

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE
CENTRO DE ESTUDOS GERAIS
MESTRADO EM CIÊNCIA AMBIENTAL

PAULO HENRIQUE DOS SANTOS OLIVEIRA

COBERTURA FLORESTAL E DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA DO
RIBEIRÃO ESPÍRITO SANTO EM JUIZ DE FORA-MG

NITERÓI

2007

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

PAULO HENRIQUE DOS SANTOS OLIVEIRA

COBERTURA FLORESTAL E DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA DO
RIBEIRÃO DO ESPÍRITO SANTO EM JUIZ DE FORA-MG

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre.

Orientadora: Prof^ª Dr^a CRISTIANE NUNES FRANCISCO

Co-orientadora: Dr^a VALÉRIA DE FÁTIMA MALTA

Niterói

2007

PAULO HENRIQUE DOS SANTOS OLIVEIRA

COBERTURA FLORESTAL E DISPONIBILIDADE HÍDRICA NA BACIA DO
RIBEIRÃO DO ESPÍRITO SANTO EM JUIZ DE FORA-MG

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Ciência Ambiental da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre.

Aprovada em setembro de 2007

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Cristiane Nunes Francisco – Orientadora
Universidade Federal Fluminense

Profa. Dra. Cacilda Nascimento de Carvalho
Universidade Federal Fluminense

Profa. Dra. Mônica dos Santos Marçal
Universidade Federal do Rio de Janeiro

Niterói

2007

- O48 Oliveira, Paulo Henrique dos Santos
Cobertura florestal e disponibilidade hídrica na Bacia do
Ribeirão Espírito Santo, em Juiz de Fora-MG / Paulo Henrique
dos Santos Oliveira. – Niterói : [s.n.], 2007.
106 f.
Dissertação (Mestrado em Ciência Ambiental) – Universi-
dade Federal Fluminense, 2007.
- 1.Gestão de recurso hídrico. 2.Cobertura florestal.
3.Recursos hídricos – conservação. I.Título.

CDD 333.91098151

“Se enxerguei mais longe foi por estar sentado aos ombros de gigantes.” (Isaac Newton)

“Lutar, buscar, encontrar e não capitular.” (Versos finais de "Ulisses", poema de Tennyson)

A Deus, por ter me dado saúde, discernimento e perseverança durante todo o curso.

À minha família, em especial à minha mulher Vânia, que em todos os momentos esteve sempre a meu lado, me apoiando incondicionalmente, mesmo nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais, que me proporcionaram a educação formal e não formal e que sempre procuraram me apontar o caminho a seguir.

AGRADECIMENTOS

À Cristiane Nunes Francisco, minha orientadora, amiga e profissional irretocável, que, em todos os momentos, sempre se mostrou disposta a ajudar com sua orientação segura, compreendendo as dificuldades do mestrando que trabalha e é pai de família.

À Valéria de Fátima Malta, minha co-orientadora, amiga e dotada de uma rara capacidade intelectual e imensa paciência, que não mediu esforços para que o resultado final do trabalho fosse o melhor possível.

À Rosemay Martins Rinco, companheira de curso, sempre disposta a ajudar com seus inúmeros conhecimentos acerca da aplicação da legislação ambiental vigente e do geoprocessamento.

Ao companheiro Ciro de Souza Vale, companheiro de curso, pelo apoio prestado durante todo o período em que trabalhamos e estudamos juntos.

À amiga Cecília de Macedo Garcez, pelo serviço de revisão.

Ao Comando do Colégio Militar de Juiz de Fora, pelo apoio e compreensão demonstrados durante todo o curso, sem os quais não seria possível concluí-lo.

Aos companheiros do Colégio Militar de Juiz de Fora, que, direta ou indiretamente, me ajudaram durante o curso.

Aos Engenheiros da CESAMA Henrique Pizzo, Marcos Dias e Paulo Valverde, pela boa vontade em ajudar com suas valiosas informações.

Ao Professor Pedro Machado, pela presteza em solucionar os problemas mais difíceis, pelos conhecimentos transmitidos e pelo apoio incondicional.

Ao Professor Luís Alberto, pelo fornecimento dos dados climatológicos.

Ao Sr. Luiz Carlos Garcia Moreira, que gentilmente nos cedeu seu apartamento em Niterói.

Ao Professor Luiz Arthur Mello, pela ajuda com os programas de informática.

Ao Professor Luís Paulo Canedo de Magalhães, pela ajuda na aplicação do Modelo de Células.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a confecção deste trabalho.

RESUMO

A presente dissertação tem como objetivo principal avaliar a relação entre a cobertura vegetal e a disponibilidade de água na bacia do Ribeirão do Espírito do Santo (localizado em Juiz de Fora – MG), segundo maior manancial de abastecimento de água deste município mineiro. O trabalho em questão foi realizado a partir da aplicação do Modelo de Células de Escoamento, desenvolvido pelo Laboratório de Hidrologia da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, a partir de informações fornecidas pelo Sistema de Informações Geográficas. Ao final, concluiu-se que a recuperação florestal da bacia produziria um aumento de 8% na vazão do ribeirão estudado sem, no entanto, alcançar a vazão necessária para atender às metas do Plano Diretor de Abastecimento de Água de Juiz de Fora para o ano de 2011. Concluiu-se também que a recomposição florestal seria essencial para a manutenção de padrões mínimos de qualidade da água distribuída em Juiz de Fora.

Palavras-Chave: Modelagem hidrológica. Recomposição florestal. Mananciais de abastecimento de água.

ABSTRACT

The present dissertation has as the main objective to evaluate the relation between the vegetable covering and the water availability in the basin of the Espírito Santo Creek, second greatest source of water supply of the city of Juiz de Fora, located in Minas Gerais. The work in question was accomplished from the application of the Model of Cells of Drainage, developed by the Hydrology Laboratory that belongs to the Coordination of UFRJ Engineering Post Graduation Programmes, loaded with information from the Geographical Information System. In the end we could conclude that the forest recovery of the basin would produce an increase of 8 % in the outflow of the referred creek without, however, reaching the outflow needed to achieve the goals from the Managing Plan of Water Supply of Juiz de Fora for the year of 2011. We could also conclude that the forest resetting would be essential for the maintenance of minimum standards of quality of the water distributed in Juiz de Fora.

Key-word: Hydrological Modelling. Forest Resetting. Source of Water Supply.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO, p. 11

2 REFERENCIAL TEÓRICO, p. 15

2.1 Relação entre cobertura florestal e os parâmetros quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, p. 15.

2.2 Legislação, p. 19

2.2.1 LEGISLAÇÃO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS, p. 19

2.2.2 A COBERTURA FLORESTAL E A LEGISLAÇÃO EM VIGOR, p. 25

2.3 A modelagem como instrumento de verificação da relação entre a cobertura florestal e a disponibilidade hídrica, p. 28

