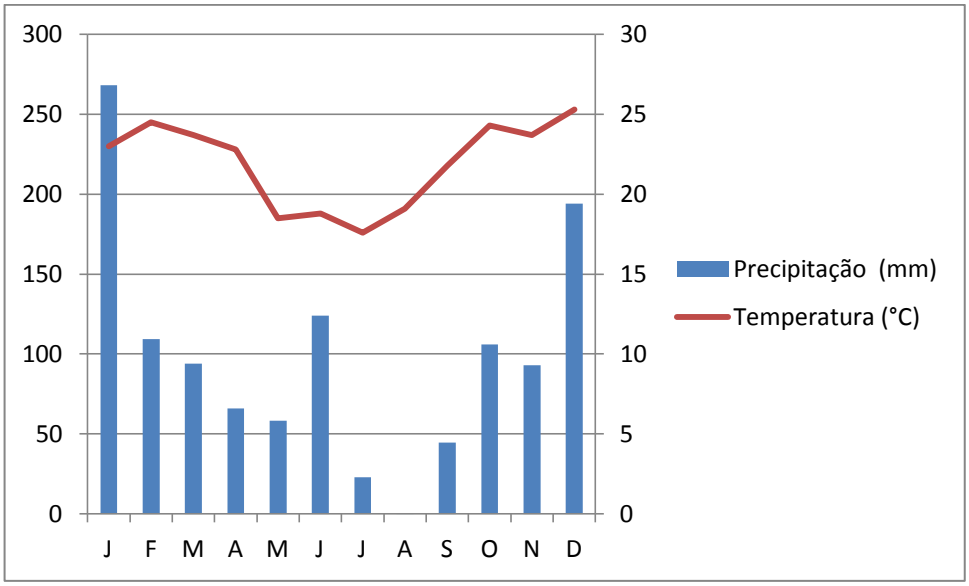


Figura 11: Climograma de Alfenas – ano de 2012

No ano de 2012, a pluviosidade totalizou 1180 mm de chuva, sendo, da mesma forma como ocorreu em 2011, janeiro foi o mês mais chuvoso, com 268 mm (161 mm a menos que em janeiro de 2011), seguido por dezembro (194 mm). Merece destaque o mês de junho, quando foram registrados 124 mm, um volume bastante acima da média do mês, como se observa no mesmo mês em 2010 e 2011. As maiores temperaturas médias máximas ocorreram nos meses de dezembro (25,3° C) e de fevereiro (24,5 °C). A pluviosidade mensal máxima não coincidiu com a média térmica máxima, mas a estação fria foi também a mais seca; a quente, a mais úmida. A queda da temperatura ocorreu entre os meses de abril e julho (mês que registrou média de 17,6 °C). A pluviosidade reduziu-se a partir de abril, tendo seu ponto mais baixo (0,2 mm) no mês de agosto. O mês de junho apresentou temperatura e pluviosidade acima da média.

O ano de 2012 teve menor pluviosidade do que em relação a 2010 e 2011. A amplitude térmica mensal média foi de 7,7°C, maior que 2010 e menor que 2011.

- **2013**

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Precipitação (mm)	346,8	128,2	134,2	37	67,2	32,6	24,8	14,4	57	71,6	196,6	148,6
Temperatura (°C)	23,9	24,7	23,4	21,1	19,5	19,1	17,9	19,2	21,3	21,8	23	24,4

Quadro 08: Dados meteorológicos de Alfenas – MG mensais - ano de 2013

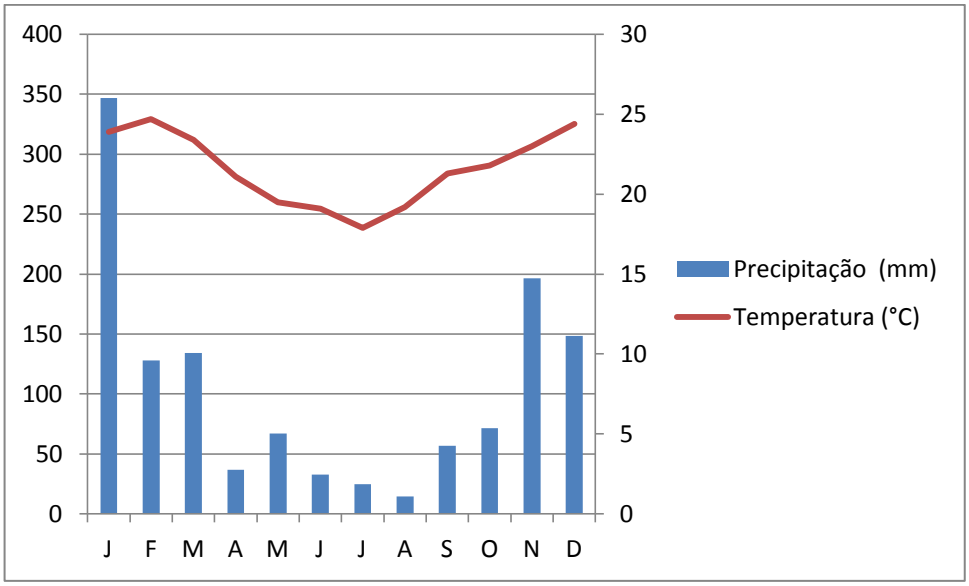


Figura 12: Climograma de Alfenas – ano de 2013

O ano de 2013 apresentou 1259 mm, média térmica anual de 21,6°C e amplitude térmica de 6,8°C (a menor dentre os quatro anos analisados). O mês com maior pluviosidade foi janeiro, com 346,8 mm, e agosto apresentou a menor, com 14,4 mm. Fevereiro teve a maior média térmica, 24,7ºC, enquanto julho apresentou a mínima, com 17,9°C. Repete-se o padrão de estação fria e seca o inverno e quente e úmida o verão. Em relação aos outros anos, 2013 aparece como um ano com pluviosidade sem meses absolutamente secos, como o caso de 2011, quando se chegou ao 0 mm.

4.4. Vegetação

A Leitura Técnica do Plano Diretor de Alfenas (ALAGO, 2006) aponta que a composição florística de Alfenas seja de Floresta Estacional Semidecidual e Ombrófila Mista. FERREIRA et. al (2008), OLIVEIRA e FERREIRA (2009 e 2010) e OLIVEIRA (2010) informam que Alfenas está localizada em uma área de transição entre o Cerrado e a Mata Atlântica.

De acordo com a AGEITEC (2013), as florestas estacionais semideciduais, classificadas anteriormente como florestas subcaducifólias, são formações de ambientes menos úmidos do que aqueles onde se desenvolve a floresta ombrófila densa. Em geral, ocupam ambientes que transitam entre a zona úmida costeira e o ambiente semiárido. Daí porque esta vegetação também é conhecida como “mata seca”. Esta formação vegetal apresenta um porte em torno de 20 metros (estrato mais alto) e apresenta, como característica importante, uma razoável perda de folhas no período seco, notadamente no estrato arbóreo. Na época chuvosa, a sua

fisionomia confunde-se com a da floresta ombrófila densa, no entanto, no período seco, nota-se a diferença entre elas.

A Floresta Ombrófila Densa também é conhecida Floresta Tropical Pluvial Amazônica e Atlântica e, no caso de Alfenas, a Atlântica. Sua ocorrência está ligada ao clima tropical quente e úmido, sem período biologicamente seco, com chuvas bem distribuídas durante o ano (excepcionalmente com até 60 dias de umidade escassa) e temperaturas médias variando entre 22 ºC e 26 ºC. Ocupa parte do espaço amazônico e se estende pela costa litorânea desde o nordeste até o extremo sul. É caracterizada pela presença de árvores de grande e médio portes, além de lianas e epífitas em abundância (AGEITEC, 2013). A concepção de Floresta Ombrófila Mista procede da ocorrência da mistura, de floras de diferentes origens, definindo padrões fitofisionômicos típicos em zona climática caracteristicamente pluvial. No Brasil, a mistura de representantes das floras tropical (afro-brasileira) e temperada (austro-brasileira), com marcada presença de elementos Coniferales e Laurales é o denominado Planalto Meridional Brasileiro, definido pela área de dispersão natural da Araucaria angustifolia, espécie gregária de alto valor econômico e paisagístico (AGEITEC, op. cit.).

Algumas das espécies encontradas na região são o açoita-cavalo, o angico, o cedro, a canela, o sassafrás, a massaranduba, a canjerana, a amoreira, o jatobá, óleo copaíba, jequitibá, peroba rosa, aroeira, pau-de-santa-bárbara e guatambu. Nas matas ciliares, encontra-se capixingui, ingá, pineiro do rejo, ipê do brejo, algumas árvores esparsas intercaladas por arbustos e subarbustos, apresentando o marolo, o barbatimão, a espinheira-santa, a cagaita, o ipê do cerrado e o pau-santo.

Estudos feitos por Garófalo e Ferreira (2008, 2010) e por Justino (2011) mostram a existência de fragmentos florestais típicos de Mata Atlântica no município de Alfenas (Figura 13). Existem unidades de conservação do município, de forma que se atende à legislação ambiental vigente, mas há concordância de que os fragmentos sofrem com a pressão da ocupação. Ferreira et. al. (op. cit) e Oliveira e Ferreira (2010) apontam que as áreas mais elevadas da região concentram a maior parte dos fragmentos, correspondendo às unidades de Morros e Montanhas de Serrania e Cristas Alongadas de Campestre – Serrania, onde a altitude e a declividade dificultam a ocupação.

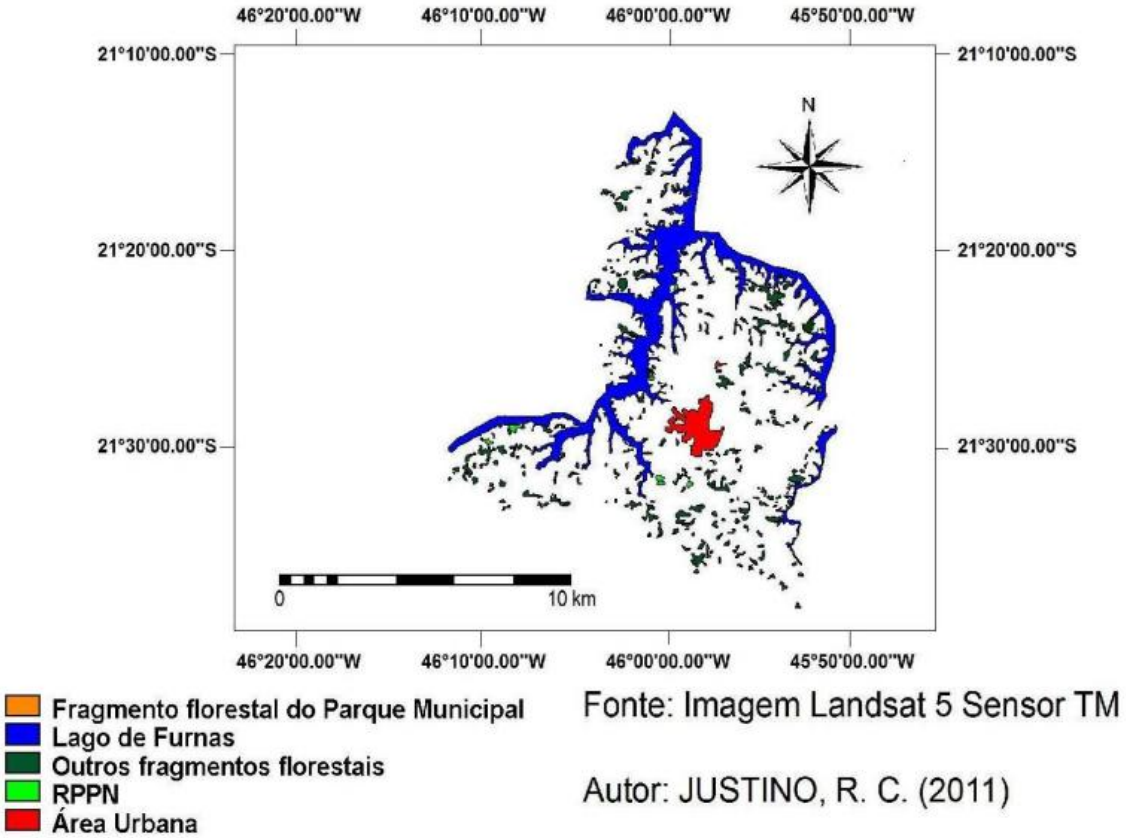


Figura 13: Fragmentos Florestais no município de Alfenas – MG. Adaptado de Justino (2011).

Uma das importantes áreas verdes da cidade corresponde ao Parque Municipal (*Zoológico*), onde há um fragmento.

Godoy e Ferreira (2010) concluem que o número de áreas verdes públicas de Alfenas é bastante baixo. As praças e parques que apresentam melhores estados de conservação e maior número de equipamentos de serviço residem no centro. Jorge e Ferreira (2010) observam constituição heterogênea na disposição das áreas verdes em Alfenas – MG. Os bairros com maior padrão de qualidade de vida e maior arborização são o Jardim Aeroporto, o Vista Alegre, o Colina's Park e o Jardim da Colina, além da região central da cidade. Já bairros de menor padrão de qualidade de vida, como Pinheirinho, Campos Elísios e Chapada, possuem uma arborização muito escassa, sem nenhum padrão, ou seja, totalmente espaçada, além da ausência de praças. Além disso, Jorge e Ferreira (op. cit) afirmam que houve pouca ampliação das áreas verdes na cidade, constatando-se que as avenidas centrais de Alfenas, José Paulino da Costa e Governador Valadares (a segunda principal via de acesso para a BR-369) possuem canteiros centrais bem arborizados.

4.5. Uso da terra e cobertura vegetal

Com a apresentação do mapa de Uso da terra (Figura 14), pode-se perceber como a área da sede do município de Alfenas está ocupada. Foram definidas 17 classes, envolvendo uso e cobertura vegetal contemporânea: Lago (referente a açudes, a pequenos lagos e ao reservatório da UHE de Furnas); Eucalipto; Capoeira; Uso misto; Solo Exposto; Aeroporto; Remanescente Florestal; Industrial; Café; Unifenas; Cultura anual; Estação de tratamento de esgoto; Aterro Sanitário; Expansão urbana / sítio; Pastagem; e Horticultura.

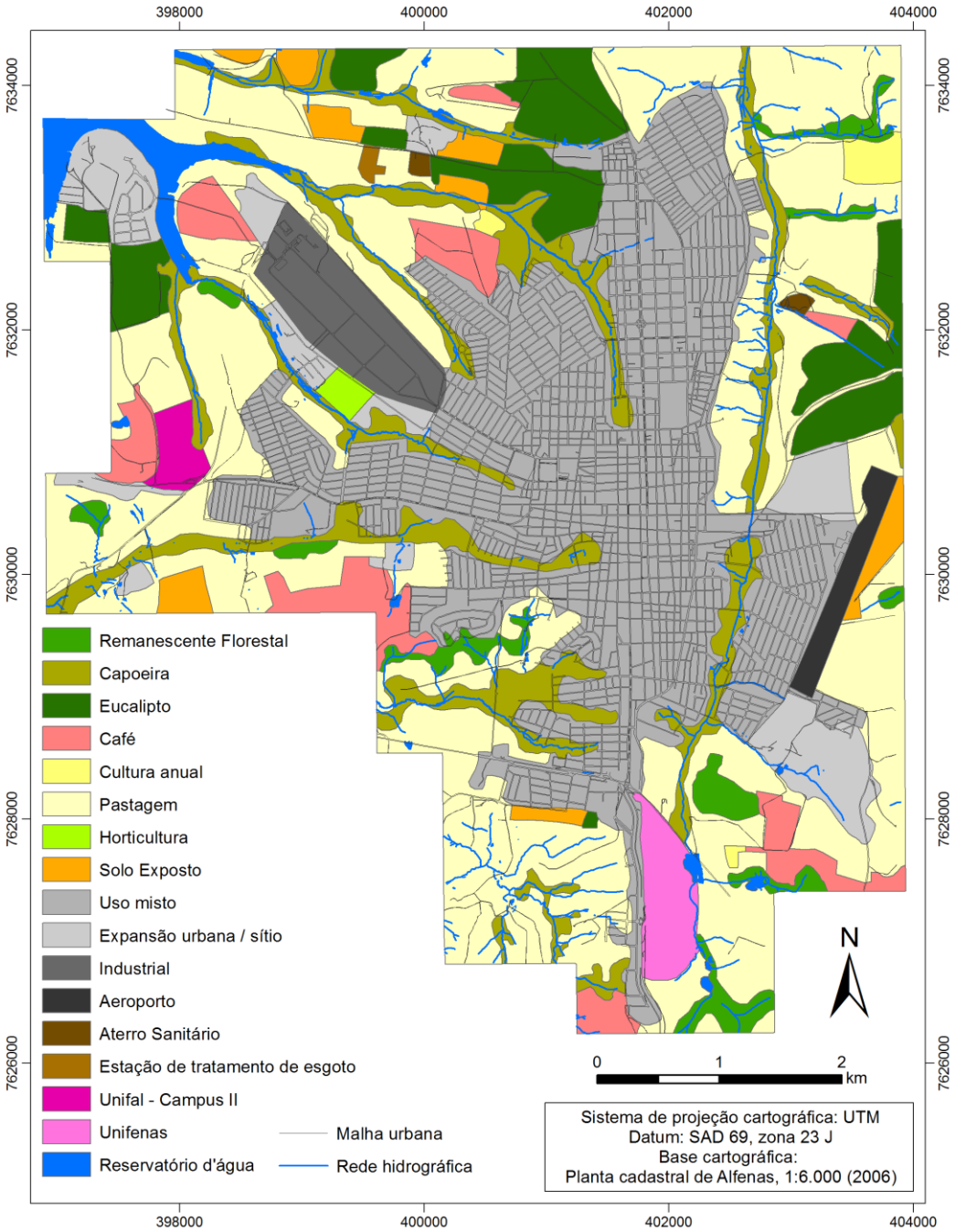


Figura 14: Uso da terra e cobertura vegetal da área da sede de Alfenas - MG

4.6. Hidrografia

A região onde se assenta Alfenas está no contexto da Bacia Hidrográfica do Rio Grande, afluente do Rio Paraná. A sub-bacia definida pelo Comitê de Bacias Hidrográficas onde está Alfenas é a Bacia Hidrográfica do Entorno do Lago de Furnas – GD3 (Figura 15) (CBH, 2014). No início da década de 1960, foi construída Usina Hidrelétrica de Furnas, no Sul de Minas Gerais, a partir da inundação das áreas mais baixas, onde hoje está o Reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) de Furnas (chamado de *Lago de Furnas*). Esse reservatório é responsável pelo abastecimento de energia das cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte. O sistema hidrográfico de Furnas influencia diretamente as atividades socioeconômicas e ambientais dos municípios na região, que tiveram sua paisagem modificada e muitas de suas atividades econômicas e turísticas potencializadas com a formação do reservatório.

Figura 15: Área de atuação do Comitê de Bacias da Unidade de Planejamento Rio Grande 3 (GD3). Fonte: CBH Furnas, 2014.

Antes da inundação de Furnas, o município de Alfenas era atravessado e margeado pelo Rio Verde (tendo como afluentes o Córrego do Pântano, da Boa Esperança, do Chafariz e da Pedra Branca) o Rio Machado, o Rio São Tomé (sendo o Córrego da Estiva seu afluente) e o

Rio Sapucaí, além de ouros ribeirões e córregos, como o Caçús, o da Pitangueira, o da Ferradura e o do Gambá, como aparece na Figura 16.