2.3.1 O MODELO DE CÉLULAS, p. 29

2.3.1.1 **Conceitos fundamentais e premissas da modelagem por células**, p. 32

2.3.1.2 **Propriedades das células**, p. 34

2.3.1.3 **Propriedades e tipos de ligações**, p. 36

3 METODOLOGIA, p. 38

3.1 Elaboração do mapa de uso e cobertura do solo, p. 38

3.2 Delimitação das Áreas de Preservação Permanente (APPs), p. 41

3.3 Modelagem, p. 42

3.4 Levantamento de custo para recomposição, p. 51

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, p. 54

4.1 Contexto regional, p. 54

4.2 Caracterização da bacia do ribeirão Espírito Santo, p. 64

4.2.1 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO, p. 66

4.2.2 DISPONIBILIDADE E DEMANDA DOS RECURSOS HÍDRICOS, p. 70

5 APLICAÇÃO E RESULTADOS, p. 78

5.1 Cobertura vegetal e uso do solo na bacia do ribeirão Espírito Santo, p. 78.

5.2 Aplicação do Modelo de Células, p. 86

5.3 Levantamento de custos, p. 93

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES, p. 96

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS, p.101

1 INTRODUÇÃO

É corrente entre pesquisadores de diversas formações e nacionalidades a afirmação de que a água, ainda no século XXI, será o recurso natural mais valioso existente na Terra. A importância de tal recurso se explica pelo fato de que parte significativa das águas superficiais do planeta se encontra imprópria para o consumo devido à contaminação, ocasionada, dentre outros, pelos efluentes domésticos ou industriais lançados nos cursos d'água (na maior parte das vezes, sem qualquer tipo de tratamento), pelo chorume liberado nos "lixões" e pelos defensivos agrícolas utilizados por uma grande parcela de produtores rurais. Os processos de urbanização e retirada da cobertura vegetal agravam o quadro anteriormente descrito.

A escassez hídrica já é uma realidade em algumas partes do globo. Segundo Dias (2004, p. 58), já no ano de 1999, vinte e sete países se encontravam em conflitos por causa de água. Dias afirma, na mesma obra, que a ONU prevê que, no ano de 2025, cerca de 45% da população mundial será atingida pela escassez de água. (ibid., p. 72)

Segundo Setti (2001, p. 64), apesar de 75% do planeta ser coberto por água, cerca de 97,5% desta é salgada. O restante está distribuído da seguinte forma: 2,4% se constitui de água doce, mas distribuída nas geleiras ou aquíferos de difícil acesso e apenas 0,0007% está presente na atmosfera, rios e lagos. A água doce, além de escassa, também é desigualmente distribuída entre os continentes. O autor supracitado afirma que o Brasil, por exemplo, é detentor de cerca de 8% da água doce disponível no mundo.

O espaço terrestre, qualquer que seja a escala de análise, é desigualmente ocupado. Essa máxima se aplica também ao território brasileiro, onde cerca de 85% da população ocupa as macrorregiões Sudeste, Nordeste e Sul, que correspondem a menos de 30% da área do território brasileiro. (IBGE, 2005, apud SIMIELLI, 2006, p. 100) O exemplo mais contundente é o da bacia Amazônica, que concentra aproximadamente 73% da água doce disponível do país, apesar de apresentar cerca de apenas 4,5% da população, o que significa

dizer que somente 27% dos recursos hídricos do país estão disponíveis para cerca de 95% da população brasileira. (SETTI et al., 2001, p. 77)

A disponibilidade hídrica *per capita*, segundo o Plano Nacional de Recursos Hídricos - PNRH (MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE et al., 2006, v. 4, p. 29) - é o quociente da vazão média pela população total, sendo um indicador do nível de escassez de água. Segundo o PNRH, “embora para o país este valor seja de quase 30.000 m³/hab.ano, pode-se constatar a grande variabilidade espacial desse indicador.” (ibid.) O já referido plano afirma ainda que “a baixa disponibilidade de água para atender os diferentes usos está associada à conjugação de densidade populacional elevada com ocorrência de vazões específicas de média a baixa”. (ibid.) A situação mais crítica, ainda segundo o PNRH, é a apresentada na região Costeira do Nordeste Oriental, com média inferior a 1200 m³/hab.ano. (ibid.) Paradoxalmente observam-se, na Região Norte, os maiores valores de disponibilidade *per capita* do país, devido à alta vazão específica e baixa densidade demográfica: a região hidrográfica do rio Amazonas, por exemplo, apresenta 455 mil m³/hab.ano; as regiões hidrográficas costeiras do Norte, 1,8 milhão m³/hab.ano e a vertente oeste da região hidrográfica do Tocantins apresenta disponibilidades próximas a 150 mil m³/hab.ano nas bacias dos rios Araguaia e Pará.

As diferenças de disponibilidade hídrica também são significativas se forem consideradas as unidades da federação brasileira. O estado de Roraima possui a maior disponibilidade hídrica, com cerca de 1.500.000 m³/hab/ano, contrastando com Pernambuco, por exemplo, que apresenta cerca de 1200 m³/hab/ano, o que representa uma diferença de 1.250 vezes entre ambos.

Outro exemplo é o estado do Rio de Janeiro, onde, segundo Malta (2006, p.103), cerca de 120m³/s da vazão do rio Paraíba do Sul, no seu médio curso, são desviados para o abastecimento de água de aproximadamente 8,0 milhões de habitantes da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (RMRJ), através da polêmica transposição para o rio Guandu. Tal transposição foi necessária devido à baixa disponibilidade hídrica da RMRJ - inferior a 200m³/hab.ano. Essa situação de escassez hídrica absoluta (BEEKMAN,¹ 1999, apud SETTI, 2001, p. 71), também se repete na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP).

O município de Juiz de Fora, onde se situa a **bacia do ribeirão do Espírito Santo** (área de estudo deste trabalho), teve a maior parte de sua cobertura florestal original (Mata Atlântica) extraída, inicialmente, para a instalação do sítio urbano e essa extração foi potencializada pelo desenvolvimento da cultura cafeeira, que se estendeu do fim do século

¹ BEEKMAN, G.B. *Gerenciamento integrado dos recursos hídricos*. Brasília: IICA, 1999.

XIX até a terceira década do século XX. Esta atividade econômica, aliada ao processo de urbanização desordenado, foi a grande responsável pelo pequeno percentual de áreas cobertas pela Mata Atlântica, no principal município da Zona da Mata Mineira.

A retirada da cobertura vegetal acarreta várias conseqüências, como alterações microclimáticas, mudança no albedo, redução da infiltração, aumento do escoamento superficial, dos processos de erosão e de assoreamento (que podem provocar enchentes), além de danos aos recursos hídricos, no que diz respeito à disponibilidade hídrica, esta traduzida pela associação entre qualidade e quantidade das águas.

A **bacia hidrográfica do ribeirão do Espírito Santo, objeto de estudo da presente dissertação**, localiza-se na porção norte do município de Juiz de Fora, a noroeste da área urbana do distrito sede, e atualmente responde por cerca de 40% do seu abastecimento de água. Apesar de sua importância, a maior parte de sua superfície é coberta por pastagens, e as matas ciliares são escassas, o que reduz a disponibilidade hídrica da bacia, além de comprometer a sua função de manancial de abastecimento de água, atual e futura.

A proximidade da bacia estudada em relação à área de maior consumo de água do município (distrito sede) aumenta a importância de se desenvolverem políticas que promovam sua recuperação. A bacia do ribeirão do Espírito Santo, além da proximidade em relação à cidade de Juiz de Fora se localiza, quase que em sua totalidade, em área rural e com baixa densidade demográfica, fatores que favorecem o gerenciamento de uma bacia de manancial, o que justifica plenamente a escolha da bacia do já referido ribeirão como área de estudo.

O **objetivo principal** desta dissertação de mestrado é **avaliar a relação entre a cobertura vegetal e a disponibilidade de água, traçando cenários de recobrimento florestal e a sua influência na vazão da bacia do Ribeirão do Espírito do Santo**.

Serão simulados três cenários: um considerando a atual situação de cobertura florestal, o segundo considerando a recomposição florestal prevista pela legislação ambiental em vigor e, por fim, um cenário considerando uma situação na qual a bacia encontrar-se-ia predominantemente urbanizada.

O trabalho em questão realizou-se a partir da aplicação do Modelo de Células de Escoamento, desenvolvido pelo Laboratório de Hidrologia da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ).

O objetivo desta proposta seria alcançado através do estudo da recomposição florestal, da recuperação das áreas em avançado processo erosivo e a identificação dos conflitos de uso atuais, como, por exemplo, o uso agropecuário, industrial e diluição de esgoto doméstico. Para tanto foi realizado um diagnóstico da bacia estudada, utilizando ferramentas do

geoprocessamento para se determinarem os percentuais de cobertura do solo, bem como a realizar a análise das informações fornecidas por diversos documentos, tais como o Plano Diretor de Abastecimento de Água da Área Urbana do Município de Juiz de Fora – PDAA- (CESAMA, 1985), o Relatório Técnico para Outorga de Água Superficial do ribeirão Espírito Santo (CESAMA, 2001), o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora – PDDU - (PJF, 1996), o estudo produzido pela Agência de Gestão Ambiental de Juiz de Fora - Agenda-JF et al, (2006) e a listagem das outorgas concedidas no estado de Minas Gerais (IGAM, 2007). Foram também realizados trabalhos de campo na área da bacia com o objetivo de buscar subsídios para uma melhor avaliação dos dados expressos na documentação pertinente.

Para se alcançar o objetivo geral foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: mapear as APPs através da caracterização fisiográfica da área de estudo com uso de geoprocessamento; elaborar de um mapa de uso e cobertura do solo com vistas a identificar a cobertura vegetal; aplicar o Modelo de Células de Escoamento (versão 5.0), para a determinação dos percentuais de variação de disponibilidade hídrica de acordo com cada cenário de recobrimento florestal e traçar cenários de recobrimento florestal - atual, legal e um terceiro cenário em que a bacia seria totalmente urbanizada.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Relação entre cobertura florestal e os parâmetros quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos

As relações existentes entre a presença da cobertura florestal e a melhoria da quantidade e qualidade da água em bacias de abastecimento são discutidas por Dudley e Stolton (2005, p. 9-21). Afirmam os autores que a qualidade dos recursos hídricos normalmente melhora nas áreas florestadas, principalmente quando comparamos esse tipo de uso do solo com os demais, como a agricultura, a indústria e os assentamentos humanos, atividades geradoras de resíduos e efluentes que, na maioria das vezes, comprometem a qualidade das águas das bacias em que se encontram. Dudley e Stolton afirmam ainda que, em alguns casos, as florestas ajudam a regular a erosão do solo, tendo como consequência a redução da carga de sedimentos. (ibid., p. 16) Dizem os já referidos autores que “muitos estudos têm sido feitos sobre o impacto da gestão das florestas sobre a qualidade da água e eles geralmente têm demonstrado que a produção de sedimentos aumenta após o desmatamento, mas que mudanças na forma de gestão também podem reduzir esses danos”. (ibid., p. 16) Dudley e Stolton amparam suas teorias nos estudos realizados pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos¹ (1993, apud DUDLEY; STOLTON, 2005, p. 17) e por Lynch² et al. (1975, ibid.)

No concernente aos aspectos quantitativos dos recursos hídricos, os estudiosos afirmam que nem sempre a presença de cobertura florestal irá se traduzir em aumento da

¹Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (1993). *Water quality effects and non-point source controls practices for forestry: an annotated bibliography*, EPA 841-R-97-008, Washington DC.

²Lynch, J A, W E Sopper, E S Corbett e D W Aurand (1975); Effects of management practices on water quality and quantity: The Penn State experimental watersheds, Municipal Watershed Management Symposium Proceedings, General Technical Report, NE-13, Northeastern Forest Experimental Station, USDA Forest Service, Radnor: 32-46.

quantidade de água numa bacia. (ibid., p. 17) Citam o exemplo de reflorestamentos utilizando *Eucalyptus grandis*, nas bacias de Mokobulaan, na África do Sul, onde houve um ressecamento completo das águas decorridos nove anos do plantio. (ibid., p. 18). Afirmam, entretanto, que alguns tipos de florestas contribuem para o aumento da água disponível. Citam o exemplo da Floresta de Neblina, na Costa Rica e de áreas florestadas com *Eucalyptus regnans*, de 200 anos ou mais, na Austrália. Concluem que “em geral, a evidência parece sugerir que as florestas de neblina, assim como algumas outras florestas naturais mais antigas, podem aumentar o fluxo líquido de água, mas que alguns outros tipos de florestas e plantações podem provavelmente ter o efeito inverso.” (ibid., p. 18) De uma forma geral, os autores entendem que as espécies exóticas devem ser evitadas nos processos de recomposição florestal, dentre outros motivos, pela possibilidade de elas consumirem grandes volumes de água além, logicamente, dos impactos gerados sobre a biodiversidade local. Afirmam os autores que uma das maiores contribuições dadas pelas áreas florestadas nas bacias de manancial é a redução do problema da deposição de partículas do solo nos cursos d’água, que pode encarecer ou inviabilizar o tratamento da água para fins de abastecimento. (ibid., p. 18) Quanto às espécies nativas, Dudley e Stotton alertam para o fato de que elas, em fase de crescimento, também tendem a consumir grandes quantidades de água. (ibid., p. 33) É imperioso, portanto, que sejam realizados estudos criteriosos que determinem as espécies de plantas a serem introduzidas nas bacias de abastecimento, com objetivo de recomposição florestal, mesmo que essas façam parte do domínio vegetal original daquele local.

Hibbert (1967, apud BOSCH³; HEWLETT, 1982) avaliou o resultado de 39 bacias experimentais, distribuídas pelo mundo e, dentre outras conclusões, afirmou que a redução da cobertura florestal aumenta a vazão média e que o estabelecimento de cobertura florestal em áreas de vegetação esparsa diminui a vazão média.

Bosch e Hewlett (1982, apud TUCCI, 2002, p. 40) atualizaram o estudo anterior utilizando os dados de mais 55 bacias, totalizando 94 bacias experimentais, com tamanho médio de 80 ha e áreas variando entre 1 ha e 2.500 ha. Eles, dentre outras afirmações, confirmaram as conclusões de Hibbert e concluíram não ser possível detectar influência na vazão média quando o desmatamento é menor que 20%.

³BOSCH, J.M.; HEWLETT, J.D., 1982. A review of catchment experiments to determine the effect of vegetation changes on water yield and evapotranspiration *Journal of Hydrology* 55: 2-23 apud TUCCI, 2002.

Bruijnzeel⁴ (1990 apud TUCCI, 2002, p. 40) confirma as conclusões de Bosch e Hewlett (1982, apud TUCCI, 2002, p. 40), segundo as quais a remoção da floresta natural resulta em relevante aumento inicial da vazão média (até 800 mm/ano), em função da precipitação. Passados alguns anos, Bruijnzeel⁵ (1996 apud TUCCI, 2002, p. 42), após agregar dados de experimentos realizados na Austrália, nos Estados Unidos e em outros países, afirmou que os resultados eram unânimes em apontar que sempre ocorre aumento de vazão após o desmatamento.