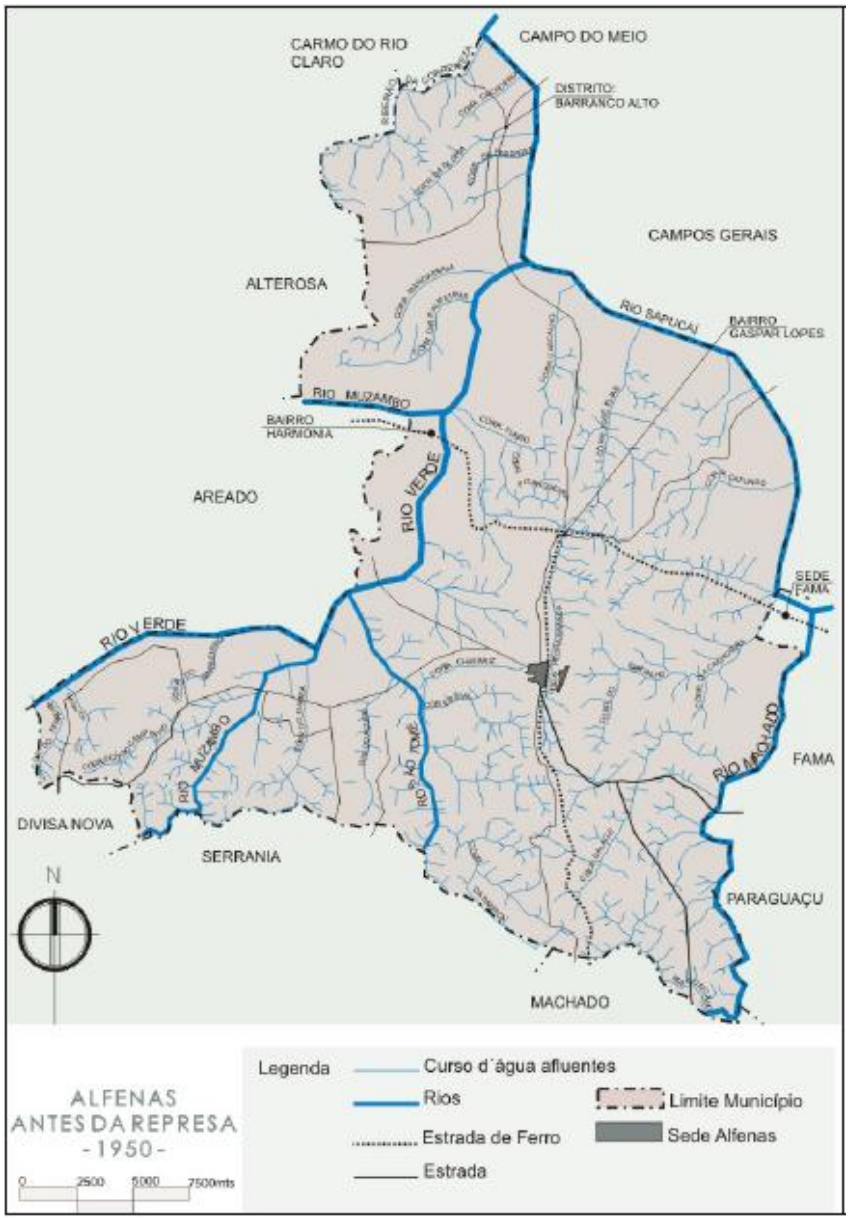


Figura 16: Município de Alfenas antes da Represa de Furnas. Fonte: Plano Diretor, 1992.

Em 1961, as comportas foram fechadas e, em 1963, a UHE de Furnas começou a operar. Após esse evento, admite-se que o nível de base local dos cursos hídricos que cortam a área urbana de Alfenas foi alterado, passando a ser o reservatório, que, em geral, atinge seu limite em torno dos 750m.

A área tratada neste trabalho localiza-se sobre as sub-bacias do Córrego do Pântano, do Córrego do Pântano 1, do Córrego do Chafariz, do Córrego da Estiva, do Córrego da Estiva 1 e do Córrego da Pedra Branca (Figura 17).

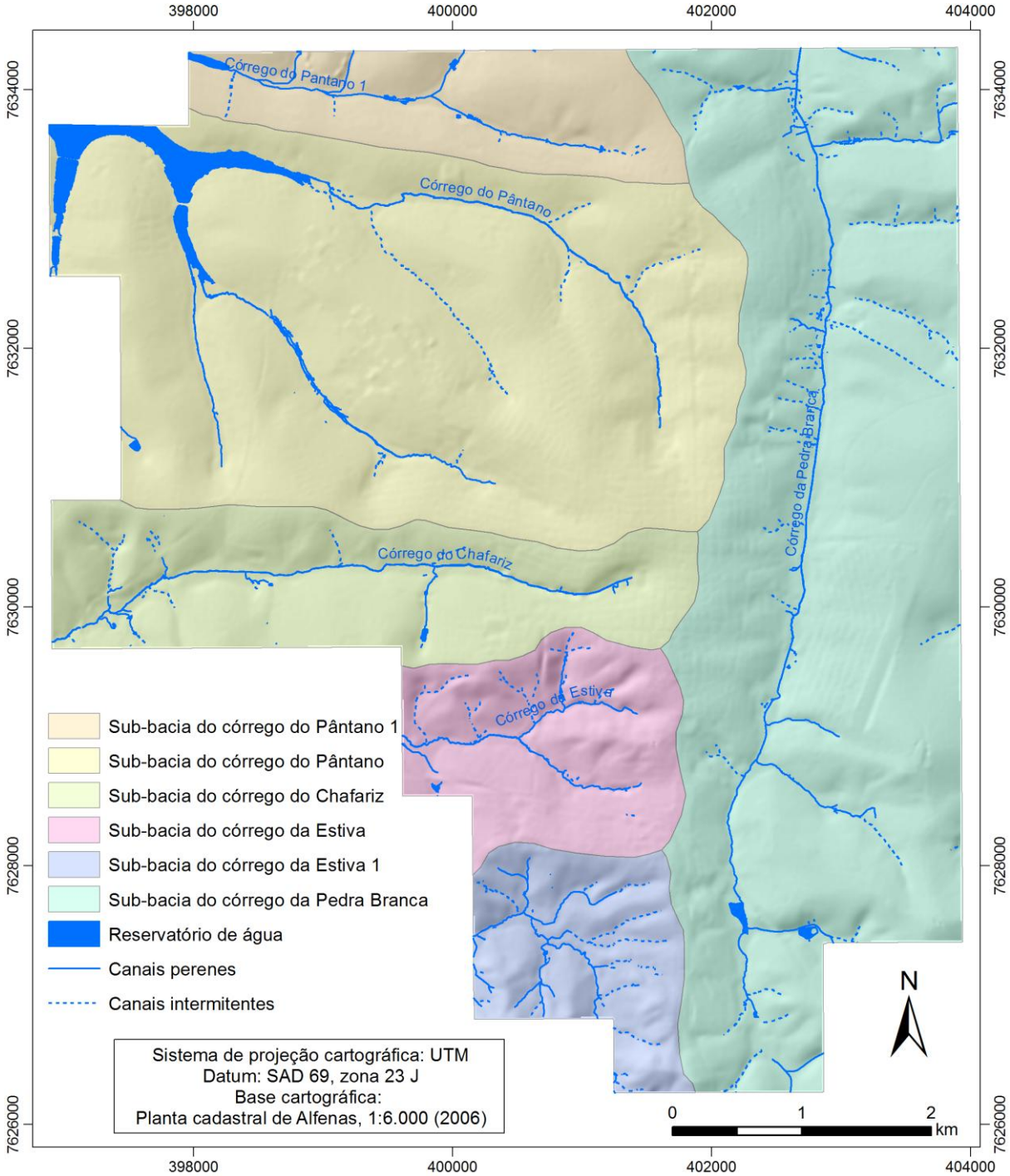


Figura 17: Drenagem e Delimitação das Sub-bacias Hidrográficas da área da sede de Alfenas - MG

A base da Planta Cadastral de Alfenas disponível (escala 1:6.000, PREFEITURA MUNICIPAL DE ALFENAS, 2006) não contempla toda a área da sub-bacia do Pântano. Para completar as observações e análises referentes ao conjunto da sub-bacia, utilizou-se a Carta

Topográfica Alfenas, em escala 1:50.000 (IBGE, 1970), imagens do Google Earth e trabalhos de campo.

A pormenorização dos dados foi realizada sobre a planta cadastral, a partir de suas medidas, da interpretação das fotografias aéreas (1:6.000) e de observações de campo.

A hierarquização e a definição dos padrões de drenagem foram realizadas a partir dos critérios determinados por Strahler (1957) e Christofoletti (1980).

De maneira geral, a hidrografia da sede de Alfenas é composta por sub-bacias de 3ª ordem, onde aparecem cursos encaixados no relevo com vales em trechos em "V", planos e assimétricos. Chama a atenção os cursos dirigirem-se para o Reservatório da UHE de Furnas, correspondendo, assim, ao nível de base fluvial. Os córregos não possuem grandes dimensões, chegando a atingir 1,5m de margem à margem, sendo que nas nascentes desenvolvem dimensões em centímetros. Desenvolvem-se formas de agradação nos leitos e vertentes, como rampas de colúvio e leques aluviais, sem mencionar a formação de depósitos tecnogênicos.

Na área urbana, os cursos passaram por canalizações e retilinizações, além de terem-se recorrido à construção de obras de engenharia nas margens para evitar processos erosivos. Estes são bastante percebidos nas margens, que também sofrem com a ocupação, às vezes, indevida. E as águas também se apresentam poluídas.

4.6.1. **Sub-bacia do Córrego do Pântano**

A sub-bacia do Pântano foi dividida em seus interflúvios, de forma que se apresentam os cursos:

- Córrego do Pântano 1, mais ao norte da sub-bacia;
- Córrego do Pântano, na porção central da sub-bacia. A denominação de "Pântano 1" aparece no trabalho de Cardoso (2003) e é utilizada aqui, pois não há denominação especificada em materiais cartográficos ou hídrográficos, haja vista sua ordem baixa em relação à bacia do Entorno do Lago de Furnas.
- Córrego da Boa Esperança, na porção sul da sub-bacia.

O Córrego do Pântano recebe as águas dos Córregos da Boa Esperança e do Pântano 1, formando um sistema de drenagem com deflúvios perenes e efêmeros. A sub-bacia integra a bacia do Rio Verde, que, atualmente, corresponde a um canal alagado do Reservatório da UHE de Furnas. Tributários de primeira e segunda ordem aparecem no setor médio da sub-bacia, quando passa a apresentar áreas de agradação (acumulação), de forma que é possível observar depósitos coluvionares interdigitados por depósitos aluvionares. Por fim, as águas do Pântano desaguam no Reservatório da UHE de Furnas.

Em relação à rede de drenagem, classifica-se a sub-bacia de terceira ordem segundo critérios de Strahler (1957). Os cursos dessa sub-bacia apresentam, em conjunto, padrão de drenagem paralelo, conforme a classificação de Christofoletti (1980). Esse padrão indica a possibilidade da presença de falhamentos em sentido ESSE-WNW em camadas sedimentares levemente inclinadas, conforme as formas suaves e aplainadas da sub-bacia, onde os contatos geológicos se apresentam mais ou menos retilíneos.

Os tipos de relevo que predominam são colinas convexo-côncavas, apresentando amplitudes de 30 a 100m e altitudes entre 760 a 860m com fundo de vales associados a planícies.

A cabeceira da sub-bacia fica próxima ao interflúvio que faz divisa com outra a sub-bacia, a do Córrego da Pedra Branca. A área do interflúvio apresenta declividade baixa, de até 20%, estando densamente ocupada. A ocupação iniciou-se a partir do interflúvio e dirigiu-se até os fundos de vale no sentido norte e noroeste, onde aparecem declividades maiores nas vertentes, de até 30%, enquanto que os fundos de vale apresentam menores que 12%. Ainda nas margens do curso, é comum a ocorrência de depósitos tecnogênicos, constituídos por tijolos, plásticos, vidros e materiais provindos das vertentes como pequenos fragmentos de rochas (Figura 18).

Figura 18: Montante do Córrego do Pântano

Aparecem terraços fluviais (Figura 19) preservados em trechos onde ocorrem margens abruptas, com declividades variando entre 6% a 12%, aparecendo o uso urbano.

Figura 19: Margem abrupta do Córrego do Pântano com evidências de terraços fluviais associados a deslizamentos. Fonte: OLIVEIRA, 2011.

A ocupação da bacia é caracterizada por apresentar fins comerciais e residenciais à montante, industrial no médio curso na porção centro-sudeste, somando-se áreas de expansão urbana e parcelas de uso rural, que já começam a ser desmembradas para implantação de loteamentos.

O córrego do Pântano sofreu retilinização, alargamento e canalizações no seu médio curso, para colaborar com a estabilidade das margens, com arrimos e gabiões (Figura 20).

No entanto, mostram-se irregularidades, que vão desde a retenção de lixo a defeitos e deterioração na própria obra. Tais medidas foram promovidas a fim de evitar o retrabalhamento fluvial, uma vez que processos erosivos fluviais naturais operavam em suas margens (Figura 21).

Figura 20: Obras de canalização e retilinização do Córrego do Pântano

Figura 21: Estado atual das margens do Córrego do Pântano e das obras de engenharia no médio curso.

Tais processos foram potencializados pela dinâmica antrópica, como o aumento de escoamento superficial gerado pela impermeabilização de porções das vertentes e a retirada de vegetação ciliar das margens. Neste local, foi encontrado também um material argiloso, que tem baixa capacidade de suporte, correspondendo a mais um fator contribuinte para o processo de erosão das margens, denunciando a instabilidade da área, com predomínio de sedimentos argilosos.

Todavia, por falta de manutenção nestas obras, sulcos começam a se formar, paralelos aos muros de gabião construídos para a retilinização e contenção de processos erosivos, intensificando os processos erosivos ao invés de contê-los. Além disso, próximo a propriedade, alguns tributários foram drenados.

O Córrego da Boa Esperança, um afluente da margem esquerda do córrego do Pântano, já passou por intervenções que consistiram na alteração de seu curso, atendendo à demanda de ocupação. Obviamente, isso gerou alterações e intensificou a dinâmica geomorfológica. Ainda assim, observa-se que seu fundo de vale está ocupado também para a criação de animais, além de haver moradias em áreas próximas ao curso d'água, uma área não adequada para esse fim. Ademais, os moradores também convivem com o mau cheiro, devido à presença de efluentes lançados sem tratamento, e com invasão de animais (roedores, aracnídeos e insetos).

4.6.2. **Sub-bacia do Córrego da Pedra Branca**

O Córrego também pode ser reconhecido pela denominação de *Córrego dos Aflitos*, nome que aparece, inclusive, na carta topográfica de 1:50.000. O curso do córrego está orientado de sul para norte, encaixado-se no domínio dos morros convexos definidos neste trabalho.

O padrão de drenagem observado é de treliça. A presença desse tipo de padrão pode ser explicada pela existência do curso principal longo e pelo conjunto de tributários de cursos curtos e que desembocam em ângulos retos no curso maior. Esse padrão, geralmente, desenvolve-se em regiões dobradas, com uma sucessão de sinclinais e anticlinais de eixos horizontais e sub-horizontais, onde os cursos maiores encaixam-se em vales sinclinais, e os cursos menores descem pelas abas das dobras. Vale dizer que esse padrão é identificado na sub-bacia isoladamente. Observando a área de estudo e localizando a sub-bacia no conjunto da bacia do Rio Verde, somente o trecho que passa pela área urbana de Alfenas apresenta esse padrão. Na área não cartografada pelo trabalho, no sentido norte, o córrego da Pedra Branca desemboca no Córrego da Ferradura, que segue seu curso no sentido E-W e retoma o sentido norte até atingir o reservatório da UHE de Furnas, onde, originalmente, correspondia ao Rio

Verde. Correspondendo à análise da sub-bacia, classifica-se como sendo de terceira ordem até chegar ao Córrego da Ferradura.

Grande parte do córrego, à montante, desenvolve-se na transição dos relevos de morros convexos e dos morros angulosos (Figura 22). No trecho à montante, as vertentes da margem direita do córrego exibem um perfil convexo-côncavo, sem ruptura de declive positiva contínua na borda, mas com ocorrência de rupturas restritas em algumas reentrâncias da topografia, formando pequenas cabeceiras de drenagem em anfiteatros. Essas vertentes não possuem uma ocupação densa como àquelas da margem esquerda do córrego, que é onde está instalada parte do Centro, Vila Formosa, Jardim São Lucas e Cruz Preta. A parte do divisor de águas com o Córrego da Estiva apresenta-se estreita, sendo que ele passa a ser arredondado quando divide as águas da sub-bacia do Córrego do Chafariz e da sub-bacia do Córrego do Pântano.

Figura 22: Vista da área das nascentes do Córrego da Pedra Branca, próximo ao bairro Loteamento do Trevo, às margens da Rodovia MG-179

Verificam-se nascentes nas áreas mais elevadas, onde também se formam pequenos lagos, próximos às áreas das nascentes no setor Sul e onde se verificam afloramentos rochosos de gnaisses. As nascentes se encontram em áreas com mata ciliar.

Esta sub-bacia abrange uma área de 27,7 Km². A calha fluvial do córrego, à montante, apresenta um vale simétrico e bem encaixado, resultado de uma retomada de erosão. Garófalo (2012) informa que o índice de circularidade (IC) da bacia é de 0,47. Isso permite compreender o alongamento da forma à montante e à jusante e indica que a bacia não possui, mediante características naturais, alta propensão a enchentes quando comparado a uma bacia de forma circular. No entanto, em decorrência do escoamento superficial, já são registrados transbordamentos do córrego.

O córrego escava seu vale até atingir a área de planícies, onde, assim que recebe mais tributários, passa a ser um canal de 3ª ordem. De maneira geral, a bacia é delimitada por divisores estreitos, especialmente, a montante, predominando os arredondados no restante da bacia. Dominam colinas e morros com topos arredondados e vertentes convexo-côncavas, por vezes retilíneas. Nos setores internos da bacia, predominam interflúvios secundários arredondados. Comumente, o desenvolvimento de formas côncavas na base das colinas e dos morros configura-se num conjunto de anfiteatros de erosão colmatados por materiais coluvionares, principalmente na margem direita, provindos das áreas mais elevadas, interdigitados pelos materiais aluvionares das planícies fluviais, apresentando também leques aluviais na margem direita do ribeirão interdigitados pelos materiais aluvionares das planícies fluviais. Os leques aluviais estão associados a materiais constituídos por seixos, tijolos, papéis, plásticos e vidros.

À medida que o curso segue em direção à jusante, vai sendo definida a planície, que se abre notadamente na altura do bairro Santos Reis, haja vista que o vale é bastante encaixado, à montante. É a partir desse ponto que se verificam os depósitos de colúvios e abertura de mais leques aluviais atuais. Grande parte da planície fluvial é formada por um substrato instável, composto por sedimentos arenoargilosos, provenientes de processos fluviais e das vertentes laterais que apresentam um material alterado e remobilizado por processos de erosão linear, especialmente, em seus tributários.

O Córrego da Pedra Branca (ou dos Aflitos) já está canalizado e retificado em alguns trechos (Figura 23), além de haver depósitos tecnogênicos.

Figura 23: Canalização do Córrego da Pedra Branca no bairro Santos Reis

Verificaram-se movimentos de massa do tipo rotacional, desenvolvido em cabeceira de tributário - médio curso do córrego em área ocupada por pastagem. Outros processos, do tipo rastejo, ocorrem largamente nas vertentes, podendo ser observados nas vertentes da margem direita do médio curso do ribeirão da Pedra Branca - área ocupada por pastagem associado à silvicultura de eucalipto.

Referente a uso e ocupação, a área da bacia apresenta um uso predominantemente agropastoril (pastagem, café e culturas temporárias), estão localizados à montante o Campus da UNIFENAS e o Parque Municipal de Alfenas. A montante e a jusante são os setores que apresentam melhor conservação das matas ciliares próximo às cabeceiras de drenagem. No seu setor intermediário, no médio curso, observa-se uma ocupação urbana de uso misto. Esse uso incorpora residências irregulares (Figura 24) que ocupam a faixa de preservação estabelecida no Código Florestal. O médio curso da sub-bacia também é utilizado pela população para despejo de lixo e entulho, além da localização de um depósito de lixo em uma vertente, que contribui sobremaneira para a degradação do córrego, tendo em vista que não apresenta obras de engenharia que reduzam os impactos causados pela presença de resíduos.

Figura 24: Ocupações próximas às margens do Córrego da Pedra Branca

De acordo com Garófalo, não se respeitam as áreas de preservação permanente (A.P.P.s), sendo que o autor informa a existência de apenas 33,3% de áreas destinadas às A.P.P.s, localizadas em trechos com declividade elevada e de cabeceiras de drenagem. O uso para pastagens e áreas sem vegetação aceleram os processos erosivos e promovem a compactação do solo, dificultando a infiltração de água no subsolo e propiciando o escoamento superficial concentrado, a partir do qual resultarão ravinas, se não houver intervenções que mitiguem esses processos, sem mencionar a redução da disponibilidade de água e de nutrientes no solo. Essas informações são importantes no contexto da sub-bacia devido à atividade agrícola e à pecuária que são fontes de renda e de subsistência para a população.

As vertentes da margem esquerda do córrego apresentam ocupação mais densa. Além disso, nota-se que as planícies também se encontram indevidamente ocupadas. Ali se observam construções irregulares e utilização da área para criação de animais. Em geral as margens dos cursos d'água não apresentam cobertura vegetal onde se observa alterações da morfologia original pelas moradias e pela implantação de aterros. Comumente, ocorre nos fundos dos vales fluviais a presença de material tecnogênico associado a materiais das vertentes. Muitas vezes, as moradias ou os fundos de quintais se assentam sobre os depósitos tecnogênicos.