De um modo geral, os estudos de Hibbert (1967) foram confirmados, tanto por Bosch e Hewlett (1982), quanto por Bruijnzeel (1990; 1996). Concluem tais estudos que a retirada de cobertura vegetal aumenta a vazão média dos cursos d'água, o que provavelmente se traduzirá em enchentes, principalmente no domínio dos climas equatorial, tropical e subtropical.

Tucci (2002, p. 45) afirma que, quando as condições de infiltração, após o desmatamento, são deterioradas, por exemplo, pela compactação provocada pelo impacto das chuvas, a capacidade de infiltração tende a ser reduzida e o escoamento superficial tende a aumentar, com conseqüente redução da recarga do aquífero. Os estudos de Burch⁶ et al. (1987, apud TUCCI, 2002, p. 45-46), comparando duas pequenas bacias australianas (uma florestada e outra com vegetação rasteira), ressaltam que a retirada da cobertura florestal também altera o comportamento dos hidrogramas de uma bacia, criando picos na vazão máxima. Nesse caso, haverá um aumento da vazão média, pois os eventos de vazão máxima tendem a aumentar. No entanto, pode ocorrer a redução da vazão mínima, já que provavelmente ocorrerão prejuízos na recarga dos aquíferos, como já foi mencionado. Segundo tais estudos, “o efeito da cobertura vegetal foi muito maior no período mais seco, com eventos de pequena e média intensidade de precipitação.” (ibid.) Afirma-se também que, no período de ocorrência de chuvas seqüenciais de grande intensidade, a diferença no comportamento dos hidrogramas diminui. Partindo desse pressuposto, a manutenção cobertura florestal é importante em uma bacia de abastecimento, pois regulariza a vazão e, conseqüentemente, o hidrograma.

⁴BRUIJNZEEL, L.A., 1990. *Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: A State of Knowledge Review*. IHP. IAHS. UNESCO.224p.

⁵BRUIJNZEEL, L.A. 1996. Predicting the hydrological impacts of tropical forest conversion: The need for integrated research. Capítulo 2 de “Amazonian Deforestation and Climate” Eds: Gash J H C, Nobre C A, Roberts J M e Victoria R L John Wiley & Co: Chichester, Inglaterra.

⁶BURCH G J, BATH R K, MOORE I D e O'LOUGHLIN E M 1987. Comparative hydrological behaviour of forested and cleared catchments in southeastern Australia. *J. Hydrology* 90 19-42.

Os estudos realizados por Castro e Lopes (2005) apontam para a necessidade de se observarem alguns cuidados durante o processo de recuperação e manutenção de nascentes. Segundo tais estudos, se deve evitar próximo aos cursos d'água e, principalmente, às nascentes, a utilização de plantas freatófitas⁷, como a “taboa” (*Typha domingensis*) e a “mariazinha do campo” (*Hedychium coronarium Koen*), que tendem a consumir volumes consideráveis das águas estocadas nos lençóis freáticos. Os pesquisadores em questão afirmam que a taboa chega a consumir cerca de quatro litros de água/m²/dia, e que, por isso, deve ser erradicada das áreas destinadas ao abastecimento. Ainda segundo os autores, as espécies citadas deveriam também ser erradicadas e monitoradas nas áreas de domínio das matas ciliares.

Castro e Lopes (2005) concluem que, além dos procedimentos relativos às plantas freatófitas, é necessário que se realize o reflorestamento dos topos de morro e essencial que se contenha a aceleração do processo erosivo, através do reflorestamento das vertentes de maior declividade. É relevante ressaltar que os estudos de Castro e Lopes (2005) foram realizados em bacias com cerca de 15 ha, bem menores que a do ribeirão Espírito Santo, que possui cerca de 15.100 ha.

Segundo Martins (2001, p. 37), a regeneração natural das matas ciliares provavelmente se constitui na forma de restauração de mais baixo custo, sendo, entretanto, um processo moroso. Se, por qualquer motivo, houver pressa, devem ser adotadas técnicas que acelerem a sucessão, tais como o plantio de espécies nativas com ocorrência em matas ciliares da região; o plantio de um maior número de espécies para gerar alta diversidade; utilização de combinações de espécies pioneiras de rápido crescimento junto com espécies não pioneiras (secundárias, tardias e climáticas); o plantio de espécies atrativas à fauna e o respeito pela tolerância das espécies à umidade do solo (isto é, deve-se plantar espécies adaptadas a cada condição de umidade do solo).

Martins (2001, p. 114) afirma que o acompanhamento de qualquer projeto de recomposição florestal depende do acompanhamento permanente, através de indicadores, com vistas a promover novas intervenções (assim que estas se mostrem necessárias) ou a determinar o momento em que a floresta passa a ser sustentável. Ele avalia que os insetos (formigas, cupins, abelhas, vespas e besouros) são bons indicadores. O autor afirma ainda que não há garantia de pleno êxito num projeto de reflorestamento, por mais bem planejado que ele seja. Conclui dizendo que não se pode cobrar uma elevada diversidade biológica em um

⁷ Plantas que absorvem água do lençol freático, principalmente no período diurno.

projeto cujo objetivo tenha sido proteger o solo e o curso d'água dos efeitos negativos da erosão do solo de uma área extremamente degradada.

2.2 Legislação

A legislação ambiental brasileira é extensa, fruto da existência das três esferas do poder legislativo brasileiro: a federal, a estadual e a municipal. A interpretação da legislação se torna, por vezes, tarefa extremamente complexa, havendo em vários casos a sobreposição de leis. Nesses casos, tende-se a adotar sempre a legislação mais restritiva.

Serão abordados, neste subcapítulo, os pontos considerados mais relevantes, relativos ao arcabouço legal que envolve o presente trabalho, a saber: a legislação que versa sobre os recursos hídricos, a definição das Áreas de Preservação Permanente (APPs) e a legislação que versa sobre as reservas legais. Evidentemente, não se pretende, com o presente subcapítulo, esgotar o assunto, tarefa que por si só demandaria uma dissertação à parte.

2.2.1 LEGISLAÇÃO SOBRE RECURSOS HÍDRICOS

Lei das Águas

A Lei nº. 9.433, de 08 de janeiro de 1997, que substitui o Decreto nº. 24.643, de 10 de julho de 1934 (Código de Águas), define, no seu Artigo 1º, **Capítulo I (Dos Fundamentos)**, que a Política Nacional de Recursos Hídricos se baseia nos **fundamentos** descritos a seguir.

No primeiro fundamento, a Lei afirma que **“a água é um bem de domínio público”**. Esse fundamento visa garantir a universalização do acesso à água, independentemente de sua localização. Nesse sentido, houve um grande avanço sobre a legislação revogada, o Código de Águas de 1934. O Código de Águas estabelecia, em seu Capítulo III, Artigo 8º, que “seriam consideradas particulares as nascentes e águas situadas em terrenos particulares, bem como as águas pluviais que caíssem diretamente nos já referidos terrenos”. A lei 9.433/97 não menciona as águas pluviais.

O segundo fundamento define que **“a água é um recurso natural limitado, dotado de valor econômico”**. Ele chama a atenção para a questão da escassez iminente da água, além de amparar a cobrança pelo seu uso, que é um dos instrumentos da presente Lei.