A situação da sub-bacia não indica que medidas ecologicamente corretas estejam sendo tomadas, uma vez que se encontra bastante poluído. O Córrego da Pedra Branca recebe,

ao longo de todo seu percurso, de Sul a Norte, efluentes de esgoto não tratados, pois a Estação Elevatória de Tratamento de Esgoto ainda não opera. O impacto disso traduz-se em incômodos pelo mau cheiro, e a população que habita as áreas próximas ao fundo de vale convive com isso.

4.6.3. **Sub-bacia do Córrego do Chafariz**

O córrego do Chafariz caracteriza-se por apresentar curso no sentido leste-oeste, nascendo da região central da cidade de Alfenas, com sua foz no Reservatório da UHE de Furnas, num trecho onde, originalmente, correspondia ao Rio São Tomé, afluente do Rio Verde. Recebe tributários de 1ª ordem, especialmente, no trecho à montante. A hierarquia desta sub-bacia, realizada na base de 1:6.000, é de 3ª ordem.

Isoladamente, o padrão de drenagem corresponde ao de treliça, mas em um contexto em conjunto com a bacia do Córrego da Estiva, faz parte do padrão em paralelo da bacia do Rio São Tomé.

O Córrego do Chafariz nasce no centro da cidade de Alfenas em uma cabeceira em anfiteatro com declive pronunciado, tendo uma ocupação densa, de tal maneira que se apontam as cabeceiras de drenagem das nascentes em vales encaixados, predominando o entalhamento do canal e a erosão fluvial das margens. À jusante, o vale torna-se mais largo, passando a apresentar forma assimétrica e plana, associado a áreas de planícies aluviais, com maior deposição de sedimentos siltítico-argilosos. Grande parte do leito do córrego do Chafariz escoa sobre estes sedimentos recebe efluentes de esgoto não tratados, além de efluentes domésticos lançados diretamente em seu leito. Isso se dá pela ocupação irregular a que sua planície está sujeita. Na margem direita há rupturas de declive convexas, e o vale encaixado, apresenta-se em “V”.

O córrego foi retificado à montante (Figura 25). Suas encostas são formadas por terracetes artificiais, prática utilizada para controlar a erosão hídrica causada pelo escoamento superficial ao longo da vertente. Esta prática promove o escoamento pluvial mais lento e gradativo, e maior infiltração.

Figura 25: Retificação à montante do Córrego do Chafariz na região central da cidade de Alfenas

Essa ocupação promove o desenvolvimento de formas de erosão nas vertentes do seu vale, como à intensificação do processo de solifluxão. A criação de patamares e cortes nas vertentes para a instalação de moradias modificou a geometria das vertentes e, ao mesmo tempo, provocou uma instabilidade para algumas casas que se encontram condenadas pela defesa civil, apresentando trincas e rebaixamento da superfície. Além disso, no bairro Jardim Tropical foi constatado a ocorrência de processos de deslizamentos de terra ao longo das margens do referido córrego.

O Córrego do Chafariz apresenta a ocorrência de terraços em sua margem direita (Figura 26), constituídos por lâminas de areias arredondadas associadas a fácies areno-argilosas com presença de matéria orgânica (DIAS, 2011). Os terraços fluviais são formados pela ação do rio, que rebaixa sua planície e seu nível de base, gerados por alterações climáticas, eventos tectônicos ou mudanças geomorfológicas da bacia.

Figura 26: Terraço fluvial no trecho médio-superior da sub-bacia. Fonte: Dias, 2011.

O divisor desta sub-bacia com a sub-bacia do Córrego da Estiva apresenta topos estreitos associados a rampas com declividade alta, tanto que aparecem afloramentos rochosos. A ruptura de declive negativa marca o vale e, mais à jusante, também a planície fluvial.

4.6.4. **Sub-bacia do Córrego da Estiva**

A base topográfica em escala 1:6.000 apresenta apenas o trecho à montante da sub-bacia. Para completar as informações, recorreu-se à carta topográfica em escala 1:50.000 e a imagens do *Google Earth*. Devido às características morfológicas e altimétricas, esta sub-bacia aparece dividida em Estiva e Estiva 1, sendo que, em outras fontes, não há denominação específica para o curso aqui denominado de Córrego da Estiva 1, localizado ao sul do Córrego da Estiva.

O curso do Córrego da Estiva descreve sentido E-W e apresenta-se encaixado em um conjunto de colinas associadas a morros convexos. Seus tributários também se inserem encaixados no relevo, desenvolvendo cabeceiras em anfiteatros. Seu padrão de drenagem, analisando a sub-bacia isoladamente, pode ser descrito como sendo de treliça. No entanto, o conjunto da sub-bacia do Estiva (juntamente com o Estiva 1), pode ser descrito como padrão paralelo. O curso do Córrego da Estiva 1 descreve sentido S-N, desviando-se para oeste em um curto trecho e encurva-se para o noroeste, até desembocar no Córrego da Estiva. Esse conjunto assemelha-se a um padrão retangular de drenagem – um padrão em que os cursos d'água se encontram em ângulos retos (90 graus), ou quase, podendo ocorrer em rochas que foram submetidas a processos de diaclasamento e falhamentos, cujas estruturas são áreas onde a erosão pode progredir mais facilmente - a drenagem é condicionada pelas estruturas das rochas, podendo ocorrer em arenitos diaclasados, derrames de lavas, rochas ígneas plutônicas, onde as diáclases se formam no processo de resfriamento, além de ser comuns também em rochas metamórficas submetidas a falhamentos e fraturamento (CHRISTOFOLETTI, 1990). A hierarquia do conjunto representado pelas sub-bacias do Córrego da Estiva corresponde à 3ª ordem.

Nas cabeceiras de drenagem, as vertentes são convexas, apresentam declividades médias e elevadas, o que explica o encaixe dos anfiteatros de erosão, com ruptura de declive negativa, que marca as áreas dos vales. Esses anfiteatros correspondem a feições de remodelagem do relevo da sub-bacia com porções côncavas incrustadas nos morros (Figura 27). No interflúvio com a sub-bacia do Chafariz, aflora a rocha sã.

À medida que o Córrego da Estiva recebe novos tributários, a planície fluvial se alarga e é sustentada por sedimentos areno-argilosos provenientes dos movimentos lentos de massa e dos processos fluviais. Neste trecho instalou-se a Rodovia Alfenas - Areado.

Figura 27: Área à montante do Córrego da Estiva. Toda a cabeceira foi modificada com aterros e canalizações, devido a desmoronamentos.

O sistema viário em alguns trechos da área urbana de Alfenas apresenta arruamentos com traçados concordantes aos declives acentuados das vertentes. Em algumas ruas, as águas das chuvas concentram-se e se formam grandes enxurradas com alto potencial erosivo.

No início de 2009, devido às chuvas, a Rua Caetés, na Vila Teixeira, caiu, cedendo material para o leito de um curso d'água. Somente nos meados de 2010 que as obras para correção estiveram próximas de serem finalizadas. Também nesse setor da área de estudo foram encontrados, sotopostos aos sedimentos areno-argilosos, sedimentos síltico-argilosos que comumente aparecem nas sub-bacias dos córregos do Pântano e do Chafariz.

Em 2012, foram concluídas as obras de correção do deslizamento. Foi feito um aterro na área, com a canalização do córrego. No entanto, devido à presença de um material turfoso, somada à ocupação da área, a obra sofreu alterações, na medida em que se processou uma subsidência, conforme o reclaque do material. O curso d'água passou a correr por baixo da obra e, atualmente, está infiltrado ao longo da galeria construída. Além disso, iniciaram-se processos erosivos no entorno da obra (Figuras 28a e 28b).

Figura 28a: Obra de canalização do Córrego da Estiva.

Figura 28b: Infiltração de águas do Córrego da Estiva. As águas infiltraram por uma das juntas da galeria e passaram a correr por baixo da obra

4.7. Geologia

De acordo com a Leitura Técnica do Plano Diretor de Alfenas (2006), o sul de Minas Gerais é uma região com história geológica altamente complexa de evolução policíclica e polifásica, que remonta desde o Arqueano até o Pré-Cambriano Superior/Eopaleozóico, caracterizada por eventos metamórficos, magmáticos, anatéticos/migmatíticos e deformacionais superpostos. Estes terrenos compreendem várias unidades lito-estruturais, quer de infracrustal, quer supracrustais. Almeida (1980) explica que no Sul de Minas expõe-se o complexo gnáissico-granítico que serve de embasamento ao grupo Bambuí. É ao sul do imponente sistema de falhas da região de Nepomuceno-Carandaí, que aparecem extensivamente as rochas de alto grau metamórfico, distribuídas ao longo de uma faixa paralela à costa e outra que se dirige a NW, para a região de Alfenas-Varginha-Guaxupé. Esta última inclui gnaisses charnoquíticos e granulíticos polimetamórficos. As datações disponíveis indicam idades tranzamâzonicas e brasilianas (ALMEIDA, op. cit.).

A região de Alfenas ocupa o setor central da Província Tectônica Mantiqueira, situando-se a sul do Cráton do São Francisco e esta inserida no limite norte da Cunha de Guaxupé, de formato triangular, encontrada no sul de Minas Gerais (HASUI, 1988, apud GASPAR JÚNIOR, 2010). A geologia da área é constituída, predominantemente, por rochas pré-cambrianas de alto grau metamórfico como hiperstênio-granulitos, granulitos básicos, gnaisses graníticos bandados em associação com rochas neopaleozóicas e sedimentos colúvio-aluvionares do Quaternário e coberturas pedológicas como latossolos e paleossolos (HASUI et al., 1989, apud GASPAR JÚNIOR, 2010). Destaca-se, assim, o complexo gnáissico granítico - Complexo Guaxupé, com predomínio de gnaisses granítico migmatíticos, quartzitos e muscovita no domínio da região Norte. Ao domínio da região Central, há a predominância de cianita-biotita e gnaisse. E por fim, o domínio da região Sul é composto por gnaisse granítico, charnockiticos-granada (Figuras 29 e 30). A área ocupa o setor central da Província Tectônica Mantiqueira, situando-se ao sul do Cráton de São Francisco. Está inserido no limite norte da "Cunha de Guaxupé", de formato triangular, que é uma feição peculiar encontrada no sul de Minas Gerais. As rochas ali instaladas foram submetidas à intensa atividade geológica, na sua maioria deformada e metamorfisadas no Pré-Cambriano (ALMEIDA, 1997).

Almeida (1997) define três domínios litoestruturais: os domínios sul, central e norte. A área investigada neste trabalho situa-se no domínio sul, o qual é delimitado por extenso lineamento, a Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV), de direção WNW-ESSE. As rochas deste domínio equivalem ao Complexo Varginha, constituído por rochas ortoderivadas de composição granítica, charnockitos e gnaisses com granada e sillimanita. Esse complexo apresenta altitudes variando de 800 a 1200 metros: as áreas mais altas são resultantes do afloramento das rochas charnoquíticas em meio às colinas gnáissicas. Seu modelado é caracterizado pela dissecação homogênea e predomínio de colinas e morros algumas vezes alongados, de vertentes convexo-côncavas e de topos convexos a planos.

Na região, devido a sua tectônica intensa, formaram-se grandes áreas de rebaixamento que foram preenchidas por colúvios e sedimentos quaternários provenientes das alterações de gnaisses e xistos do Complexo Varginha-Guaxupé (HASUI, 1988, apud GASPAR JÚNIOR op. cit.).

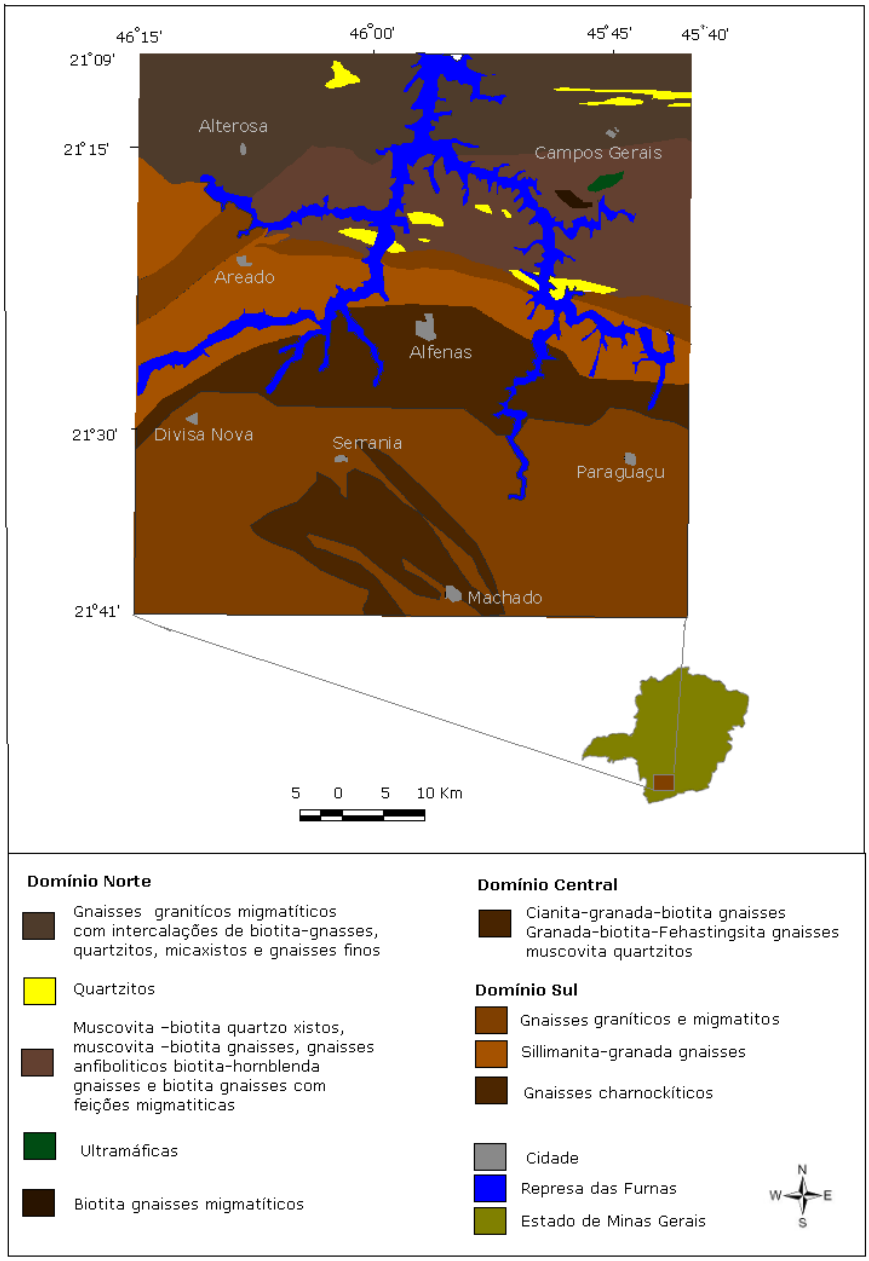


Figura 29: Mapa Litológico da região de Alfenas – MG. Fonte: GASPAR JÚNIOR, 2010

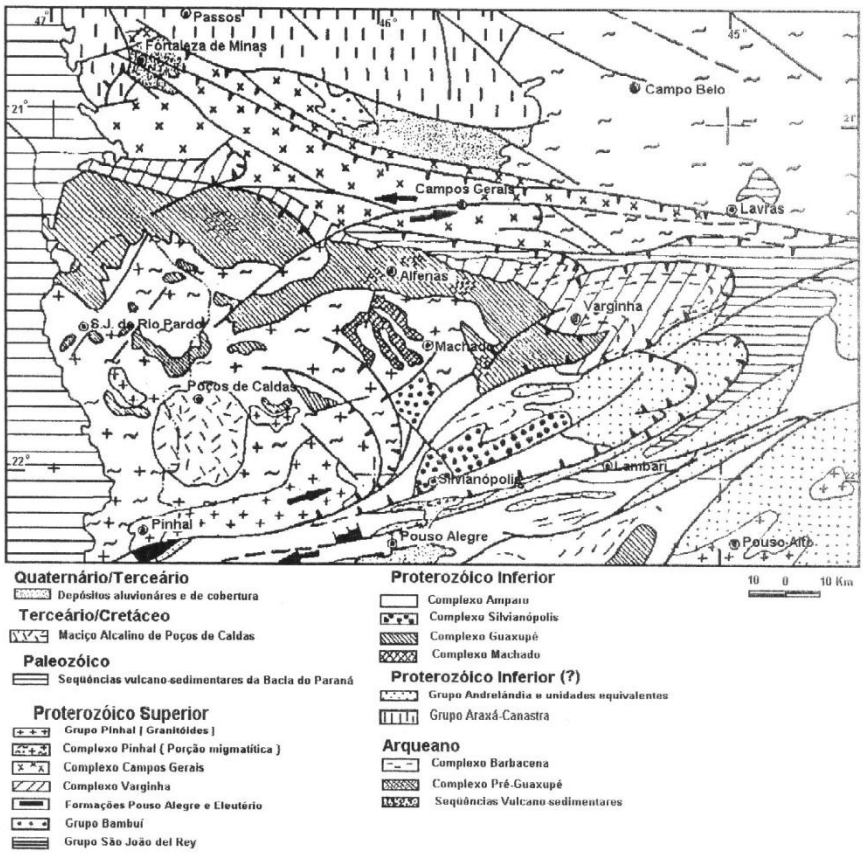


Figura 30: Mapa Geológico da Região de Alfenas. Fonte: ALMEIDA, 1997

4.8. Geomorfologia

Um dos principais objetivos para se realizar as propostas deste trabalho, é o conhecimento acerca das características geomorfológicas da área de estudo. Conforme já descrito anteriormente, parâmetros morfométricos e a descrição das formas orientam a compreensão da dinâmica da paisagem. Esses parâmetros permitem também que se analisem propensões do terreno e de seu material superficial à erosão. Para analisar o relevo da sede de Alfenas, recorreu-se à abordagem taxonômica de Ross (1992), sendo que o 5º táxon está abordado na descrição de cada tipo de relevo. Já o 6º táxon está abordado na análise dos processos erosivos.

1º Táxon:

Na descrição das características geológicas e regionais da geomorfologia de Alfenas, apresenta-se a Morfoestrutura.

De forma sintética, para atender à demanda da análise do táxon, aponta-se que a região de Alfenas ocupa o setor central da Província Tectônica Mantiqueira, situando-se a sul do Cráton do São Francisco, inserida no limite norte da Cunha de Guaxupé, de formato

triangular, encontrada no sul de Minas Gerais (HASUI, 1988, apud GASPAR JÚNIOR, 2010). Está delimitada por extenso lineamento, a Zona de Cisalhamento Varginha (ZCV), de direção WNW-ESSE, inserida num domínio que equivale ao Complexo Varginha, constituído por rochas ortoderivadas de composição granítica, charnockitos e gnaisses com granada e sillimanita. A região de Alfenas ocupa o setor central da Província Tectônica Mantiqueira, situando-se a sul do Cráton do São Francisco e esta inserida no limite norte da Cunha de Guaxupé, de formato triangular, encontrada no sul de Minas Gerais (HASUI, 1988, apud GASPAR JÚNIOR, 2010). Na região, devido a sua tectônica intensa, formaram-se grandes áreas de rebaixamento que foram preenchidas por colúvios e sedimentos quaternários provenientes das alterações de gnaisses e xistos do Complexo Varginha-Guaxupé (HASUI, op. cit.).

2º Táxon

Alfenas situa-se no Planalto de Varginha ou Planalto Sul de Minas (Alto Rio Grande), conforme o qual, juntamente com o conjunto de serras faz parte do Planalto Atlântico do Sudeste (AB'SÁBER, 1975). Há a presença de relevos escalonados no contato com os Patamares da Serra da Canastra, com entalhe de drenagem profundo, seguidas de um relevo aplainado e em forma de mesas (IBGE, 2003). Esse complexo apresenta altitudes variando de 800 a 1200 metros: as áreas mais altas são resultantes do afloramento das rochas charnoquíticas em meio às colinas gnáissicas. Seu modelado é caracterizado pela dissecação homogênea e predomínio de colinas e morros algumas vezes alongados, de vertentes convexo-côncavas e de topos convexos a planos.

3º Táxon

De acordo com FERREIRA et. al. (2008) e OLIVEIRA e FERREIRA (2009), verificou-se a existência de quatro unidades de paisagem na região de Alfenas (Figura 31). Os fatores determinantes foram: formas de relevo, hipsometria, cobertura vegetal e uso do solo. Na área estudada, as unidades de paisagem reconhecidas foram: Geossistema I – Colinas Amplas de Furnas; Geossistema II – Morros Convexos de Alfenas-Machado; Geossistema III – Morros e Montanhas de Serrania; Geossistema IV – Cristas Alongadas de Campestre-Serrania.

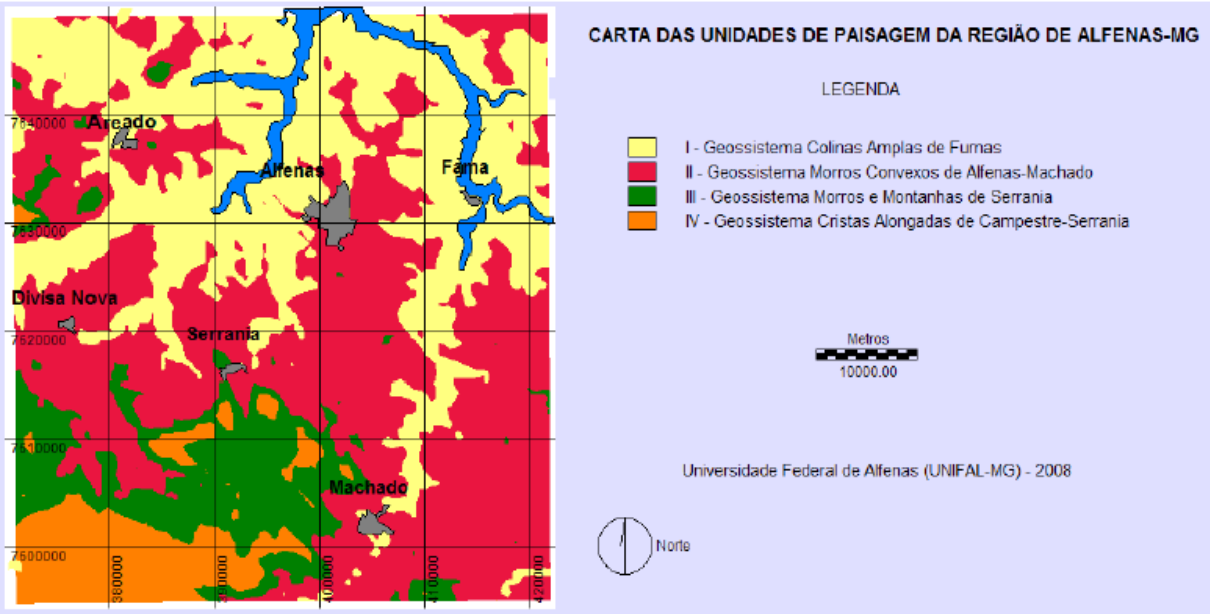


Figura 31: Carta das Unidades de Paisagem da Região de Alfenas – MG (FERREIRA et al., 2008 e OLIVEIRA e FERREIRA, 2009)

Inseridas nos geossistemas estão definidas as geofácies:

- Geossistema I - Geofácie de Planícies Fluviais e Geofácie de Colinas;
- Geossistema II - Geofácie de Morros Convexos e Geofácie de Morros e Morrotes Dissecados;
- Geossistema III - Geofácie de Morros Residuais e Geofácie de Morros e Montanhas;
- Geossistema IV - Geofácie de Cristas Alongadas com Afloramentos Rochosos.

(OLIVEIRA e FERREIRA, op. cit.)

Os autores mostram que o sítio urbano de Alfenas insere-se em duas unidades de paisagem, as Colinas Amplas de Furnas e os Morros Convexos de Alfenas-Machado. Há um contraste nítido na configuração fisiográfica destas duas unidades. A primeira unidade é composta por um mosaico de formas com interflúvios largos, pouco dissecados e planícies de inundação relativamente extensas. Estas formas apresentam rampas contínuas e bases côncavas com material coluvionar. Os solos são espessos, apresentando um grau de alteração profundo, sendo frequente a presença de terracetes ao longo da superfície topográfica destas colinas, onde ocorrem processos de rastejo. Na segunda unidade, a dissecação fluvial é densa compondo um mosaico de interflúvios de topos arredondados e vertentes convexo-côncavas por vezes retilíneas, com interflúvios estreitos a arredondados. Comumente, o desenvolvimento de formas côncavas na base dos morros, se configura num conjunto de anfiteatros de erosão colmatados por materiais coluvionares provindos das áreas mais

elevadas, interdigitados pelos materiais aluvionares das planícies fluviais. Nestes anfiteatros o ambiente é úmido com solos profundos e intemperizados associado a uma cobertura vegetal mais densa.

É importante observar que o arranjo geométrico do relevo de morros convexos mostra uma direção N-S bem marcada, resultado da imposição e dissecação do córrego da Pedra Branca, o qual, possivelmente está condicionado por lineamentos estruturais neste mesmo sentido. O mesmo ocorre com os morros angulosos ao sul da área, resíduos de uma superfície topográfica mais elevada. Já as colinas apresentam nos sopés rampas coluvionares, sendo marcadas pela presença dos cursos d'água que retrabalham as formas. A altitude dificilmente passa os 860m, partindo dos 780m. Grande parte do sítio urbano está assentado sobre os relevos de morros convexos e colinas. Historicamente, a ocupação da área urbana de Alfenas deu-se a partir dos topos dos morros e foi acompanhando as colinas em direção às planícies dos córregos do Chafariz, Boa Esperança, Pedra Branca e Estiva.

- 4º Táxon

Foram definidas cotas altimétricas que orientassem a distribuição de compartimentos de formas (Quadro 09).

FAIXAS ALTIMÉTRICAS	DOMÍNIO GEOMORFOLÓGICO
760-800m	Corresponde ao domínio das planícies fluviais dos principais rios da área: do Pântano, da Pedra Branca, da Estiva, do Chafariz, Boa Esperança, Cachoeira.
800- 860m	Corresponde ao domínio dos relevos de colinas com vales encaixados pelos principais rios da área.
860 - 900m	Domínio dos relevos de morros de topos convexos
900 ou mais	Corresponde aos relevos mais restritos e elevados da área, de morros angulosos, localizados a sul da cidade de Alfenas

Quadro 09: Faixas altimétricas definidas para o trabalho de análise das formas de relevo

Essas faixas foram descritas em sistema de informações geográficas para geração de um modelo numérico que orientasse a análise. A interpolação das faixas sobre a base da planta cadastral pode ser observada na Figura 32.

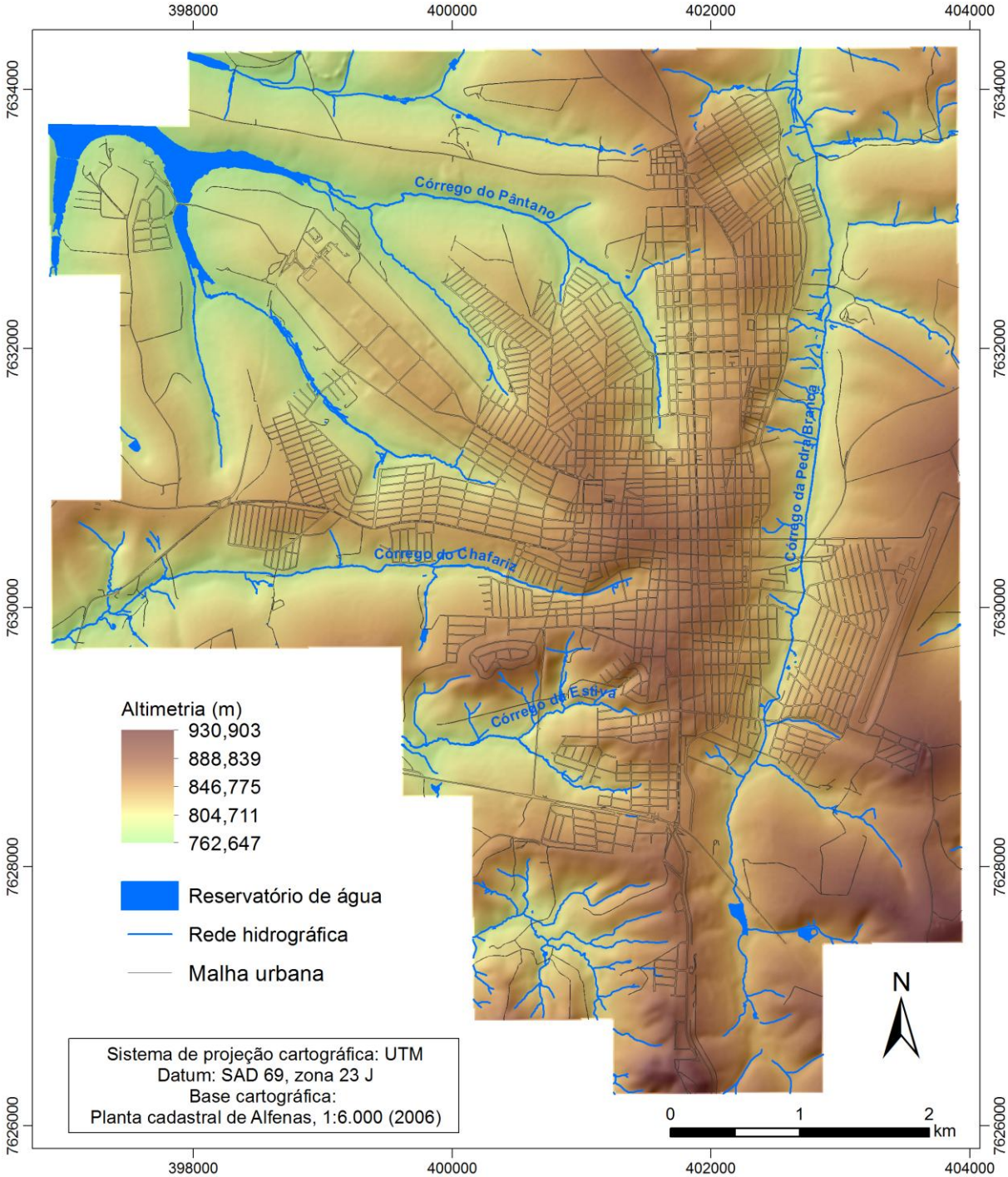


Figura 32: Hipsometria da área da sede de Alfenas – MG

Pela hipsometria, conforme Quadro 09 e Figura 32, percebe-se que o setor Sul da área de estudo é, de fato, o que apresenta as maiores altitudes, com topos acima de 940 m, enquanto os setores noroeste e norte abrigam altitudes menos pronunciadas, com distribuição de 760 a 820 metros. Altitudes de 880 metros aparecem no setor central da área de estudo, de forma que as altitudes menores decorrem em virtude da presença de vales dos córregos da cidade, especialmente, o Córrego da Pedra Branca e o Córrego do Chafariz.

Além da hipsometria, a análise da declividade (Figura 33) da área foi realizada, para contemplar a demarcação de formas e analisar o potencial de fragilidade. A declividade consiste não só em um importante parâmetro de análise morfométrica, mas também como um instrumento que indica a possibilidade de erosão. Atribuíram-se percentuais de declividade, de acordo com a inclinação do terreno.

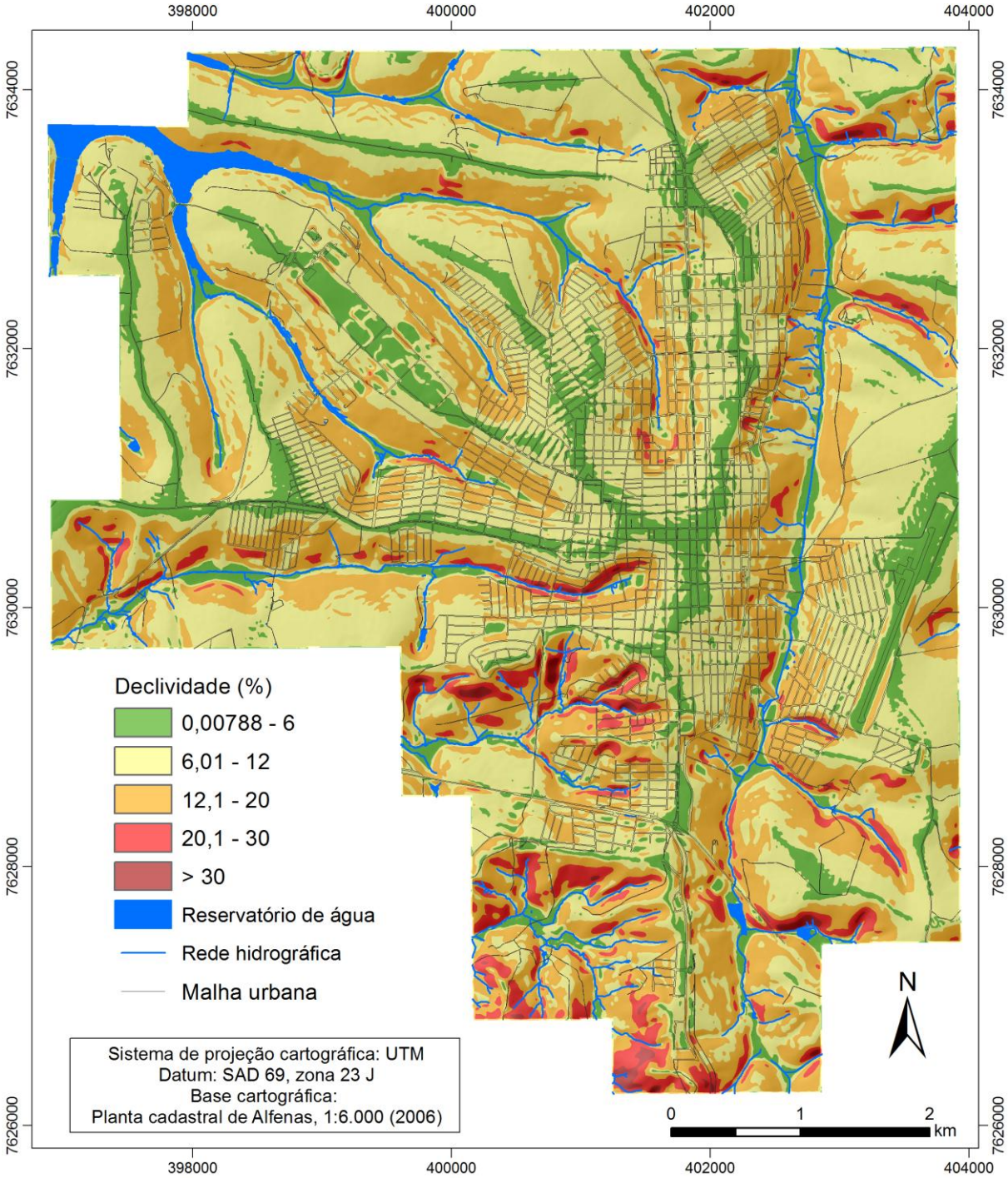


Figura 33: Clinografia da área da sede de Alfenas – MG

Ao analisar a carta clinográfica (Figura 33), identificam-se maiores declividades concentradas junto a cabeceiras de drenagem e a nascentes, além de encostas em áreas mais elevadas com declividades acima dos 30%, onde há ocupação - conforme Ross (1992), as áreas que apresentam declividades maiores que 30% são as que apresentam maior fragilidade ambiental.

A presença de altas declividades no setor sul da área é explicada, justamente, por esse setor tratar-se da porção mais elevada da área de estudo, onde existem nascentes, a partir das quais pequenos tributários dos córregos da cidade escoam, promovendo erosão sobre afloramentos gnáissicos.

Já as áreas de baixa declividade localizam-se em áreas junto às margens dos córregos do Reservatório da UHE de Furnas, onde se verá o desenvolvimento de planícies. Além das margens, as planícies dos principais córregos possuem uma declividade bastante baixa, com menos de 6%. Os topos dos morros convexos possuem também declividades baixas - bairros centrais da cidade de Alfenas assentam-se sobre essas áreas de topos com baixas declividades.

A confluência dessas informações pode ser percebida no Modelo Tridimensional do Terreno (Figura 34). Nele estão em evidência as elevações mais pronunciadas das formas no setor Sul e o aplainamento dos interflúvios dos morros. Também é visível o estreitamento dos interflúvios nas áreas com encostas mais íngremes, semelhante ao que ocorre nas áreas de nascentes.

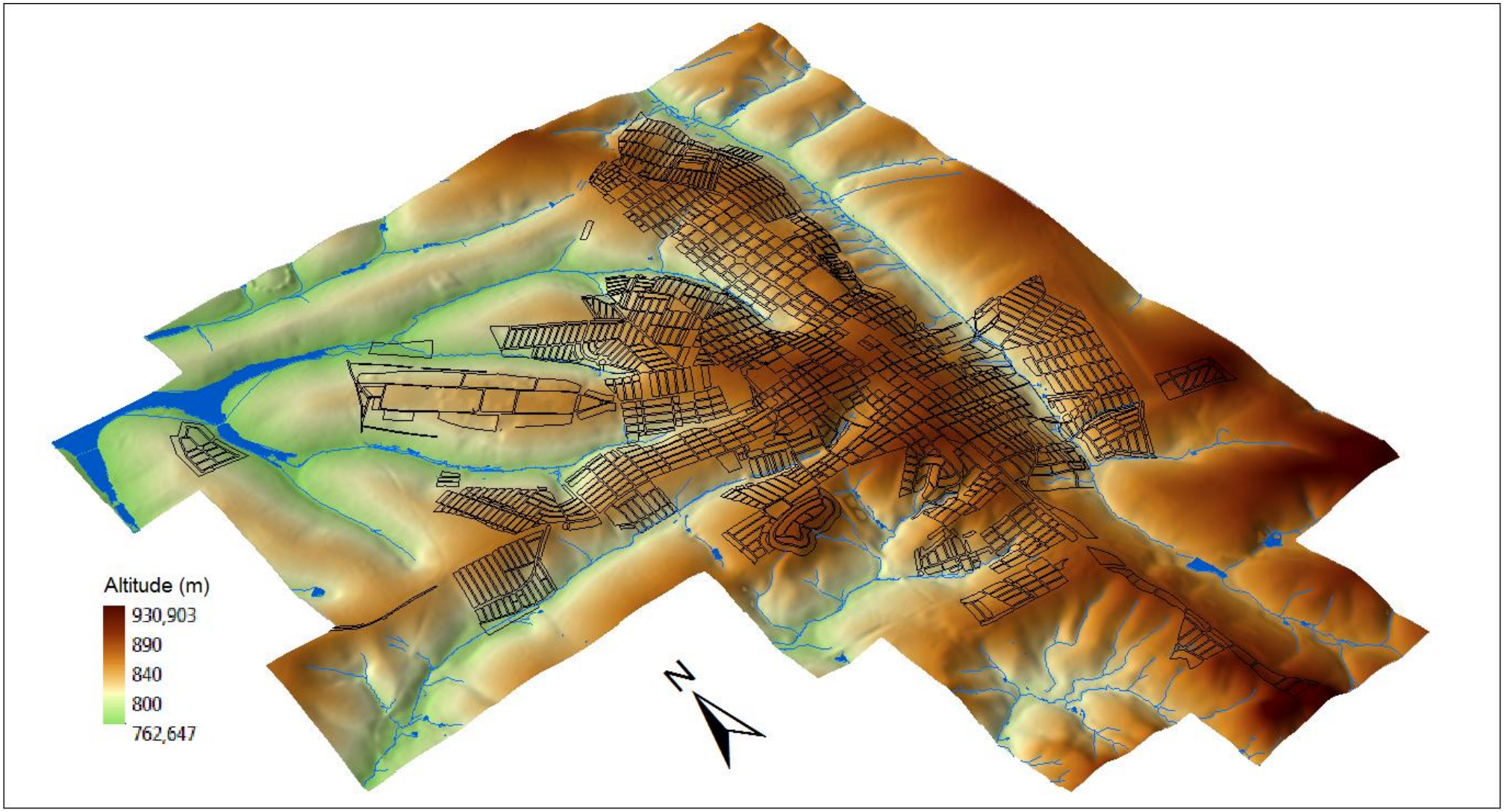


Figura 34: Modelo de Terreno Tridimensional da área da sede de Alfenas e região do entorno imediato

Com a verificação da hipsometria (Figura 32) e da declividade (Figura 33) da área, aliada ao que está demonstrado no modelo tridimensional, acrescenta-se a amplitude das formas (tomando para isso a diferença entre a altitude dos topos e do talvegue dos cursos hídricos) e análise da dissecação do relevo, que serão tratados detalhadamente na descrição dos tipos de relevo – tais dados foram gerados com auxílio de SIG, principalmente, por meio de comandos de extração de parâmetros de rede de drenagem e de bacias hidrográficas, determinação de fluxos dos cursos e tamanho dos cursos. Assim, aponta-se que o padrão de formas de onde está a sede de Alfenas seja colinoso e de morros, tal qual FERREIRA et. al. (2008) e OLIVEIRA e FERREIRA (2009) indicaram.