O terceiro fundamento afirma que, **“em situações de escassez, o uso prioritário dos recursos hídricos é o consumo humano e a dessedentação de animais”**. A legislação revogada assegurava “a preferência sobre quaisquer outros o uso da água para as primeiras necessidades da vida (...)”. Havia, na redação do Código de 1934, uma grande preocupação em garantir o desenvolvimento da navegação e da geração de energia.

O quarto fundamento define que **“a gestão dos recursos hídricos deve sempre proporcionar o uso múltiplo das águas”**. Essa situação teoricamente seria garantida através do instrumento da outorga, definido no Artigo 5º da Lei em vigor.

O quinto fundamento define **“a bacia hidrográfica como unidade territorial para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos”**. No entanto, este fundamento acaba se constituindo em um fator complicador, do ponto de vista administrativo, visto que uma bacia hidrográfica pode abranger mais de um município, estado ou país. O fundamento em questão é tecnicamente pertinente e provém da legislação francesa sobre recursos hídricos. A França é um Estado unitário, onde a instância estadual não existe, o que concorre para minorar os problemas administrativos, relativos ao gerenciamento de bacias hidrográficas. Esses óbices são potencializados no Brasil, devido ao fato de este país se organizar politicamente sob a forma de uma federação. Tal imbróglio, no entanto, pode ser resolvido através da formação dos Comitês de Bacia Hidrográfica, que têm como braço executivo as Agências de Água, e que são definidos no Capítulo III da Lei 9.433/97. O existente na área de estudo, o Comitê da Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros dos Rios Preto e Paraibuna – CBH Preto e Paraibuna, foi instituído pelo Decreto nº 44.199, de 29 de dezembro de 2005.

O sexto e último fundamento define que **“a gestão dos recursos hídricos deve ser descentralizada e deve contar com a participação do Poder Público, dos usuários e das comunidades”**.

A Lei 9.433 prevê também no seu Artigo 2º, **Capítulo II (Dos Objetivos)**, os **objetivos** da Política Nacional de Recursos Hídricos.

O primeiro objetivo seria **“assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos.”** Este objetivo vai ao encontro do conceito de desenvolvimento sustentável, presente no Relatório Brundtland, concluído no ano de 1987, que acabou se transformando no clássico “Nosso futuro comum”.

Um outro objetivo seria a **“utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável.”** A

utilização racional, de que trata o objetivo em questão, deverá ser observada no momento da concessão das outorgas bem como na confecção dos planos de recursos hídricos.

O terceiro objetivo da Política Nacional de Recursos Hídricos seria **“a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais”**.

A Lei nº 9.433/97 prevê ainda, no seu Artigo 3º, **Capítulo III (Das Diretrizes Gerais de Ação)**, que constitui diretriz geral para a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos, dentre outros, a gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos quantidade e qualidade. O texto da lei é claro quando afirma que os parâmetros qualitativos e quantitativos dos recursos hídricos devem ser sistematicamente observados durante a gestão dos mesmos. Outras duas diretrizes gerais que devem ser destacadas são: a integração da gestão dos recursos hídricos com a gestão ambiental e a articulação da gestão de recursos hídricos com a do uso do solo. Deverá haver, por exemplo, compatibilidade entre a legislação ambiental em questão e a de uso e parcelamento do solo. Pode-se citar a sintonia que necessariamente deverá ocorrer, na elaboração dos planos de recursos hídricos, uma vez que deverão ser observados, dentre outros, as unidades de conservação existentes e os planos diretores municipais, no sentido de integrá-los à gestão, pois, caso contrário, haverá sobreposição de uma legislação em relação a outra e poderão ocorrer interpretações contraditórias.

A Lei 9.433/97 preconiza também, no seu Artigo 5º, **Capítulo IV (Dos Instrumentos)**, que são **instrumentos** da Política Nacional de Recursos Hídricos: os Planos de Recursos Hídricos, o enquadramento dos corpos de água em classes, a outorga, a cobrança e o Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos.

Os **Planos de Recursos Hídricos**, segundo o Artigo 6º da própria lei, “são planos diretores que visam a fundamentar e orientar a implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos”. (BRASIL, 1997)

O segundo instrumento, **enquadramento dos corpos de água em classes**⁸, segundo os usos preponderantes da água, tem por objetivos garantir que as águas tenham qualidade adequada aos usos mais exigentes a que forem destinadas bem como diminuir os custos de combate à poluição das águas mediante ações preventivas permanentes.

⁸ Segundo a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, as águas se dividem em doces, salobras e salinas.

Silva e Pruski (2000, p. 178) definem que:

O termo “estabelecer” as classes de corpos de água significa, numa primeira fase, dar as características de cada classe e, numa segunda fase, constatar as características existentes de um corpo hídrico e propor as metas para alcançar determinada classe e, finalmente, a fase de classificação de cada corpo hídrico na classe devida.

O Artigo 10 define que as classes de corpos de água serão estabelecidas pela legislação ambiental. A Resolução CONAMA – 20/86, substituída pela Resolução CONAMA - 357/2005, definia nove classes de água no Brasil, sendo cinco classes referentes às águas doces.

Silva e Pruski (2000) explicam que os usos pretendidos para as águas dentro de uma determinada bacia, ou segmento de curso d’água, deverão ser discutidos e apontados nos Planos de Recursos Hídricos, que já deverão ter sido confeccionados após minucioso estudo sobre a situação das águas da bacia em questão. Segundo os autores, os Planos deverão propor ações permanentes para que os efluentes não confirmem ao corpo receptor características em desacordo com o seu enquadramento. Silva e Pruski (2000) comentam ainda que os Planos podem até propor a modificação da classificação das águas, no sentido de os usos serem mais ou menos exigentes.

A **outorga** dos direitos de uso de recursos hídricos é o terceiro dos instrumentos da PNRH e diz respeito à autorização, não definitiva⁹, para a utilização de um percentual da vazão de um determinado curso de água. Esse percentual será definido pelo Plano de Recursos Hídricos (PRH) da bacia hidrográfica em questão. A autoridade responsável pela concessão das outorgas de direito de uso de recursos hídricos deverá conhecer minuciosamente o empreendimento que requer essa autorização, procurando saber detalhes sobre o Estudo Prévio de Impacto Ambiental (nos casos em que este seja exigido), acompanhando as audiências públicas e realizando vistorias no local do empreendimento, quando julgar necessário. A outorga e a cobrança (que será abordada adiante) são instrumentos que tentam racionalizar o uso da água em uma determinada bacia. Ao pedir a outorga, o requerente informa sua necessidade, e é com base nesta informação que a cobrança será efetuada. As outorgas serão previstas nos Planos de Recursos Hídricos das Bacias Hidrográficas e deverão contemplar todos os usuários da bacia.

⁹ A Lei 9.433/97 define que a outorga terá validade por um prazo máximo de 35 anos, podendo haver sua renovação (Artigo 16) ou suspensão (Artigo 15).

O quarto dos instrumentos da PNRH é a **cobrança** pelo uso dos recursos hídricos, a qual tem por objetivo “obter recursos financeiros para o financiamento dos programas e intervenções contemplados nos Planos de Recursos Hídricos” (Artigo 19, III, da Lei 9.433/97). Outorga e cobrança são instrumentos importantíssimos para a racionalização do uso da água numa bacia. São requeridos tanto para a captação nos cursos d’água, quanto para o lançamento de efluentes em tais corpos hídricos. Os recursos provenientes da cobrança pelo uso dos recursos hídricos de uma bacia deverão ser aplicados na conservação da própria bacia.