O relevo de Alfenas, de maneira geral, apresenta dissecação baixa, e seus cursos hídricos não descrevem fortes entalhamentos, salvo as exceções observadas nos compartimentos de morros. Dessa maneira, a compartimentação não reproduz uma gama diversa de conjuntos, tendo em vista a relativa homogeneidade morfológica.

Foram definidos os seguintes tipos de relevo:

a) Morros angulosos;
b) Morros convexos;
c) Colinas;
d) Planícies.

A análise dos 5º e 6º táxons é feita sobre cada tipo de relevo definido. O 5º táxon corresponde aos setores ou elementos ou partes de cada uma das formas de relevo identificadas e individualizadas em cada um dos conjuntos de padrões de formas. O 6º Táxon relaciona-se com as formas menores, derivadas dos processos atuais (sulcos, ravinas, voçorocas, deslizamentos etc.) ou ainda formas originadas pela ação do homem (assoreamentos, cortes, aterros). A isso, somar-se-ão os resultados obtidos dos ensaios geotécnicos.

5. PROCESSOS EROSIVOS: TIPO DE RELEVO E MATERIAL SUPERFICIAL

Com auxílio da carta de fragilidade potencial ambiental (Figura 35), identificam-se as áreas que, naturalmente, apresentam condições favoráveis ao acontecimento de processos erosivos, confluindo-se os diferentes tipos de uso e a declividade.

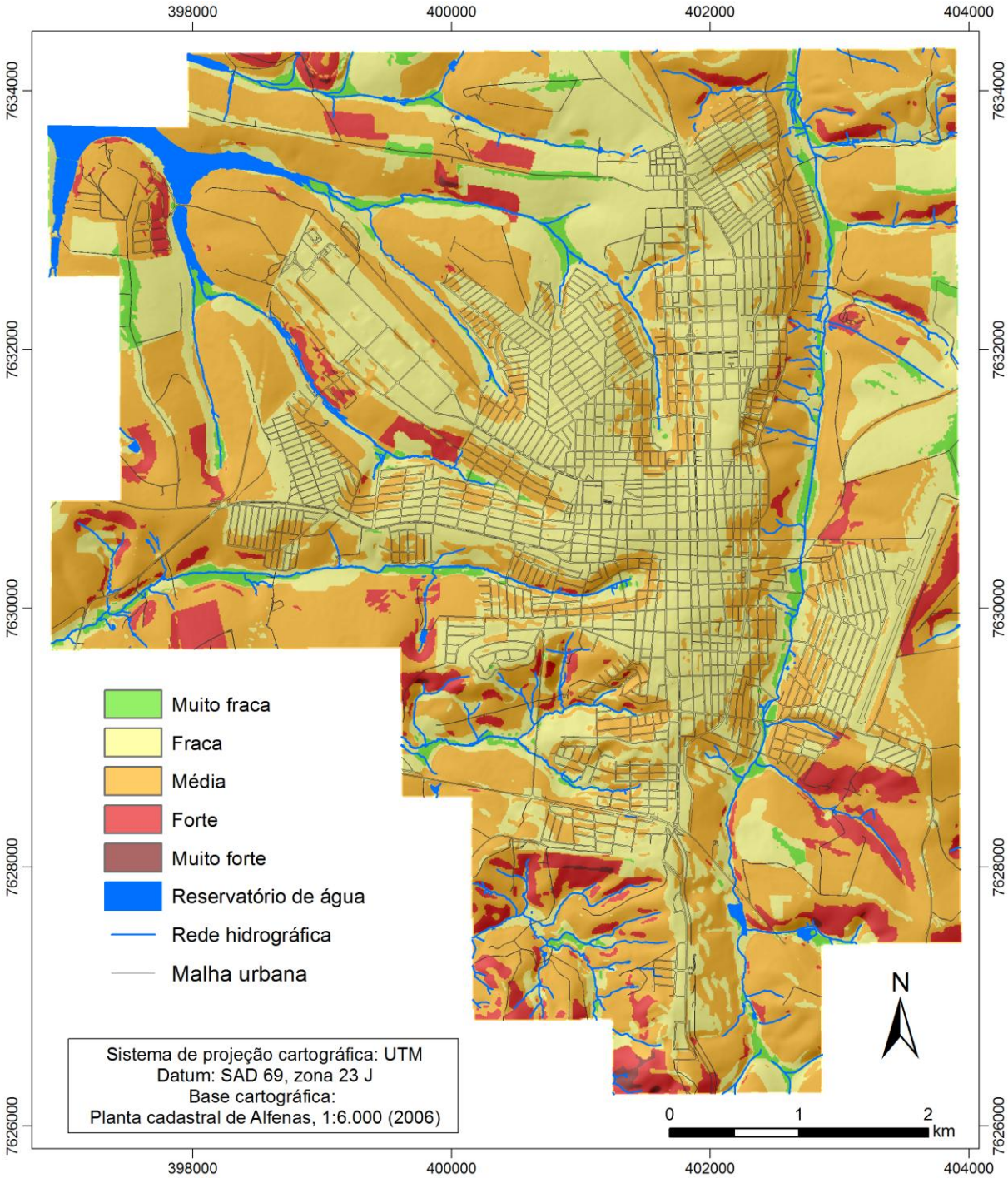


Figura 35: Fragilidade Ambiental Potencial da área da sede de Alfenas - MG

Sobre cada tipo de relevo definido, discutem-se suas características e analisa-se a suscetibilidade do terreno aos processos erosivos. A caracterização da morfologia perpassa o padrão de formas, a morfometria analisada, a forma das vertentes, a fragilidade ambiental potencial e a ocupação antrópica. Além disso, estão apresentadas as características dos materiais superficiais de cada tipo de relevo, com os dados obtidos nos ensaios geotécnicos. Tais ensaios consistiram na observação *in situ* (ensaios de campo) da textura, da estrutura e da porosidade dos materiais; e na análise em laboratório da textura, pela análise granulométrica, da liquidez (pelo Limite de Liquidez – LL – e pelo Índice de Liquidez – IL), da plasticidade (pelo Limite de Plasticidade – LP – e pelo Índice de Plasticidade – IP) e da consistência (pelo Coeficiente de Consistência – Cc), mediante o Limite de Atterberg.

As relações existentes entre as feições deposicionais e erosivas, formas de vertentes e compartimentos apresenta-se no mapa de feições erosivas e deposicionais e compartimentos de relevo (Figura 36 e Apêndice A).

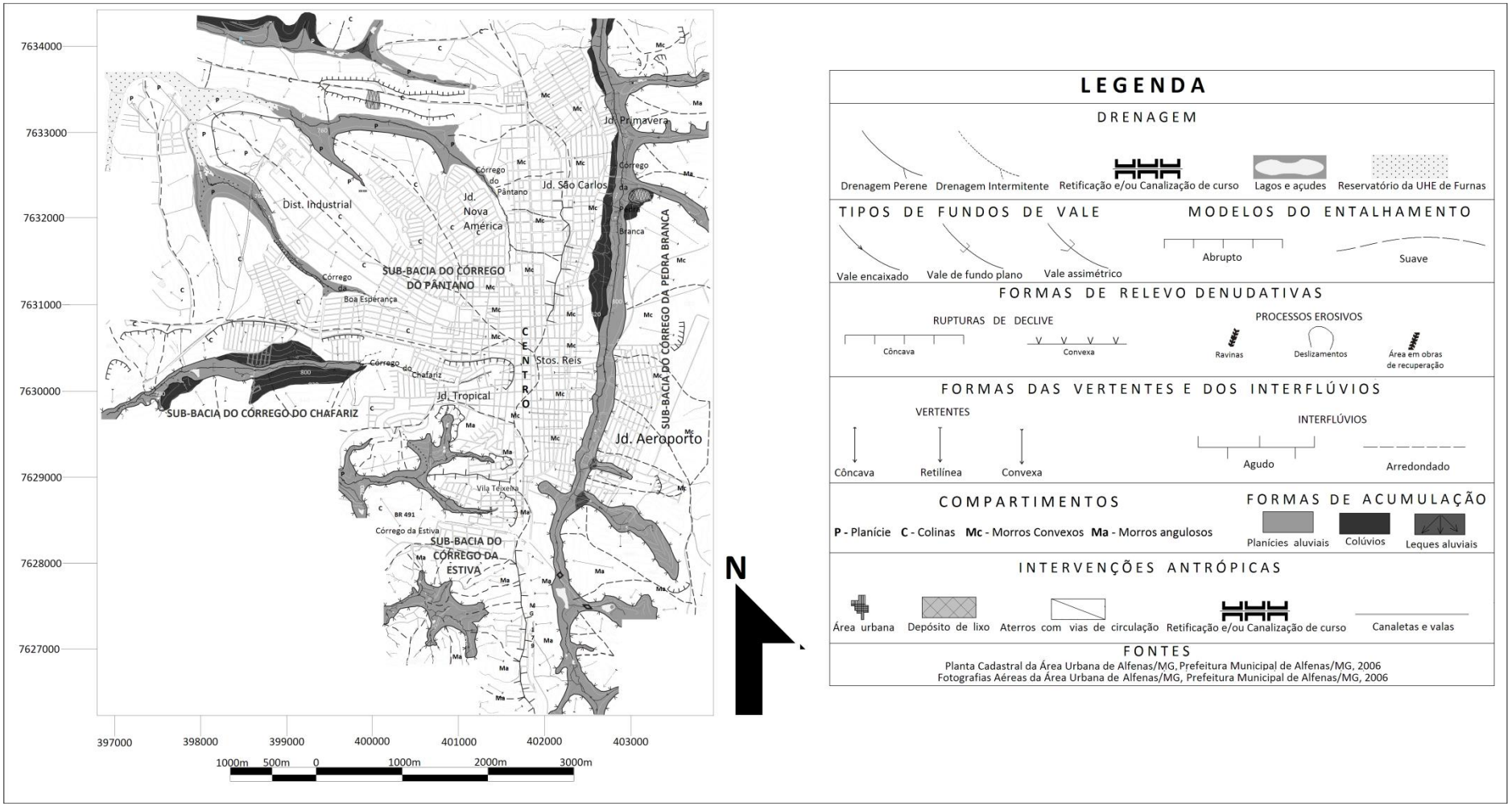


Figura 36 – Compartimentação do relevo, feições erosivas e deposicionais da área da sede de Alfenas - MG

5.1. Planícies aluviais

São comuns as altitudes de 760 a 800 metros – nem sempre atingindo esta altitude -, de modo que seja possível observar sua presença incrustada no compartimento de colinas. São poucos os topos onde se tomam como referência para sua determinação, do que decorre afirmar que consiste em formas pouco dissecadas (Figuras 37 e 38). A declividade média desse tipo de relevo é de cerca de 8%, podendo chegar até 12%.

Figura 37: Planície

Figura 38: Transição de colinas para planícies

As planícies ocorrem onde se observam as ordens maiores da hidrografia, estando associadas à presença do Reservatório da UHE de Furnas ou pelos canais que se tornam de 2ª ou de 3ª ordens. A sub-bacia onde mais se observa o conjunto de planícies é a do Córrego do Pântano.

Estão presentes feições de acumulação do tipo leques aluviais. Esses leques encontram-se localizados ao longo dos cursos d'água no momento em que estes deságuam no domínio das planícies, quando se espraiam em forma de cunha até atingir o rio principal. A ação erosiva fluvial carregou os sedimentos aluviais a partir de compartimentos mais elevados. São encontrados poucos seixos pedregosos e volumes maiores de areia fina e argila, além de resíduos orgânicos que constituem os aglomerados.

É fato que as planícies encontram-se atingidas pela expansão da mancha urbana, como é o caso da planície do Córrego da Pedra Branca, do Chafariz e do Córrego da Boa Esperança. Também se verifica que as planícies apresentam degradação decorrente da ocupação em fundos de vale. O Córrego da Pedra Branca é um exemplo notável disso e segue escavando seu vale até atingir a área de planícies, onde passa a ser um curso de 3ª ordem, na medida que recebe mais tributários.

5.1.1. Caracterização mecânica dos materiais superficiais das planícies aluviais

O material superficial das planícies constitui-se, predominantemente, de frações arenosas. O perfil do solo não apresenta diversidade de perfis, com forte presença de matéria orgânica e grãos subangulares e estrutura com baixa presença de aglomerados. A partir dos dados do ensaio de granulometria (Quadro 10), observa-se que 94,65% do material das planícies é arenoso, com 4,17% de silte e argila. Predominam areias médias, com teor de 60,56%. Isso permite dizer que as planícies são compostas por materiais leves, de fácil transporte. A fração de pedregulho fino corresponde a apenas 1,25% da amostra, haja vista que o material dessa fração é conduzido ao leito dos córregos e transportado por ação hídrica.

Malha (N.º)	Diâmetro (mm)	Massa (g) retida na peneira	Porcentagem (%) – granulometria
# 10	2,00	1,25	1,25% - pedregulho fino
# 30	0,59	9,75	9,75% - areia grossa
# 40	0, 42	17,62	17,62% - areia grossa
# 60	0,250	19,13	19,13% - areia média
# 120	0,125	41,34	41,43% - areia média
#270	0,053	6,72	6,72% - areia fina
PRATO	-	4,17	4,17% - silte e argila

Quadro 10: Distribuição granulométrica da amostra em planícies

A declividade das planícies, que é baixa, e os dados dos ensaios de laboratório conduzem à conclusão de que a propensão das planícies à erosão está sujeita à dinâmica fluvial, com baixa participação da gravidade. A granulometria substancialmente arenosa indica, sim, que a dinâmica erosiva atua no compartimento, tanto que sua gênese está ligada a essa dinâmica, ainda que com maior ação do processo de depósito de material.

Pelos Limites Atterberg, o material superficial das planícies passa para o estado líquido quando conta com 65,53% de umidade, passando para o estado plástico à porcentagem de 15,73%, de acordo com os dados de LL e LP. O estado plástico do material das planícies é substancialmente maior que o líquido, podendo ser classificado como altamente plástico. A consistência do material é dada pelo Cc 0,49977, sendo classificado como plástico mole.

Os dados obtidos nos ensaios de Liquidez, Plasticidade e Consistência constam nos Quadros 11, 12, 13 e 14 e na figura 39.

LIMITE DE LIQUIDEZ (LL) – PLANÍCIES ALUVIAIS					
Recipiente n.º	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**
Solo + Tara + Água (g)	13,76	10,63	14,92	12,48	14,09
Solo + Tara (g)	11,3	8,93	11,8	10,25	11,65
Tara (g)	7,17	6,30	6,87	7,06	8,18
Massa d'água (g)	2, 46	1, 70	3, 12	2, 23	2, 44
Massa de sólidos (g)	4, 13	2, 63	4, 93	3, 19	3, 47
Teor de umidade %	59, 56	64, 63	63, 28	69, 90	70, 31
N.º de golpes	55	46	25	16	7

Quando 11: Dados do Limite de Liquidez (LL) de planície aluvial

LIMITE DE PLASTICIDADE (LP) – PLANÍCIES ALUVIAIS			
Recipiente n.º	**06**	**07**	**08**
Solo + Tara + Água (g)	20,29	21,64	24,15
Solo + Tara (g)	15,67	16,57	18,11
Tara (g)	8,04	7,56	7,49
Massa d'água (g)	4, 62	5, 07	6, 04
Massa de sólidos (g)	8, 24	9, 01	10, 62
Teor de umidade %	4, 62	5, 07	6, 04

Quadro 12: Dados do Limite de Plasticidade (LP) das planícies aluviais

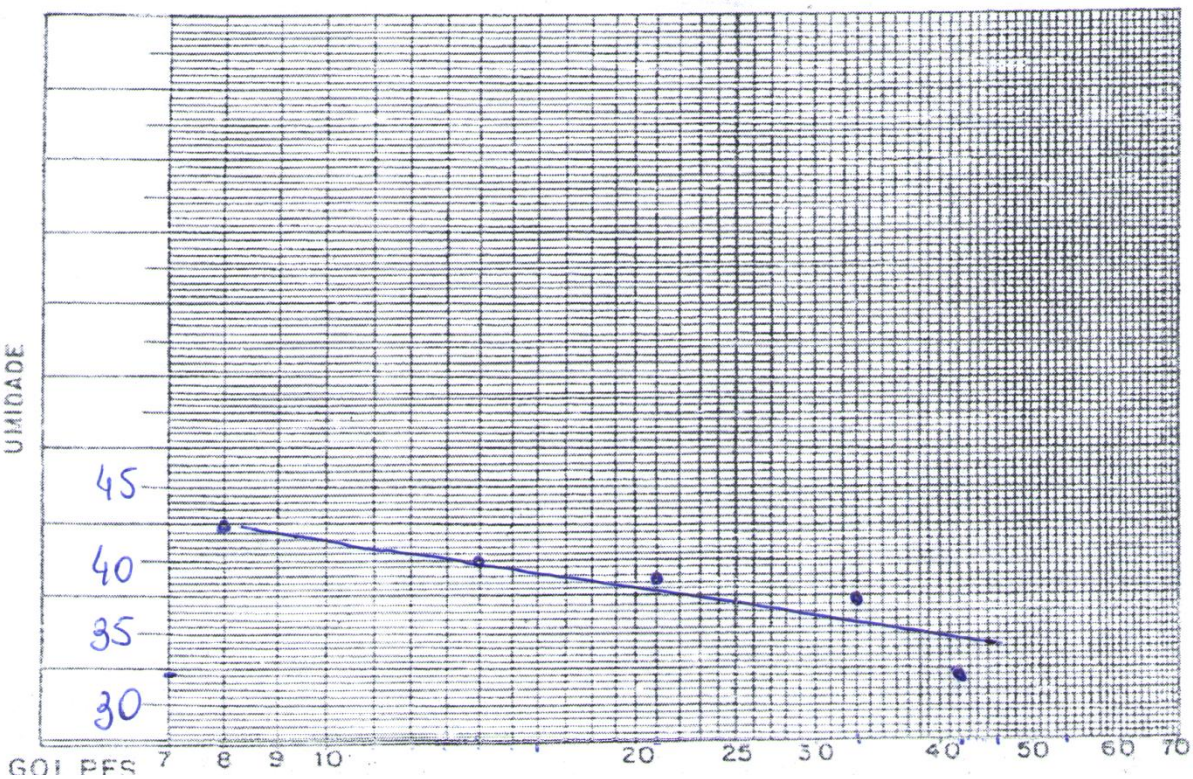


Figura 39: Gráfico da Curva do Limite de Liquidez das planícies aluviais

Limite de Liquidez (LL) %	65,53
Índice de Liquidez (IL) %	63
Limite de Plasticidade (LP) %	15,73
Índice de Plasticidade (IP = LL – LP): 49,8%	
ALTAMENTE PLÁSTICO	

Quadro 13: Índice de Plasticidade de planície aluvial

ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (Cc)
0,49977 **PLÁSTICO MOLE**

Quadro 14: Índice de Consistência em planície aluvial

Aplicando-se o modelo de pares de suscetibilidade de erosão, têm-se o par 3.1.c, que indica materiais de plasticidade alta, localizados em áreas de baixa declividade, com textura arenosa, denunciando suscetibilidade forte à erosão, devido ao fato de que processos erosivos provenham, predominantemente, de saturação. Assim, fatores naturais sobrepõem-se aos antrópicos na deflagração de processos erosivos no compartimento. Ao analisar a confluência dos dados, verifica-se que as planícies tratam-se de uma área potencial e realmente frágil, onde ocorrem processos de agradação, com acúmulo de sedimentos. O ideal seria que o compartimento de planícies não fosse ocupado.

5.2.Colinas

No compartimento de colinas, as altitudes dificilmente passam os 860m, partindo dos 780m e dos 800m, com amplitudes médias de 60m (Figura 40).

Figura 40: Vista geral de colinas a partir de interflúvio da sub-bacia do Córrego do Pântano. Há ocupação de um aterro de lixo controlado, além de pastagens, silvicultura e vegetações ciliares remanescentes na sub-bacia do Córrego do Pântano. Ao fundo, o Distrito Industrial.

A maior parte do compartimento apresenta declividades em torno de 12%, excetuando-se topos, com declividades mais baixas, de até 6% (Figura 41).

Figura 41: Vista de colina com topo de baixa declividade na sub-bacia do Córrego do Pântano. Observam-se desmatamentos e preparos para pastagens, além de silvicultura de eucalipto ao fundo.

Embora o compartimento apresente essa configuração clinográfica geral, aparecem vertentes côncavas e reto-côncavas com declividades médias, de 12% e 15%, e elevadas, de 20% até 40% junto às cabeceiras, além da presença de anfiteatros de erosão, em porções convexas de topos amplos. A dissecação desse conjunto é fraca, com entalhamento também fraco, excetuando porções à montante. Nas colinas, evidenciam-se formas reliquiais, indicando a presença de material mais resistente à erosão. Oliveira (2010) havia definido essas formas como *morrotes*, mas suas medidas correspondem às colinas.

As colinas convexo-côncavas apresentam rampas coluvionares nos sopés, sendo marcadas pela presença dos cursos d'água que retrabalham as formas. Nessas áreas, encontram-se, predominantemente, areias de formato subangular e arredondado, com aglomerados de material orgânico e argila. Nas vertentes, há material pedogeneizado, caracterizando um solo mais espesso.

A ocupação das colinas deu-se conforme a expansão urbana a partir da década de 1950, atingindo seu ápice com loteamentos realizados no final da década de 1970. A presença da população intensificou-se ao longo das décadas de 1980 e de 1990 e ainda vem ocorrendo (PREFEITURA MUNICIPAL DE ALFENAS, 2014). Observa-se a instalação de vias principais de circulação (como avenidas) nos interflúvios das sub-bacias presentes nas colinas, além do Distrito Industrial da cidade, enquanto o uso residencial, além de ser o de maior presença, desenvolve-se pelas vertentes em direção aos fundos de vale e continua para o compartimento de planícies.

5.2.1. Caracterização mecânica dos materiais superficiais das colinas

A textura do material encontrado nas colinas é arenosa. A partir dos dados obtidos, observa-se que 67,75% do material de colinas é arenoso, até porque a presença de silte e argila é bastante baixa – de 3,75% -, o que permite afirmar a ocorrência de processos de erosão. A fração de pedregulho fino corresponde 23,25%, o que significa a presença de material incosolidado de áreas mais elevadas – assim, conclui-se que houve transporte de materiais para formar as colinas de Alfenas. E as frações de areia grossa correspondem à maior parte dos materiais. A textura dos materiais indica que, de fato, processos erosivos operaram no transporte desses materiais. Os dados da análise granulométrica constam no quadro 15.

Malha (N.º)	Diâmetro (mm)	Massa (g) retida na peneira	Porcentagem (%) – granulometria
# 10	2,00	23,25	23,25% - pedregulho fino
# 30	0,59	18,13	18,13% - areia grossa
# 40	0, 42	22,54	22,54% - areia grossa
# 60	0,250	13,95	13,95% - areia média
# 120	0,125	7,75	7,75% - areia média
#270	0,053	5, 38	5,38% - areia fina
PRATO	-	3,75	3,75% - silte e argila

Quadro 14: Distribuição granulométrica em colinas

Conforme os ensaios de Liquidez e de Plasticidade – Limites de Atterberg -, o material passa para o estado plástico quando conta com 34,98% de umidade, atingindo o estado líquido à porcentagem de 38,29%, índices menores que os encontrados nos morros. Dessa forma, pode-se classificá-lo como um material de plasticidade baixa – material pouco plástico também. Calculando-se o Índice de Consistência, obteve-se o valor de 0,25461, de forma que sua consistência fosse classificada como plástica mole, caracterizando um material menos consistente que o de morros.

Os resultados dos Limites de Atterberg constam nos Quadros 16, 17, 18 e 19 e na Figura 42.

LIMITE DE LIQUIDEZ (LL) – COLINAS					
Recipiente n.º	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**
Solo + Tara + Água (g)	15,99	16,93	21,67	20,54	23,57
Solo + Tara (g)	10,35	8,93	11,8	11,25	13,29
Tara (g)	7,17	6,30	6,87	7,06	8,18
Massa d'água (g)	2, 46	1, 70	3	2, 23	2, 10
Massa de sólidos (g)	3, 18	2, 63	4, 93	4, 19	5, 11
Teor de umidade %	32, 17	37, 82	38, 14	40, 17	43, 17
N.º de golpes	42	33	21	14	8

Quando 16: Dados do Limite de Liquidez de colinas

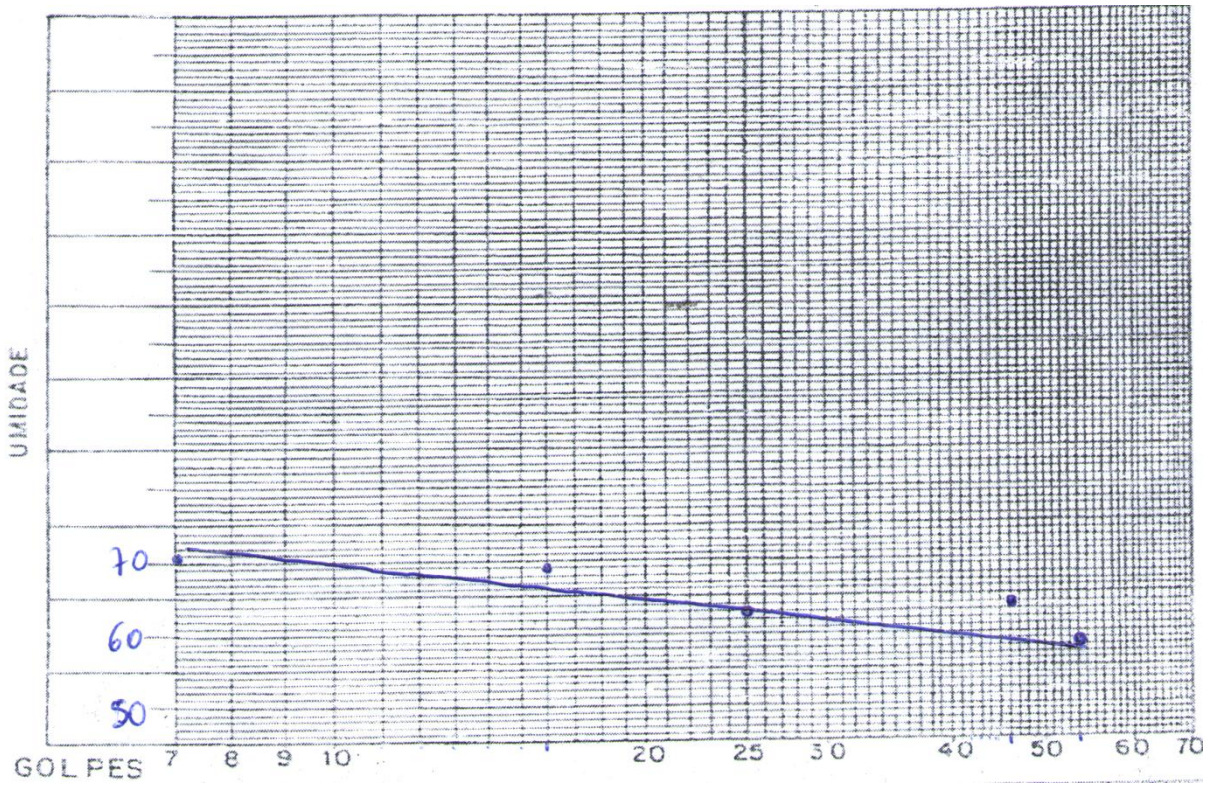


Figura 42: Gráfico da curva do Limite de Liquidez do compartimento de colinas

LIMITE DE PLASTICIDADE (LP) – COLINAS			
Recipiente n.º	**06**	**07**	**08**
Solo + Tara + Água (g)	18,82	19,3	14,66
Solo + Tara (g)	16,56	15,85	13,16
Tara (g)	8,04	7,56	7,49
Massa d'água (g)	2, 26	3, 45	1, 50
Massa de sólidos (g)	8, 52	8, 29	5, 67
Teor de umidade %	32, 22	34, 78	37, 95

Quadro 17: Dados do Limite de Plasticidade de colinas

Limite de Liquidez (LL) %	38,29
Índice de Liquidez (IL) %	32
Limite de Plasticidade (LP) %	34,98
Índice de Plasticidade (IP = LL - LP): 3,31%	
POUCO PLÁSTICO	

Quadro 18: Índice de Plasticidade de colinas

ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (Cc)
0,25461
PLÁSTICO MOLE

Quadro 19: Índice de Consistência de colinas

Foram observados movimentos rotacionais na margem direita do Córrego do Pântano nos domínios do compartimento de colinas (Figura 43).

Figura 43: Deslizamento rotacional na margem direita do Córrego do Pântano, no compartimento de colinas.

Quando se aplicam os dados ao modelo de pares, obtém-se 1.2-c, que corresponde a materiais pouco plásticos, localizados em áreas com declividade média, com textura arenosa, onde há suscetibilidade forte à erosão, pois a saturação e gravidade atuam. A confluência dos dados permite inferir que o transporte de materiais corrobora para entender o processo de formação dessas formas. As feições côncavas em cabeceiras de drenagem reforçam a ação erosiva nas vertentes das colinas, além de sulcos e deslizamentos. Notam-se, além disso, subsidências, devido à presença de turfa (Figura 44).

Figura 44 - Material caracterizado como turfa em vale do Córrego do Pântano (2009), no compartimento de colinas. Foto: Marta Ferreira (2009).

5.3.Morros convexos

A amplitude dos morros é, em média, de 60m, e as altitudes variam dos 820m aos 880m. As unidades do compartimento apresentam topos convexizados e aplainados, com baixa declividade. A dificuldade de análise da composição do material superficial do compartimento deve-se a sua forte ocupação, mas os pontos analisados permitiram identificar areias médias e finas, baixo volume de silte e argila e poucos pedregulhos. As vertentes descrevem formas convexas intercaladas por trechos reto-convexos e porções côncavas curtas na passagem do topo para a média encosta, onde existem pequenas cabeceiras de cursos

intermitentes, mas que estão ocupadas por ruas e construções. Aparecem vales pronunciados e marcados em V, e as declividades oscilam dos 12 aos 20%. As declividades se acentuam, entre 30 e 40%, na porção norte do compartimento, em decorrência da escavação da planície (Figura 45).

É importante observar que o arranjo geométrico do relevo de morros convexos mostra uma direção N-S bem marcada, resultado da imposição e dissecação do córrego da Pedra Branca, que, possivelmente, está condicionado por lineamentos estruturais neste mesmo sentido.

Figura 45: Vista geral do compartimento de morros convexos. Observa-se a ocupação intensa do compartimento sobre o topo aplainado e sobre as vertentes

5.3.1. Caracterização mecânica dos materiais superficiais dos morros convexos

Os materiais superficiais dos morros apresentam textura arenosa, sendo que 89,11% da amostra constitui-se de frações de areia. A distribuição entre areia grossa, média e fina diferencia-se. Há semelhança de teores entre a fração arenosa grossa (36,89%) e média (39,65%), sendo que a fração fina possui teor de 12,57%. A presença de silte e argila é baixa, o que pode ser explicado pelo fato de que são mais facilmente transportadas, devido ao dimensionamento menor.

Os dados obtidos no ensaio de granulometria constam no Quadro 20.

Malha (N.º)	Diâmetro (mm)	Massa (g) retida na peneira	Porcentagem (%) – granulometria
# 10	2,00	6,24	6,24% - pedregulho fino
# 30	0,59	23,47	23,47% - areia grossa
# 40	0, 42	13,42	13,42% - areia grossa
# 60	0,250	22,65	22,65% - areia média
# 120	0,125	17	17% - areia média
#270	0,053	12,37	12,57% - areia fina
PRATO	-	4,82	4,82% - silte e argila

Quadro 20: Distribuição granulométrica do material superficial de morros convexos

A observação do perfil permite perceber que há baixa diferenciação entre os horizontes, com um horizonte O pouco desenvolvido, embora exista grande quantidade de raízes de espécies de pastagens nos outros horizontes (Figura 46). A estrutura do material superficial é de agregados arredondados.

Figura 46: Perfil observado no compartimento de morros convexos

Conforme os ensaios de Liquidez e de Plasticidade (Quadros 21, 22, 23 e 24 e Figura 47), o material atinge o estado plástico quando conta com 40,63% de umidade, passando para o estado líquido à porcentagem de 43,30%. Dessa forma, pode-se classificá-lo como um material de plasticidade baixa – material pouco plástico. Calculando-se o Índice de Consistência, obteve-se o valor de 0,2997, de forma que sua consistência fosse classificada como plástica mole.

A confluência dos dados, ao inferir as informações da textura, da liquidez, da plasticidade e da consistência, portanto, permite dizer que o material dos morros convexos seja também considerado muito propenso a processos erosivos. A granulometria bastante arenosa e baixas plasticidade e consistência permitem inferir que o transporte de materiais é mais facilitado, tanto pela água como pela gravidade, uma vez que a declividade da área de amostra é mediana.

LIMITE DE LIQUIDEZ (LL) – MORROS CONVEXOS				
Recipiente n.º	**01**	**02**	**03**	**04**
Solo + Tara + Água (g)	12,08	13,89	14,66	14,1
Solo + Tara (g)	11,3	12,65	11,92	10,96
Tara (g)	7,17	6,30	6,87	7,06
Massa d'água (g)	0,78	1,24	2,74	3,14
Massa de sólidos (g)	4,13	6,35	5,05	3,9
Teor de umidade %	18,86	19,52	54,25	80,51
N.º de golpes	40	22	11	27

Quando 21: Dados do Limite de Liquidez (LL) em morros convexos

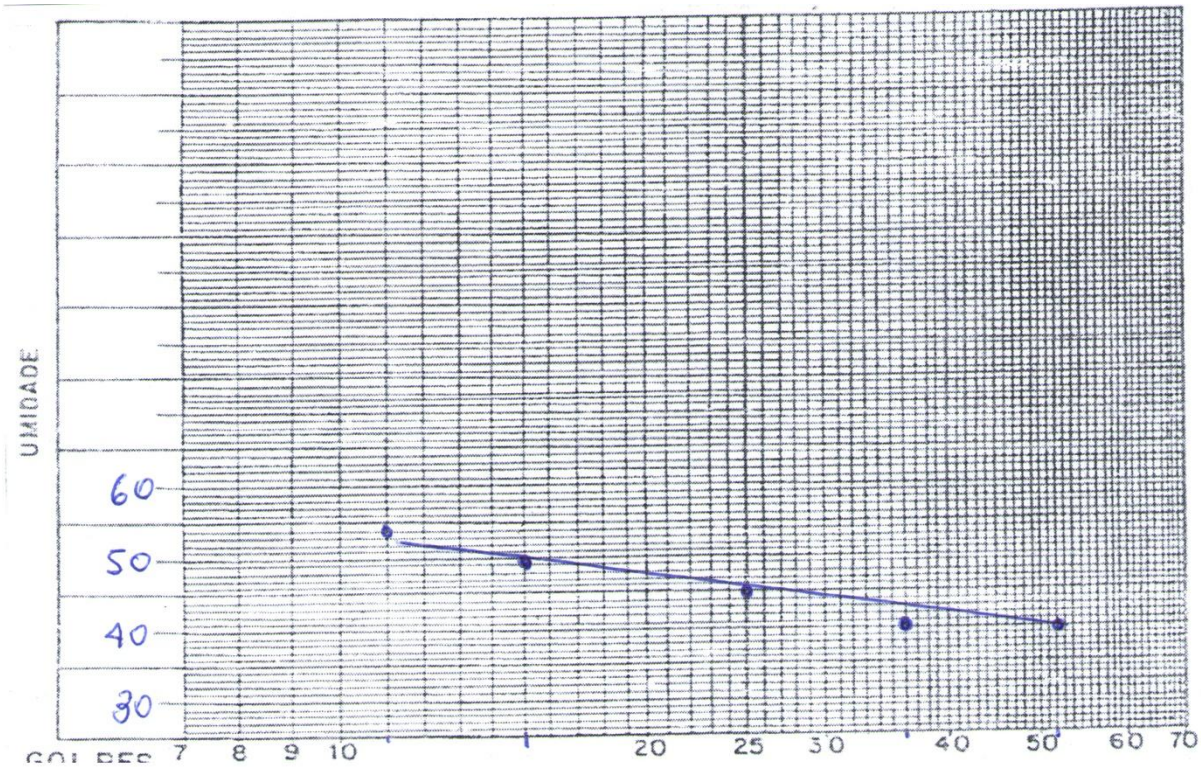


Figura 47: Gráfico da Curva do Limite de Liquidez (LL) do compartimento de morros convexos

LIMITE DE PLASTICIDADE (LP) – MORROS CONVEXOS			
Recipiente n.º	**06**	**07**	**08**
Solo + Tara + Água (g)	15,11	13,11	8,87
Solo + Tara (g)	13,93	11,68	8,72
Tara (g)	8,04	7,56	7,49
Massa d'água (g)	2,37	1,59	0,53
Massa de sólidos (g)	5,89	4,12	1,23
Teor de umidade %	40,23	38,59	43,08

Quadro 22: Dados do Limite de Plasticidade (LP) em morros convexos

Limite de Liquidez (LL) %	43,30
Índice de Liquidez (IL)%	44
Limite de Plasticidade (LP) %	40,63
Índice de Plasticidade (IP = LL - LP): 2,67%	
POUCO PLÁSTICO	

Quadro 23: Índice de Plasticidade em morros convexos

ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (Cc)
0,2997 **PLÁSTICO MOLE**

Quadro 24: Índice de Consistência em morros convexos

O par do modelo proposto que conflui as informações é o 1.2-c, que indica a presença de materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade média, com textura arenosa, apresentando suscetibilidade forte à erosão, com predomínio da saturação do material. No entanto, observa-se a ocorrência de processos erosivos correspondentes a sulcos e ravinas, movimentos rotacionais (Figura 48) e translacionais já consolidados, com largas faixas de rastejamento (Figura 49) e splash. Assim, conclui-se que a pressão exercida pela ocupação é mais impactante, em decorrência do aparecimento desses processos.

Figura 48: Deslizamento rotacional em tributário do Córrego da Pedra Branca no compartimento de morros convexos.

Figura 49: Processos de rastejo desenvolvidos em vertente no compartimento de morros convexos na sub-bacia do Córrego da Pedra Branca

Os morros convexos dizem respeito à ocupação inicial de Alfenas, onde se encontram os bairros pioneiros da cidade e o próprio centro urbano. Assim, observam-se áreas bastante alteradas, com cortes em curvas de nível para a instalação de construções ao longo das vertentes. Nota-se que o arruamento do centro da cidade foi desenvolvido sobre leitos de cursos efêmeros. Além da área urbana, observam-se pastagens e plantio de café e silvicultura de eucalipto.

5.4.Morros angulosos

O conjunto concentra-se no setor S-SE da área. O arranjo N-S também ocorre, caracterizando-se como resíduos de uma superfície mais elevada. As formas assumem um estreitamento dos interflúvios, caracterizando sua angulosidade. Neles, verificam-se, de fato, as maiores altitudes da área, ultrapassando os 930m, chegando a mais de 960m em alguns pontos e, consequentemente, as maiores amplitudes, que podem chegar até 100m, sendo que elas variam também para os 80m e 70m. Há um grande número de nascentes concentrados nessa unidade. As declividades da área são de porcentagem acima de 20% nas encostas, atingindo trechos com mais de 30%, demonstrando um potencial elevado de fragilidade. Aparecem também topos arredondados de baixa declividade, com afloramentos rochosos (Figura 50 e Figura 51).

Figura 50: Vista parcial do compartimento de morros angulosos a partir de topo com afloramento rochoso. Observa-se vegetação ciliar em nascentes do Córrego da Pedra Branca, nas imediações da rodovia MG-179 e da rodovia BR-491.

Figura 51: Morros Angulosos de Alfenas com vista para os interflúvios da Sub-bacia do Córrego da Estiva

A sub-bacia do Córrego da Estiva possui suas nascentes neste compartimento. Cita-se isso para relembrar o padrão de drenagem encontrado na sub-bacia, que pode indicar uma estrutura geológica de falhas, até mesmo pela disposição das formas. Como é possível de se observar no modelo tridimensional de terreno.

5.4.1. Caracterização mecânica dos materiais superficiais dos morros angulosos

A partir dos pontos visitados, pôde-se observar a presença de pedregulhos e areias grossas nos topos, além de afloramentos de rocha. As encostas apresentam formas convexas e reto-convexas, sendo que se suavizam na transição para o compartimento de morros convexos são recobertas por materiais ricos em areias e aglomerados de matéria orgânica e argila (Figura 52).

Figura 52: Observação de perfis no compartimento de morros angulosos.

Houve problemas para coleta e observação de materiais devido a bloqueios de infraestrutura pública, como cercas, e da não autorização de entrada em propriedades privadas.

Analisando-se os dados obtidos no ensaio granulométrico (Quadro 25), pode-se apontar que o material superficial de morros alongados seja de textura arenosa, de forma que se concentram frações arenosas grossa (50,38%) e média (24,02%), somando, assim, 74,40% de areias. De acordo com Medeiros et. al. (2006), materiais arenosos apresentam predomínio de areias em mais de 70% e teor de argila inferior a 15% (as frações de silte e de argila somam 5,6% do material).