O quinto, e último dos instrumentos da PNRH, o **Sistema de Informações sobre Recursos Hídricos**, segundo o Art 25 da Lei 9.433/97, “é um sistema de coleta, tratamento, armazenamento e recuperação de informações sobre recursos hídricos e fatores intervenientes em sua gestão.” O objetivo principal deste instrumento é a universalização e integração das informações sobre recursos hídricos. As informações por ele geradas deverão balizar a tomada de decisão dos responsáveis por sua gestão bem como informar a sociedade como um todo. Esse sistema é de fundamental importância, pois facilita o acesso de governantes, empresas concessionárias de água, instituições de ensino e pesquisa, organizações não-governamentais e população em geral aos dados relativos aos recursos hídricos, superficiais ou subterrâneos.

Resolução CONAMA nº. 357/2005

A Resolução do CONAMA nº. 357, de 17 de março de 2005, substitui a Resolução do CONAMA nº. 274, de 29 de novembro de 2000 e dispõe, dentre outros assuntos, sobre classes de água, referentes ao **enquadramento dos corpos de água em classes**, que é um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos da Lei 9.433/97.

A Resolução em questão define, dentre outros, os conceitos de **águas doces** (salinidade igual ou inferior a 0,5‰), **águas salobras** (salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰) e **águas salinas** (salinidade igual ou superior a 30‰).

No Artigo 4º do Capítulo II, a Resolução 357/2005 trata especificamente das águas doces, que são classificadas em: classe especial, classe 1, classe 2, classe 3 e classe 4. As águas enquadradas como “classe especial” requerem um tratamento mínimo (desinfecção), antes de sua distribuição para o consumo, em função da excelência de seus parâmetros qualitativos, ao passo que as águas enquadradas como “classe 4” não podem se destinar ao abastecimento humano face a seu nível de degradação.

A Resolução em questão trata também das condições e padrões de qualidade das

águas, das condições e padrões de lançamento de efluentes e das diretrizes ambientais para o enquadramento dos corpos de água, sendo o padrão de referência a ser seguido para a manutenção ou recuperação da qualidade das águas de uma determinada bacia hidrográfica.

Portaria nº. 010/98 (Instituto Mineiro de Gestão das Águas – IGAM)

As referências de vazão mínima mais utilizadas pelos órgãos responsáveis pela emissão de outorgas são a $Q_{7,10}$ e a Q_{95} . A $Q_{7,10}$ corresponde à vazão mínima anual com 7 dias de duração e 10 anos de tempo de retorno. Já a Q_{95} é igual à vazão para 95% de permanência no tempo.

A utilização da vazão mínima para a concessão das outorgas de uma bacia se faz necessária a fim de que sejam compatibilizados, pelo órgão outorgante (no caso de Minas Gerais, o IGAM), os interesses dos outorgados, preservando-se, concomitantemente, a vazão ecológica no corpo hídrico.

A Portaria nº. 010/98, do IGAM, altera a redação da Portaria nº. 030/93, de 07 de junho de 1993 e dispõe, dentre outros assuntos, sobre a chamada **vazão outorgável**, que é o valor de referência para a quantidade de água disponível em cada corpo hídrico, sobre a qual se calcularão os percentuais máximos que poderão ser outorgados.

Dentre outras deliberações, a Portaria 010/98 define que:

§ 1º - Até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a $Q_{7,10}$ (vazão mínima de sete dias observados em um período de dez anos de recorrência), para cada Bacia.

§ 2º - Fixar em 30% (trinta por cento) da $Q_{7,10}$ o limite máximo de derivações consuntivas¹⁰ a serem outorgadas na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando garantidos, a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da $Q_{7,10}$.

§ 3º - Quando o curso de água for regularizado pelo interessado, o limite de outorga poderá ser superior a 30% (trinta por cento) da $Q_{7,10}$ aproveitando o potencial de regularização, desde que seja garantido um fluxo residual mínimo a jusante, equivalente a 50% (cinquenta por cento) da vazão média de longo termo.

É relevante ressaltar que a vazão outorgável no estado de Minas Gerais, se comparada à praticada em outras unidades da federação, é bastante restritiva. O estado do Rio de Janeiro,

¹⁰ A forma de utilização dos recursos hídricos é classificada como consuntiva e não-consuntiva. É consuntiva quando a água é captada do seu curso natural e apenas parte dela retorna. (SETTI, 2001 p. 45; 57) A utilização não consuntiva ocorre quando não existe perda de água após o uso do recurso hídrico.

por exemplo, usa, como vazão outorgável, 50% da $Q_{7,10}$ (Portaria n.º 307/2002 da Superintendência Estadual de Rios e Lagoas - SERLA).

2.2.2 A COBERTURA FLORESTAL E A LEGISLAÇÃO EM VIGOR

A importância das pequenas bacias hidrográficas para o abastecimento humano, bem como a relação entre cobertura vegetal e qualidade da água, já foram discutidos nos dois primeiros subcapítulos do presente capítulo. O fato de a bacia hidrográfica estudada ser o segundo maior manancial de abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora aumenta a importância do cumprimento da legislação que versa sobre a cobertura florestal pelos motivos anteriormente expostos.

Lei n.º. 4.771 (Código Florestal), Lei n.º 7.803, Resolução CONAMA n.º. 303/2002, Lei Estadual n.º. 14.309/2002 e Decreto n.º. 43.710/2004

A Reserva Legal que hoje conhecemos tem sua origem ligada ao Decreto Federal n.º 23.793, de 23 de janeiro de 1.934 (Código Florestal), apesar de não aparecer no texto do já referido documento com essa denominação. O Código Florestal dispunha, no seu Artigo 23, que “nenhum proprietário de terras cobertas de matas poderá abater mais de três partes da vegetação existente, salvo o disposto nos artigos 24¹¹ e 51¹² (25% - vinte e cinco por cento)”.

A preocupação expressa no Decreto, publicado no governo de Getúlio Vargas, era de se manter uma reserva extrativista que futuramente poderia ser utilizada pelo proprietário sem que fossem previstas quaisquer sanções aos que dela fizessem uso.

O Código de 1934 vigorou até meados da década de 1960, sendo substituído pelo Novo Código Florestal, instituído pela Lei n.º 4.771, de 15 de setembro de 1965. Neste Novo Código, instituído no governo Castelo Branco, ainda não aparecia o termo Reserva Legal.

¹¹ Art. 24. “As proibições dos Artigos 22 e 23 só se referem à vegetação espontânea, ou resultante do trabalho feito por conta da administração pública, ou de associações protetoras da natureza. Das resultantes de sua própria iniciativa, sem a compensação conferida pelos poderes públicos, poderá dispor o proprietário das terras, ressalvados os demais dispositivos deste código, e a desapropriação na forma da lei.” (BRASIL, 1935)

¹² Art. 51. “É permitido aos proprietários de florestas heterogêneas, que desejarem transformá-las em homogêneas, para maior facilidade de sua exploração industrial, executar trabalhos de derrubada, ao mesmo tempo, de toda a vegetação que não houver de subsistir, sem a restrição do art. 23, contanto que, durante o início dos trabalhos, assinem, perante a autoridade florestal, termo de obrigação de replantio e trato cultural por prazo determinado, com as garantias necessárias.” (BRASIL, 1935)

O Código impôs restrições à exploração das florestas, em termos de percentuais que variavam conforme a região do país, como demonstra o artigo reproduzido a seguir:

Art. 16 - As florestas de domínio privado, não sujeitas ao regime de utilização limitada e ressalvadas as de preservação permanente, previstas nos artigos 2º e 3º desta Lei, são suscetíveis de exploração, obedecidas as seguintes restrições:
a) nas regiões Leste Meridional¹³, Sul¹⁴ e Centro-Oeste¹⁵, esta na parte sul, as derrubas de florestas nativas, primitivas ou regeneradas, só serão permitidas desde que seja em qualquer caso, respeitado o limite mínimo de 20% da área de cada propriedade com cobertura arbórea localizada, a critério da autoridade competente.
(...)

Apesar de a nova legislação ser menos restritiva¹⁶ que o Código Florestal de 1934, a maior parte dos proprietários de imóveis não acataram as restrições impostas pelo Novo Código Florestal, no que se refere a deixar 20% da propriedade com cobertura florestal.

A Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989, alterou o art. 16 do Código Florestal e trouxe a denominação “Reserva Legal”, mantendo a obrigação de se reservarem no mínimo 20% (vinte por cento) de cada propriedade, área em que não seria permitido o corte raso e que deveria ser averbada à margem da inscrição da matrícula do imóvel, sendo vedada expressamente a alteração de sua destinação, nos seguintes termos:

Art. 16 - As florestas e outras formas de vegetação nativa, ressalvadas as situadas em área de preservação permanente, assim como aquelas não sujeitas ao regime de utilização limitada ou objeto de legislação específica, são suscetíveis de supressão, desde que sejam mantidas, a título de reserva legal, no mínimo:
III - 20% (vinte por cento), na propriedade rural situada em área de floresta ou outras formas de vegetação nativa localizada nas demais regiões do país;
§ 8º - A área de reserva legal deve ser averbada à margem da inscrição de matrícula do imóvel, no registro de imóveis competente, sendo vedada a alteração de sua destinação, nos casos de transmissão, a qualquer título, de desmembramento ou de retificação da área, com as exceções previstas neste Código. (BRASIL, 1935)

O Artigo 14 da Lei Estadual (MG) nº 14.309/2002 define que **Reserva Legal** é a área localizada no interior de uma propriedade ou posse rural, representativa do ambiente natural da região e necessária ao uso sustentável dos recursos naturais, à conservação e reabilitação

¹³ Na divisão regional do IBGE de 1945, a Região Leste Meridional era composta pelos atuais estados de Minas Gerais, Rio de Janeiro, Espírito Santo e pelo extinto estado da Guanabara.

¹⁴ Na divisão regional do IBGE de 1945, a Região Sul era composta pelos atuais estados de São Paulo, Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul.

¹⁵ Na divisão regional do IBGE de 1945, a Região Centro-Oeste era composta pelos atuais estados do Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Tocantins e Distrito Federal.

¹⁶ O Código Florestal de 1934 preconizava uma “reserva legal” de 25%, contra 20% de “reserva legal” do Novo Código Florestal.

dos processos ecológicos à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção da fauna e flora nativas. No estado de Minas Gerais, é regulamentada pelo Decreto 43.710 (08/01/2004), que estabelece a Reserva Legal como área equivalente a, no mínimo, 20% da área total da propriedade.

No caso de desmembramento da propriedade, a qualquer título, a área da reserva legal será parcelada na forma e na proporção do desmembramento da área total, sendo proibida a alteração de sua destinação.

A Reserva Legal não inclui as áreas de preservação permanente, a não ser nos casos previstos pela legislação¹⁷ em vigor. A exceção, mencionada no texto, se refere ao “Polígono das Secas”, localizado no norte do estado de Minas Gerais, no domínio do clima semi-árido. Neste caso, será admitida a área de preservação permanente fazendo parte do cômputo da reserva legal se não houver nenhuma autorização para alteração do uso do solo na propriedade.

A Resolução nº 303 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), de 13 de maio de 2002, regulamentou o artigo 2º do Código Florestal Brasileiro - a Lei nº. 4.771, de 15 de setembro de 1965, que dispõe sobre as Áreas de Proteção Permanente – APPs.

A Resolução 303 do CONAMA define em seu artigo 3º, que constitui Área de Preservação Permanente, dentre outras, a área situada:

- I - em faixa marginal, medida a partir do nível mais alto, em projeção horizontal, com largura mínima, de:
 - a) trinta metros, para o curso d'água com menos de dez metros de largura; (...)
- II - ao redor de nascente ou olho d'água, ainda que intermitente, com raio mínimo de cinquenta metros de tal forma que proteja, em cada caso, a bacia hidrográfica contribuinte; (...)
- V - no topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação à base;
- VI - nas linhas de cumeada, em área delimitada a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura, em relação à base, do pico mais baixo da cumeada, fixando-se a curva de nível para cada segmento da linha de cumeada equivalente a mil metros.
- VII - em encosta ou parte desta, com declividade superior a cem por cento ou quarenta e cinco graus na linha de maior declive. (MINAS GERAIS, 2002)

¹⁷“Artigo 15 - Na propriedade rural destinada à produção, será admitido pelo órgão ambiental competente o cômputo das áreas de vegetação nativa existentes em área de preservação permanente no cálculo do percentual de reserva legal, desde que não implique conversão de novas áreas para o uso alternativo do solo e quando a soma da vegetação nativa em área de preservação permanente e reserva legal exceder a:

- I - 50% (cinquenta por cento) da propriedade rural com área superior a 50 ha (cinquenta hectares), quando localizada no Polígono das Secas, e igual ou superior a 30 ha (trinta hectares), nas demais regiões do Estado;
- II - 25% (vinte e cinco por cento) da propriedade rural com área igual ou inferior a 50 ha (cinquenta hectares), quando localizada no Polígono das Secas, e igual ou inferior a 30 ha (trinta hectares), nas demais regiões do Estado.” (MINAS GERAIS, 2002)

A determinação das APPs de topo de morro, seja em campo ou nos trabalhos de gabinete, constitui-se como tarefa de grande complexidade, o que dificulta sua fiscalização. Nos limites da bacia estudada, as APPs definidas pela resolução em questão são sistematicamente ignoradas pelos proprietários de terras.

2.3 A modelagem como instrumento de verificação da relação entre a cobertura florestal e a disponibilidade hídrica

A possibilidade de se prever, através de modelos matemáticos, o comportamento das variáveis hidrológicas, com margens de erro aceitáveis, é imprescindível no processo de gerenciamento de recursos hídricos. (DI BELLO, 2005)

O estudo sobre modelos hidrológicos iniciou-se nos EUA, nos primeiros anos da década de 1930, com a Teoria da Hidrógrafa Unitária, proposta por Sherman. Essa teoria considerava linear a relação chuva-vazão, sem levar em conta o percentual de água infiltrada. (ibid.)

Com o avanço tecnológico ocorrido principalmente após a 2ª Guerra Mundial, a ciência hidrológica evoluiu muito e os modelos hidrológicos se tornaram mais complexos, melhor representando, no espaço e no tempo, os diversos fenômenos contidos no ciclo hidrológico. (ibid.)

De uma maneira geral, os modelos podem-se dividir em dois grandes grupos: os estocásticos e os determinísticos. Os modelos estocásticos têm similaridade com os estudos realizados em épocas passadas para prever estoques de produtos no comércio. Com base nesses estudos, são realizadas as previsões para o futuro. Utilizam, por exemplo, dados estatísticos de séries históricas de vazões, para deduzir o comportamento futuro através de séries sintéticas geradas com base nas mesmas hipóteses. (ibid.)