Malha (N.º)	Diâmetro (mm)	Massa (g) retida na peneira	Porcentagem (%) – granulometria
# 10	2,00	14,82	14,82% - pedregulho fino
# 30	0,59	36,23	36,23% - areia grossa
# 40	0, 42	14,38	14,15% - areia grossa
# 60	0,250	12,65	12,65% - areia média
# 120	0,125	11,37	11,37% - areia média
#270	0,053	5, 34	6,75% - areia fina
PRATO	-	5, 59	5,59% - silte e argila

Quadro 25: Distribuição granulométrica de morros angulosos

Conforme os ensaios de Liquidez e de Plasticidade, o material atinge o estado plástico com 35,88% de umidade, passando para o estado líquido à porcentagem de 45,30%. Dessa forma, pode-se classificá-lo como um material de plasticidade média. Calculando-se o Índice de Consistência, obteve-se o valor de 0,3249, de forma que sua consistência é classificada como plástica mole. Os dados de Liquidez, Plasticidade e Consistência constam nos quadros 26, 27, 28 e 29 e na Figura 53.

LIMITE DE LIQUIDEZ (LL) – MORROS ANGULOSOS					
Recipiente n.º	**01**	**02**	**03**	**04**	**05**
Solo + Tara + Água (g)	16,51	14,85	20,79	18,29	21,84
Solo + Tara (g)	13,85	12,39	16,45	14,51	17,05
Tara (g)	7,17	6,30	6,87	7,06	8,18
Massa d'água (g)	2,66	2,46	4,37	3,78	4,79
Massa de sólidos (g)	6,68	6,09	9,58	7,49	8,87
Teor de umidade %	39,82	40,39	45,30	50,73	54
N.º de golpes	52	36	25	15	11

Quadro 26: Dados do Limite de Liquidez de morros angulosos

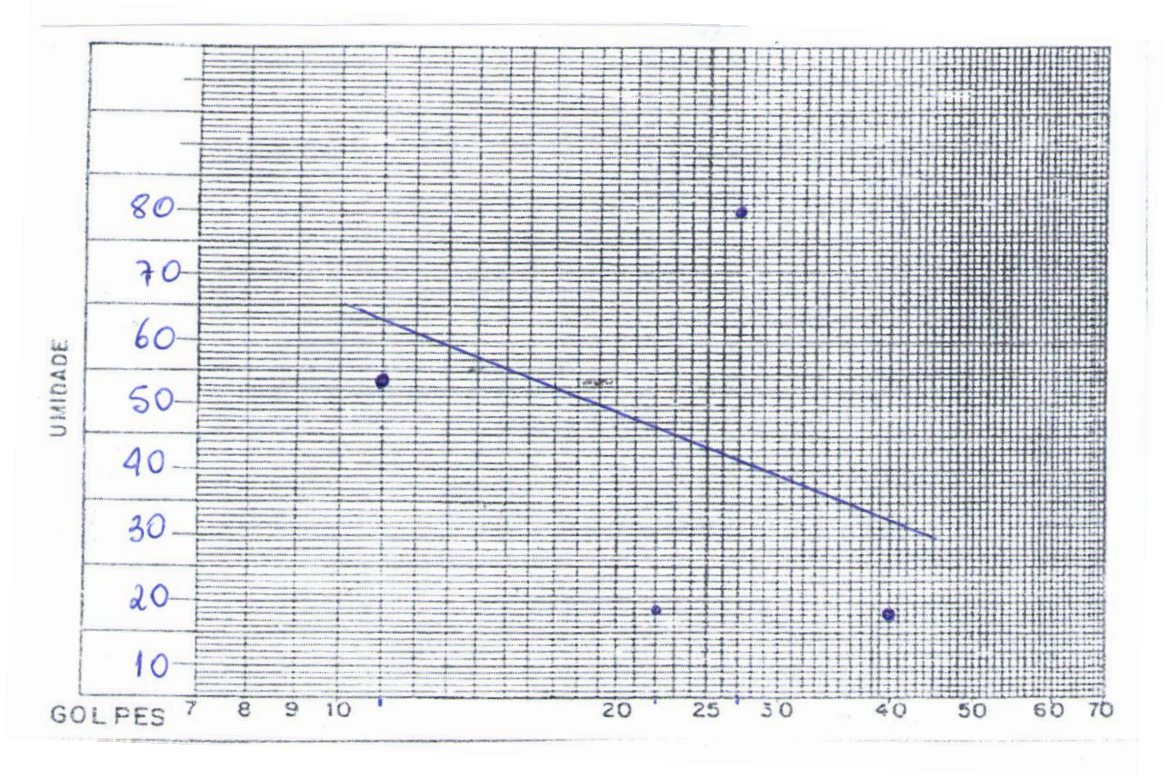


Figura 53: Gráfico da Curva do Limite de Liquidez (LL) do material superficial do compartimento de morros angulosos

LIMITE DE PLASTICIDADE (LP) – MORROS ANGULOSOS			
Recipiente n.º	**06**	**07**	**08**
Solo + Tara + Água (g)	11,82	10,57	10,43
Solo + Tara (g)	10,82	9,77	9,66
Tara (g)	8,04	7,56	7,49
Massa d'água (g)	1	0,8	0,77
Massa de sólidos (g)	2,78	2,21	2,17
Teor de umidade (%)	35,97	36,20	35,48

Quadro 27: Dados do Limite de Plasticidade de morros angulosos

Limite de Liquidez (LL) %	45,30
Índice de Liquidez (IL)%	45
Limite de Plasticidade (LP) %	35,88
Índice de Plasticidade (IP = LL – LP): 9,42%	
PLASTICIDADE MÉDIA	

Quadro 28: Índice de Plasticidade de morros angulosos

ÍNDICE DE CONSISTÊNCIA (Cc)
0,3177 **PLÁSTICO MOLE**

Quadro 29: Índice de Consistência de morros angulosos

Pelos dados, é possível indicar a ocorrência de características descritas no par 2.3-c. Daí se caracteriza o compartimento com materiais de plasticidade média, localizados em áreas de declividade média, com textura arenosa, promovendo suscetibilidade forte à erosão,

havendo atuação da saturação e gravidade. É possível dizer, então, que o material de morros angulosos seja considerado muito propenso a processos erosivos. Assim, se se somam as pressões da ocupação, explica-se a deflagração acelerada de processos. Levando-se em conta os dados de pluviosidade levantados nos quatro anos em Alfenas, percebe-se que esses limites podem ser facilmente atingidos. A cobertura vegetal da área é mal distribuída, tendo em vista as áreas de loteamentos, cultura cafeeira e desmatadas, com solo exposto. O equilíbrio entre a percolação e o escoamento superficial sofre desvio, intensificando processos de escoamento superficial, que ganha maior velocidade em enxurradas devido à declividade, bem como a gravidade opera com mais intensidade em decorrência desta.

Ocorrem ravinamentos na transição desse compartimento para o de morros convexos, em uma propriedade particular. Além deles, são observados processos junto às cabeceiras das nascentes, onde também aflora um material colapsível e instável, que também ocorre nos compartimentos de morros convexos e colinas, nas sub-bacias do Chafariz e do Pântano. Esse material foi exposto durante a ocorrência de um desmoronamento na Rua Caetés, no bairro Vila Teixeira, onde há uma canalização do curso. A evolução do desmoronamento e de obras de recuperação é possível de ser observada nas figuras 54, 55, 56 e 57.

Figura 54: Deslizamento ocorrido na Rua Caetés, bairro Vila Teixeira, na nascente do Córrego da Estiva, no compartimento de morros angulosos em 2009.

Figura 55: Obras de canalização do Córrego da Estiva no compartimento de morros angulosos em 2009.

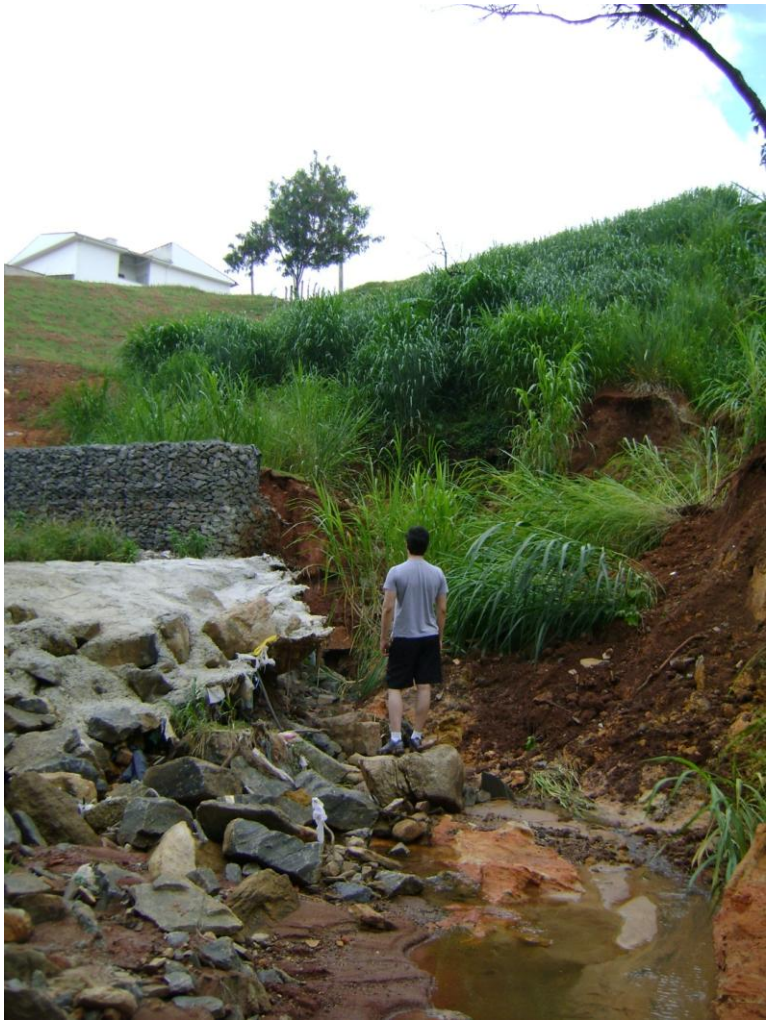


Figura 56: Condução de obras e processos erosivos acelerados à montante do Córrego da Estiva no compartimento de morros angulosos

Figura 57: Exposição de rocha xistosa alterada no Córrego da Estiva.

A ocupação do compartimento diz respeito a culturas agrícolas, especialmente, à cafeicultura e pastagens. O compartimento corresponde, em sua maior parte, à Região de Entorno Imediato, onde está localizado um trecho da Rodovia BR-491.

5.5. Considerações sobre as características do material superficial

O material superficial da área estudada apresenta diversidade de componentes. Em geral, eles podem ser considerados como arenosos, com suscetibilidade média a processos erosivos. A frequência desses processos, em ritmo acelerado, é resultado da ocupação humana.

Como se trata de uma área com uso predominantemente urbano, há um elevado índice de impermeabilização, de forma que as porções medioinferiores das vertentes apresentam vegetação com alto grau de alteração e áreas de solo expostas.

Segundo o IBGE, através do IGA-CETEC (Instituto de Geociências Aplicadas) (*apud* ALAGO, 2006), os solos de Alfenas são predominante do tipo “Lê-Latossolo Vermelho Escuro” com textura argilosa.

Segundo Freire (2006 *apud* ALAGO, 2006), os solos da cidade de Alfenas apresentam um substrato composto por camada superficial de argila laterítica vermelha com espessura de 0 a 6 metros, sobre solo residual (areia argilosa), sobre rocha intacta nas áreas de cotas mais

elevadas. A argila laterítica vermelha presente no substrato da cidade é caracterizada fisicamente como argila arenosa, de cor avermelhada, elevado índice de vazios, e suscetível à redução brusca de volume (colapso) quando saturada e/ou submetida a um carregamento (aumento do nível de tensão) (Freire, 2000). A argila orgânica é de alta plasticidade e compressibilidade (IP > 30), cor escura, valores reduzidos de permeabilidade e resistência ao cisalhamento, comuns em materiais muito plásticos. O solo residual apresenta granulometria predominante de areia com pequena quantidade de argila, comportamento de areia (alta permeabilidade e baixa compressibilidade) e encontra-se abaixo de boa parte de suas ocorrências. Outro fator alarmente e predisponente é que esta argila vermelha laterítica de Alfenas é colapsível, ou seja, quando umedecida pelas águas de chuva, principalmente, tem o volume reduzido bruscamente (colapso), causando danos materiais nas edificações e obras públicas. Em 1m de solo pode ocorrer uma redução de 25cm (recalque), quando o máximo aceitável pela engenharia é 1cm.

Nos vales o perfil de solo é caracterizado por camada de turfa escura entre as camadas de argila laterítica e o solo residual. Quando a argila umedece e colapsa, ocorre um aumento de sua densidade, comprimindo a camada de turfa, causando assim problemas nas edificações e vias públicas. Este foi o caso registrado na travessia do córrego do Pântano, na Rua Machado de Assis. Ali, todas as tentativas de construir uma passagem segura entre os bairros Jardim São Carlos e Jardim América falharam em função dessa série de características.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compreensão do estabelecimento da geomorfologia da área urbana de Alfenas torna-se inteligível a partir do norteamento proposto por Ab'Sáber (1969). Isso foi viabilizado mediante a hierarquização de análise feita por Ross (1992), de forma que possibilitem o entendimento dos sistemas da dinâmica erosiva no processo de configuração do relevo (COLÂNGELO, 2002).

Pode-se dizer que foi encontrada certa homogeneidade em relação às formas na área urbana de Alfenas e em sua região de entorno imediato. As metodologias empregadas foram condizentes aos objetivos, uma vez que possibilitaram atingi-los e analisá-los. Caracteriza-se o predomínio de um relevo colinoso, dividido entre os compartimentos de morros angulosos, morros convexos, colinas e planícies. As planícies desenvolvem-se conforme os cursos d'água as escavam, estando relacionadas também com a influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica de Furnas. Este reservatório alterou a dinâmica geomorfológica da área com a construção da barragem a partir da década de 1950, e é de se esperar que continue ocorrendo o aumento de formas de acumulação, elevando o nível de base das sub-bacias estudadas na área.

A falta de planejamento é percebida pela forma como o traçado do arruamento se estabeleceu, o que permitiu a concentração de águas pluviais em alguns trechos, provocando diversos processos erosivos, que vão desde sulcos, passando por ravinas (que podem gerar voçorocas) até mesmo deslizamentos de magnitude considerável. Os arruamentos, respeitando ou não a topografia, acabam criando novos padrões de fluxos hídricos colaborando para a intensificação dos processos erosivos e para o assoreamento dos córregos.

A ação antrópica na área urbanizada vem alterando a morfologia original com a implantação de aterros, cortes, retificação de alguns córregos. O processo de ocupação alterou o nível do terreno, que ocorreu de uma forma previsível: primeiro, ocupam-se os topos dos morros convexos, devido à baixa declividade e aplainamento, que, posteriormente, passam a serem as áreas mais valorizadas em uma cidade; por conseguinte, as áreas próximas aos fundos de vale são ocupadas à medida que ocorre o crescimento urbano, tendo em vista que essas áreas tornar-se-ão menos valorizadas. Em geral, as margens dos córregos que cortam a área urbana encontram-se com pouca cobertura vegetal, o que tem promovido a retirada de material e interferido na preservação dos cursos, com alterações na morfologia original em função da intervenção antrópica pela instalação de loteamentos. É comum a ocorrência de

solapamentos e rotacionais nas margens destes córregos e a deposição de material tecnogênico nas áreas mais baixas no fundo dos vales.

O fato de haver alguns pontos de afloramento de rocha sã (gnaisses charnokíticos) indica a resistência natural do substrato à erosão. Os sedimentos provenientes desses afloramentos foram levados para a planície dos córregos. No entanto, a ação nesta porção contou com mais elementos e processos além, simplesmente, da força mecânica das águas. A presença de um material colapsível corroborou para que se instalassem essas planícies amplas, tão adjacentes às colinas e aos morros em algumas microbacias, como a do Córrego da Estiva. Em alguns casos, chega a parecer que as planícies estão entalhadas como cabeceiras, mas, por algum fator, o desenvolvimento desse aplainamento conduz à abertura desses fundos de vale. Provavelmente, atividades tectônicas recentes tenham participado da evolução dessa paisagem. Daí, as novas condições terem permitido que chuvas e o próprio curso d'água continuassem o trabalho mecânico, esculpindo, novamente as formas, dando às vertentes o formato reto-côncavo

A partir da análise geomorfológica realizada, é possível afirmar que o processo de urbanização de Alfenas alterou as formas de relevo originais criando uma morfologia antropogênica que está relacionada com depósitos tecnogênicos antigos e atuais. A correção de incoerências ou, até mesmo, o planejamento adequado de uso da terra conforme um estudo sério, que leve em conta algum tipo de abordagem geomorfológica, depende de "vontade política" da Gestão Municipal. Mesmo que fosse para avaliar a natureza dos elementos que constituem a geologia do local, para ter ciência se é ou não adequado ao uso que vem sendo feito.

O material superficial da sede urbana de Alfenas possui características arenosas, de plasticidade média, instalados em uma área com declividades médias e de fragilidade potencial, também, média. Tais características permitem afirmar que há, sim, propensão natural das formas aos processos erosivos, mas de forma gradativa. O aparecimento de novas feições erosivas tem ocorrido como consequência da deflagração de processos erosivos acelerados. Estes têm sido frequentes na medida em que a ocupação se expande e de forma imprópria – tanto que são verificadas irregularidades na ocupação. Sendo assim, o sítio urbano de Alfenas foi-se desenvolvendo em um contexto onde já há suscetibilidade significativa à erosão. Dessa maneira, a hipótese levantada de que o grau de influência da ocupação urbana de Alfenas sobre a deflagração de processos erosivos é maior e mais intensa que o da predisposição natural da área soma-se às características naturais da cobertura superficial da área. A dinâmica geomórfica acelerou-se em algumas áreas, notadamente,

naquelas onde há presença de material colapsível e maior fragilidade, tanto que ocorreram deslizamentos junto a porções ocupadas por construções urbanas. As pressões promovidas sobre o material superficial e, consequentemente, sobre as formas de relevo, estão por alterar estas.

Deve-se acrescentar que persistem equívocos e erros na configuração da área urbana. Todavia, se for feito um replanejamento adequado, é muito provável que essas irregularidades, além de serem mitigadas, contribuam menos para a aceleração de processos erosivos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - Associação de Normas Técnicas. Disponível em: http://www.abnt.org.br/. Acesso em 20/01/2012. NBR – 6459/1984 – Determinação do Limite de Liquidez de Solos; NBR – 7180/1988 – Determinação do Limite de Plasticidade de Solos; ASTM 424-50 – Limite de Plasticidade: T89-68 e T90-70/AASHTO.

ABREU, A. A.. **Análise geomorfológica: reflexão e aplicação**. Tese de Livre Docência. FFLCH-USP. São Paulo, 1982.

_____ **A Teoria Geomorfológica e sua Edificação: Análise crítica**. Rev. IG, São Paulo, v. 4, n. 1-2, p. 5-23, jan./dez., 1983.

_____ **Significado e Propriedades do Relevo na Organização do Espaço**. In: Anais do Simpósio de Geografia Física Aplicada 1, B. Geogr. Teorética, Rio Claro, v. 15, n. 29-30, 154-162, 1985.

AGÊNCIA EMBRAPA DE INFORMAÇÃO TECNOLÓGICA. Disponível em http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/, acesso em 23/07/2013.

AB'SÁBER, A. N.. **Formas de relevo: texto básico**. São Paulo: EDART, 1975.

_____ **O domínio dos mares de morros no Brasil**. Geomorfologia n. 2, São Paulo, IGEOG-USP, 1966.

_____ **Os domínios morfoclimáticos na América do Sul - 1ª Aproximação**. Geomorfologia, n.55, São Paulo, IGEOG-USP, 1977.

_____ **Um conceito de geomorfologia a serviço das pesquisas sobre o Quaternário**. Geomorfologia, no. 18, IG-USP, São Paulo, 1969.

ALAGO – Associação dos Municípios do Lago de Furnas. **Leitura Plano Diretor de Alfenas – MG.** 2006.

ALMEIDA, S. H. S.. **Estruturação tectônica da borda norte da Cunha de Guaxupé na região de Alfenas – MG.** Dissertação de mestrado, IGCE-UNESP, Campus de Rio Claro, 1997.

ARAUJO, W. T.. Evolução Urbana e Dinâmica da Paisagem em Setores Periféricos da Metrópole Paulistana: o caso de Taboão da Serra. Tese de Doutoramento. Programa de Pós-graduação em Geografia Física, FFLCH-USP, 2010.

ARGENTO, M. S. F.. **Mapeamento Geomorfológico**. In: GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases de conceitos.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, p. 365-392, 2007.

BACCARO, C. A. D.. **Processos erosivos no Domínio do Cerrado**. In: GUERRA, A. J. T.; SILVA, A. S. da; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 1ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, pp. 195 – 227, 1999.

BACCARO, C. A. D.. **Os Estudos Experimentais Aplicados na Avaliação dos Processos Geomorfológicos de Escoamento Pluvial em Área de Cerrado**. Sociedade e Natureza, Uberlândia, n.º 5 (9 e 10), pp. 55-61, Janeiro/Dezembro, 1993.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F.. **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1990.

_____ **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1995.

_____ **Conservação do solo**. São Paulo: Editora Ícone, 1999.

BERTRAND, G.. **Paysage et Geographie Globale: Esquisse Methodologique.** Revue Geographique de Pyrinées et du Sud-Quest, 1968.

BIRKELAND, P. W.. **Soils and Geomorphology**. New York, Oxford University Press, 1984.

BRANDÃO, V. S.; PRUSKI, F. F.; SILVA, D. D.. **Infiltração da água no solo**. 2ª ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 2003.

BÜDEL, J.. **Climatic Geomorphology**, New Jersey, Princeton University Press, 1982.

BUNGE, M.. **La Ciência, su Método y su Filosofia**. Buenos Aires: Siglo Veinte, 1974.

CARDOSO, F. J.. **Ação Pública em Terrenos de Fundo de Vale – Estudo de uma bacia Hidrográfica do Município de Alfenas**. Dissertação de Mestrado. Pontifícia Universidade Católica. Campinas, 2003.

CARVALHO, N. O; FILIZOLA, Jr; SANTOS, P. M. C; LIMA, J. E. F. W.. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. 1ª ed., Brasília: ANEEL/SIH, v. 1, 2000.

CASSETI, V.. **Geomorfologia.** In: http://www.funape.org.br/geomorfologia/index.php.2006.

CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A.; SUGDEN, D. E.. **Geomorphology**. New York, Methuen, 1984.

CHORLEY, R. J.. **Geomorphology and general systems theory**. U. S. Geology Survey Prof. Paper (500-b), p. 1-10, 1962.

_____. **A Geomorfologia e a Teoria dos Sistemas Gerais**. Notícia geomorfológica, Campinas, v. 11, n. 21, p. 3-22, jun. 1971.

_____ e HAGGET, P. **Modelos físicos e de informação em Geografia**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora, 1975. 260p.

_____ e KENNEDY, B. A.. **Physical geography – a systems approach**. London: **Prentice Hall International**, 1971.

CHRISTOFOLETTI, A.. **Análise de Sistemas em Geografia**. São Paulo: Hucitec, 1979.

_____ **Geomorfologia.** São Paulo: Edgard Blucher, 1980.

_____ **As Teorias Geomorfológicas**. Notícia Geomorfológica, Campinas, v. 13, n. 25, p. 3-4, jun., 1973.

_____**O desenvolvimento da Geomorfologia**. Notícia. Geomorfológica, Campinas, v. 12, n. 23. p. 13-30, 1972.

_____ **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: Edgard Blücher, 1999.

_____ **Análises morfométricas das bacias hidrográficas**. Notícia geomorfológica, Campinas 9(18):35-64, 1969.

COLÂNGELO, A. C.. **Geografia Física, Pesquisa e Ciência Geográfica.** GEOUSP – Espaço e Tempo. São Paulo, Nº 16, pp. 09 - 16, 2004.

CRUZ, C.. **Análise Comparativa da evolução das boçorocas nos anos de 1962 e 1999 nos municípios de Pompeia e Oriente – (SP).** Dissertação de Mestrado. Rio Claro: IGCE/UNESP, 2001.

DAEE. **Controle de Erosão: bases conceituais e técnicas: diretrizes para o planejamento urbano e regional – orientações para o controle de boçorocas urbanas.** São Paulo: DAEE/IPT, 1990.

DELPOUX, M.. **Ecossistema e Paisagem.** Métodos em Questão, n. 13, IGEOG-USP, pp. 01-23, 1974.

DEMEK, J. **Generalization of geomorphological maps**. In: DEMEK, J. (ed.) Progress made in geomorphological mapping. Brno, IGU Commission on Applied Geomorphology: p.36-72, 1967.

DEMEK, J.. **Manual of detailed geomorphological mapping,** Prague, Czechoslovak Academy of Sciences, IGU, 1972.

DIETRICH, W. E.; WILSON, C. J.; MONTGOMERY, D. R.; ROMY BAUER, J. M.. **Erosion Thresholds and land surface morphology.** Geology, v. 20, p. 675-679, EUA, 1992.

FELGUEIRAS, C. A.; CÂMARA, G.. **Modelagem Numérica de Terreno.** In: **Introdução à Ciência da Geoinformação**. Cap. 7, disponível em http://www.dpi.inpe.br/~gilberto/livro/introd/cap7-mnt.pdf, acessado em 13/3/2011, DPI – INPE, 2005.

FERREIRA, M. F. M..; OLIVEIRA, R. L. S..; GARÓFALO, D. F. T.. **Delimitação e Caracterização das Unidades de Paisagem da Região de Alfenas, Sul de Minas Gerais, a partir de dados do radar SRTM e imagem orbital ETM+ Landsat 7**. Anais do VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, Belo Horizonte, 2008.

FORNASARI FILHO. N.; INFANTINI JÚNIOR. N.. **Geologia de Engenharia**. In: Processos de Dinâmica Superficial. SãoPaulo: ABGE, cap.9, pp. 131-152, 1998.

FREIRE, E. P.; RODRIGUES, G. E.; SOARES, Y. V.. **Estudo do Grau de Colapsividade da Argila Laterítica de Alfenas.** Revista da Universidade de Alfenas, ALFENAS, MG, v. 5, JAN/JUN, p. 81-92, 2000.

FONTES, S. B.. **Mapeamento Geológico com ênfase em Erosão.** Seminários Gerais em Geotecnia, SGS-883, São Carlos: EESC/USP, 1998.

GABRIELS, D.. **The effect of slope lenght on the amount and size distribution of eroded silt loam soil: short slope laboratory experiments on interill erosion.** Geomorphology Elsevier, n.º 28, pp. 169 – 172, 1999.

GARÓFALO, D. F.. **Análise geomorfológica das microbacias hidrográficas dos córregos da Pedra Branca e do Pântano no município de Alfenas – MG**. Trabalho de Conclusão de Curso, Alfenas: Universidade Federal de Alfenas – UNIFAL-MG, 2010.

GARÓFALO, D. F. T. e FERREIRA, M. F. M.. **Caracterização dos fragmentos florestais no sul de minas gerais a partir da elaboração de cartas temáticas utilizando o diva gis.** In: I Semana de Geotecnologias da Unesp, 2008, Rio Claro - SP. da I Semana de Geotecnologias da Unesp, 2008.

GASPAR JUNIOR, L. A. ; VARAJAO, A. F. D. C. ; SANTOS, R. G. ; MORENO, M. M. T. ; SARKIS, M. F. R.. **Viabilidade de Aplicação das Coberturas Argilosas da Região de Alfenas na Indústra Cerâmica**. Geociências (UNESP. Impresso), v. 29, p. 71-80, 2010.

GUERRA, A. J. T.. **O início do processo erosivo**. In: GUERRA, A. J. T; SILVA, A. S; BOTELHO, R. G. M. (Orgs.). **Erosão e Conservação dos Solos: conceitos, temas e aplicações**. 1ª Ed, Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, pp. 15 – 55, 1999.

GUERRA, A. J. T.; CUNHA, S. B.. **Geomorfologia e Meio Ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, pp. 337 – 376, 1996.

GUERRA, A. T.; GUERRA, A. J. T.. **Novo Dicionário Geológico-Geomorfológico**. 6ª Ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2008.

GODOY, G. A.. **Análise Qualitativa e Quantitativa das Áreas Verdes Públicas da Cidade de Alfenas – MG.** Jornada Científica da Geografia, UNIFAL-MG, 2010.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Cidade @, Alfenas.** Disponível em <http://www.ibge.gov.br>, acesso em 20/3/2013.

IWASA, O. Y.; PRANDINI, F. L.. **Diagnóstico de Origem e Evolução de Boçorocas: condição fundamental para a preservação e conservação.** Simpósio Sobre o Controle de Erosão. Curitiba: ABGE, pp. 05 – 34, 1980.

JORGE, E. O.; FERREIRA, M. F. M.. **Mapeamento da Arborização de Ruas de Alfenas – MG.** Jornada Científica da Geografia. UNIFAL-MG, 2010.

JORGE. F. N.; UEHARA K.. **Geologia de Engenharia.** In: Águas de Superfície. São Paulo: ABGE, cap.7, pp. 101-109, 1998.

JUSTINO, R. C.. **Estudo dos Fragmentos de Mata Nativa Preservados no Município de Alfenas/MG.** Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto de Ciências da Natureza (ICN) da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL-MG), 2011.

KINNEL, P. I. A.. **The Effect of Slope Lenght on Sediment Concentrations Associated with Slide-Slope Erosion.** Soil Science Society of American Journal, v. 64, pp. 1004 – 1008, 2001.

KIRKBY, M. J. **The Problem**. In: _____; MORGAN, R. P. C. (Org.). **Soil Erosion**. Chipenham: John Wiley & Sons, 1980, cap. 1, p. 1 – 16.

KLIMAZEWSKI, M.. **Mapa Geomorfológico de Detalhe.** Academia de Ciências da Krakovia, Polônia, ITC, Journal, pp. 265-271, 1983.

LAKATOS, E.; MARCONI, M.. **Metodologia do trabalho científico**. São Paulo: Atlas, 1992.

LEPSCH, I. F.. **Formação e Conservação dos Solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 1982.

LIBAULT, A.. **Os quatro níveis da Pesquisa**. São Paulo: Revista IG-USP (Caderno Métodos em Questão, n.1). 1971.

MANFREDINI, S.; DIAS, S. M. F.; QUEIROZ NETO, J. P.; OLIVEIRA, D.; FERREIRA, R. P. D.. **Técnicas em Pedologia.** In: VENTURI, L. A. B.. **Praticando a Geografia: técnicas de campo e laboratório.** São Paulo: Oficina de textos. Cap. 6, p. 85 – 98, 2009.

MARQUES, J. S. **Ciência Geomorfológica**. In: GUERRA, Antônio José Teixeira; CUNHA, S. B. da. **Geomorfologia: uma atualização de bases de conceitos.** Rio de Janeiro, Bertrand Brasil, pp. 23-50, 2007.

MARUJO, M. F.. **Ensaio de Cartografia Morfológica Detalhada de Um Setor das Escarpas do Planalto de Campos do Jordão, Serra da Mantiqueira, SP**. Relatório Final de Atividades para Qualificação. Departamento de Geografia, FFLCH, USP, 121 p., 1991.

MECERJAKOV, J.P.. **Les Concepts de Morphostruture et de Morphosculture: un nouvel instrument de 1" analys geomorphologique**. Annales de Geographie, 77 année, n.º 423, Paris, 1968.

MIRANDA, J. G.. **Mapeamento Geotécnico e estudo da susceptibilidade a erosão na bacia do Ribeirão Ponte de Pedra (MT), escala 1:100.000** Tese de Doutoramento, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de são Paulo, São Carlos, 2005.

MONTEIRO, C. A. de F.. **Geossistema: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto (Coleção Novas Abordagens, n.3), 2000.

MORGAN, R. P. C.; MNGOMEZULU, D.. **Threshold Conditions for Initiation of Valley Side Gullies in the Middle Veld of Swaziland.** Catena. Elsevier, n.º 50, p. 401 – 414, 2003.

MORGAN, R. P. C.. **Soil Erosion and Conservation.** Harlow Essex England: Longman; New York: Wiley, 1996.

NIR, D. **Man, a geomorphological agent: an introduction to anthropic geomorphology**. Jerusalém: Ketem Pub. House, 1983. 165p.

OLIVEIRA, R. L. S.; FERREIRA, M. F. M.. **Caracterização dos Geossistemas e das Geofácies da Região de Alfenas, Sul de Minas Gerais.** In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada, UFV, Viçosa, 6-10 de julho de 2009.

OLIVEIRA, R. L. S. O.. **Caracterização da Geomorfologia do Perímetro Urbano de Alfenas (MG)**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alfenas, 2010.

O'LOUGHLIN, E. M. **Prediction of Surface Saturation Zones in Natural Catchmentes by Topographic Analysis**. American Geophysical Union, Washington DC, EUA, p.794-804, 1986.

OWOPUTI, L. O.; STOLTE, W. J.. **The role of seepage in erodibility.** Hydrological Process Elsevier, n.º 15, pp. 13 – 22, 2001.

PEJON, O. P.. **Mapeamento Geotécnico Regional da Folha de Piracicaba (Escala 1:100.000): Estudo de Aspectos Metodológicos, de Caracterização e de Apresentação de Atributos.** Tese de Doutoramento, EESC/USP, São Carlos, 1992.

PINTO, C. S. **Curso Básico de Mecânica dos Solos.** São Paulo: Oficina de Textos, 2006.

PIRES NETO, A. G.. **As abordagens sintético-histórica e analítico-dinâmica: uma proposição metodológica para a geomorfologia.** Tese de Doutoramento, Departamento de Geografia, FFLCH, USP, 302 p., 1991.

PREFEITURA MUNICIPAL DE ALFENAS. Acesso em 18/3/2013.

RODRIGUES, C.. **Geomorfologia aplicada: avaliação de experiências e de instrumentos de planejamento territorial e ambiental brasileiros.** São Paulo, Tese (Doutorado em Geografia Física), FFLCH - USP, 1997.

RODRIGUES, C. **Morfologia Original e Morfologia Antropogênica na Definição de Unidades Espaciais de Planejamento Urbano: Exemplo na Metrópole Paulista**. Revista do Departamento de Geografia, no. 17, pp. 101-111, 2005.

RODRIGUES, J. E.. **Estudo de Fenômenos Erosivos Acelerados.** Tese de Doutoramento. São Carlos: EESC/USP, 1982.

ROSS, J. L. S.. **O Registro Cartográfico do Fatos Geomórficos e a Questão da Taxonomia do Relevo**. In: Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP, n° 6, São Paulo, 1992.

ROSS, J. L. S.. **Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados**. Revista do Departamento de Geografia – FFLCH-USP. n.º 8, p.63-74, São Paulo, 1994.

SALOMÃO. F. X. T.. **Controle e prevenção dos processos erosivos**. In: **Erosão e Conservação dos Solos** – Conceitos, Temas e Aplicações. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, p. 229 – 265, 1999.

SALOMÃO. F. X. T., IWASA. O. Y. **Curso de Geologia Aplicada ao Meio Ambiente**. In: Erosão e a ocupação rural e urbana. São Paulo: ABGE – IPT, cap.3, p.31-57, 1995.

SANTOS, J. F. **Imagens de Minas.** Belos Horizonte: Ed. Ática, 1986.

SELBY, M. J.. **Hillslope Material and Process.** 2ª Ed. Oxford, England: Oxford University Press, 1993.

SILVA, A. Maria. **Guia para normalização de trabalhos técnico-científicos**. Uberlândia: UFU, 2000.

SOTCHAVA, V. B.. **O estudo dos geossistemas**. Métodos em Questão. São Paulo, n. 6, 1977.

SOTCHAVA, V. B.. **Por uma teoria de classificação de geossistemas de vida terrestre.** Biogeografia. São Paulo, n. 14, p. 1-24, 1978.

SOUZA, L. H.. **Representação Gráfica de Feições Lineares do Relevo: Proposta de Aplicação de Simbologia Linear Digital na Cartografia Geomorfológica.** Dissertação de Mestrado. Instituto de Geografia da UFU, 2006.

STEIN, D. P.; DONZELLI, P. L.; GIMENEZ, F.A.; PONÇANO, E. L.; LOMBARDI NETO, F.. **Potencial de Erosão Laminar, Natural e Antrópica na Bacia do Peixe, Paranapanema.** Anais do 4º Simpósio Nacional de Controle de Erosão, ABGE, vol. 1, pp. 105-135, 1987.

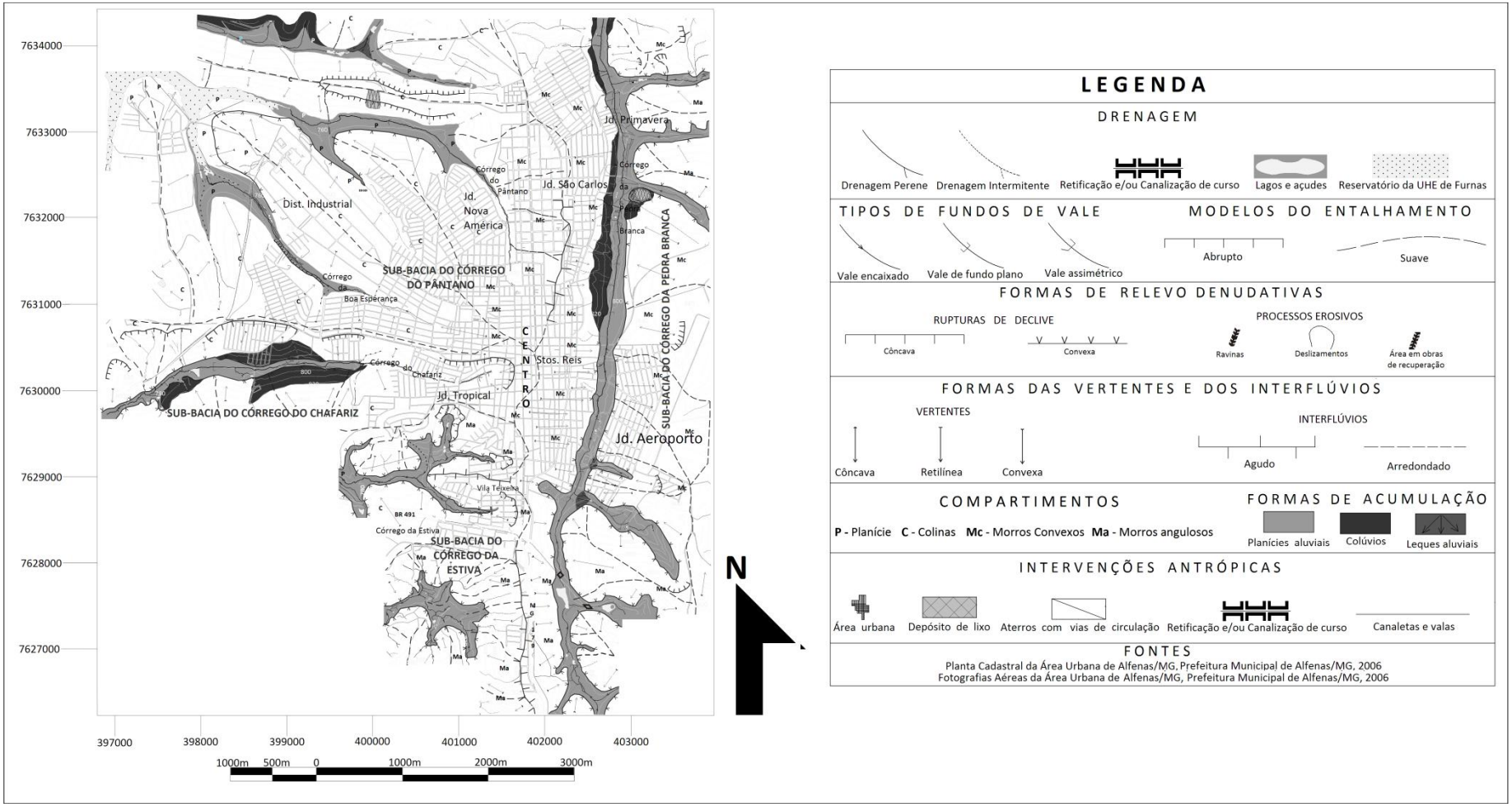
STRAHLER, A. N.. **Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography.** Geological Society Bulletin, 63 (10): p. 1117 – 1142, 1952.

THOMAS, M. F.. **Geomorphology in the Tropics.** Chichester, John Wiley & Sons, 1994.

THOMAS, M. F.. **Tropical Geomorphology.** Chichester, John Wiley & Sons, 1974.

TRICART, J.. **Ecodinâmica.** Rio de Janeiro. Supren/IBGE, 1977.

TRICART, J.. **O conceito Ecológico**. Ecodinâmica. FIBGE- Rio de Janeiro, 1977.

VILLELA, S. M.; MATOS, A.. **Hidrologia Aplicada**. 1ª ed. Recife: MC Graw-Hill, 1977.

APÊNCDICE A –COMPARTIMENTAÇÃO DO RELEVO, FEIÇÕES EROSIVAS E DEPOSICIONAIS DA ÁREA DA SEDE DE ALFENAS - MG