De acordo com Di Bello (2005), modelos estocásticos “são modelos que não se preocupam em explicitar os fenômenos hidrológicos, mas apenas em estabelecer uma relação de causa-efeito.” Por outro lado, os modelos determinísticos baseiam-se no entendimento conceitual dos fenômenos físicos, para tentar explicar e reproduzir as condições de geração das variáveis hidrológicas. Apenas na década de 60, iniciou-se formalmente a era dos modelos hidrológicos determinísticos, com o desenvolvimento do modelo Stanford¹⁸, que originou

¹⁸ CRAWFORD, N.H., LINSLEY, R.K., 1966, *Digital simulation in hydrology, Stanford Watershed Model IV*, Technical Report 39 - Department of Civil Engineering, Stanford University, USA.

toda uma geração de modelos conceituais, nos quais cada fase da parcela terrestre do ciclo hidrológico é representada por meio de um reservatório. (CRAWFORD, N.H., LINSLEY, apud DI BELLO, 2005, p. 9)

Existem vários modelos hidrológicos, dentre os quais podemos citar: o Modelo Boughton, o SMA-NWSRFS, o IPH II, o SIXPAR, o Sacramento, o Chuva-Vazão NAM, o WATFLOOD, o HidroFlu, o ModCel e o SMAP. Este último é um modelo hidrológico do tipo chuva-vazão, tradicionalmente empregado na engenharia nacional de recursos hídricos.

2.3.1 O MODELO DE CÉLULAS

O Modelo de Células (ModCel), adotado para a confecção do presente trabalho, foi desenvolvido no início da década de 1990, no Laboratório de Hidrologia da Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro - COPPE/UFRJ. Diversos avanços vêm sendo incorporados nesta base de modelação, criada em seu primeiro momento para a representação de grandes planícies alagadas¹⁹. (MASCARENHAS; MIGUEZ apud MAGALHÃES, 2005, p. 39)

A inspiração para a concepção desse modelo derivou do trabalho desenvolvido no delta do rio Mekong (localizado no Vietnã, país da península da Indochina, pertencente ao sudeste asiático), como demonstra Magalhães (2005, p.39):

Bacias naturais, para fins de modelação de seu comportamento e resposta na forma de vazões, podem ser divididas em sub-regiões, ou compartimentos, com 39 características aproximadamente homogêneas, de modo a representar a diversidade hidrológica de cada área, bem como permitir a adequada caracterização topográfica do espaço físico. Este é o conceito fundamental da modelagem por células, originalmente apresentada por Zanobetti, Lorgeté, Preissman e Cunge (1970) para a representação do escoamento no delta do rio Mekong, complexo sistema de canais sujeitos à influência de maré e situados na foz de uma grande bacia hidrográfica.

De acordo com Magalhães (2005), em 1997, os autores deste modelo vislumbraram a possibilidade de sua aplicação na representação de cheias em ambientes urbanos, abrindo uma nova linha de pesquisa que foi objeto de diversas teses como a de Miguez²⁰ (2001 apud

¹⁹ MASCARENHAS, F.C.B., MIGUEZ, M.G., 1994, Modelação de Grandes Planícies de Inundação por um Esquema de Células - Aplicação ao Pantanal de Mato-Grosso. Revista Brasileira de Engenharia (RBE), Caderno de Recursos Hídricos, v.12, n.2, dezembro.

²⁰ MIGUEZ, M. G., 2001 Modelo Matemático de Células de Escoamento para Bacias Urbanas, Tese de D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

MAGALHÃES, 2005), que apresentou os fundamentos do novo modelo a ser utilizado nas aplicações urbanas, e a de Campos²¹ (2001), que procurou representar a influência do acúmulo de resíduos sólidos em elementos da rede de drenagem, provocando a redução da capacidade de descarga destes elementos. (ibid.) As primeiras versões do Modelo de Células faziam uso de uma representação hidrológica simplificada. A partir do trabalho de Magalhães (2005), pode-se dizer que foi iniciada uma nova fase no desenvolvimento do modelo, que passou a ser utilizado, também, como uma ferramenta voltada para o apoio ao processo de gerenciamento, deixando de se restringir apenas a estudos de cheias.

As seguintes características justificam sua aplicação, segundo Magalhães (2005):

- estrutura modular das células, que permite interface com modelos que busquem a representação dos processos que ocorrem no interior da célula. Como exemplos de modelos ou sub-modelos que tratam dos processos que ocorrem em uma célula, podemos citar o Modelo Hidrológico ou o Modelo de Avaliação de Poluição Difusa (que brevemente será desenvolvido no módulo de qualidade);
- modelo hidrodinâmico já aplicado e testado no desenvolvimento de diversos projetos, teses, dissertações e outras aplicações;
- facilidade de utilização de relações hidráulicas já disponíveis no modelo para a representação de elementos dos sistemas hídricos;
- modelo que já possui a representação topológica implementada;
- possibilidade de gerar um campo de velocidades por período de tempo para as ligações entre células, que poderá ser utilizado no módulo de qualidade de água;
- possibilidade de substituição ou modificação de um módulo sem que se realizem alterações estruturais na base do modelo;
- possibilidade de utilizar células de diversas conformações na representação de rios, sub-bacias e reservatórios.

A distribuição espacial de variáveis hidrológicas, como chuvas, parâmetros de separação do escoamento, evapotranspiração e outras são consideradas, admitindo um comportamento homogêneo no interior da célula. Assim, as chuvas, por exemplo, podem ser simuladas pela sua introdução, que pode ser diferenciada por compartimento, cobrindo toda a área da bacia. Esse tipo de precipitação, então, espacialmente distribuída sobre a bacia hidrográfica, pode ser transformada em vazão através de processos hidrológicos desenvolvidos no interior de cada compartimento. A partir dessa transformação, a água

²¹CAMPOS, R. O. G, 2001, Inundações Urbanas: Considerações Gerais e Modelação Matemática com Incorporação da Obstrução por Resíduos Sólidos, Tese de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

disponível em cada célula pode escoar entre os compartimentos através de relações hidrodinâmicas, como a Equação de Dinâmica de Saint-Venant²², formando uma rede de escoamento integrada. Para fins de ilustração do conceito de funcionamento do modelo, pode-se considerar, genericamente, a bacia hipotética subdividida em células, representadas, nesse caso, pelas sub-bacias da bacia hidrográfica hipotética que será mostrada na Figura 2.1.

Segundo Magalhães (2005), neste tipo de modelação, constrói-se um mosaico capaz de simular o comportamento hidrológico e hidráulico de uma bacia hidrográfica, integrando o espaço físico através de compartimentos articulados, denominados células de escoamento. Em bacias hidrográficas localizadas nas zonas rurais essas células podem ser formadas pelas sub-bacias. Essas células normalmente são capazes de realizar internamente o processo de transformação de chuva em vazão e trocar vazões entre si. A modelação é iniciada pela representação da topografia local, supondo que tanto as bacias hidrográficas como o leito do curso d'água principal e seus afluentes podem ser divididos em um certo número de células. Cada célula comunica-se com as suas vizinhas através de ligações que correspondem a uma troca de vazão, reproduzindo os padrões de escoamento, como pode ser observado na figura a seguir:

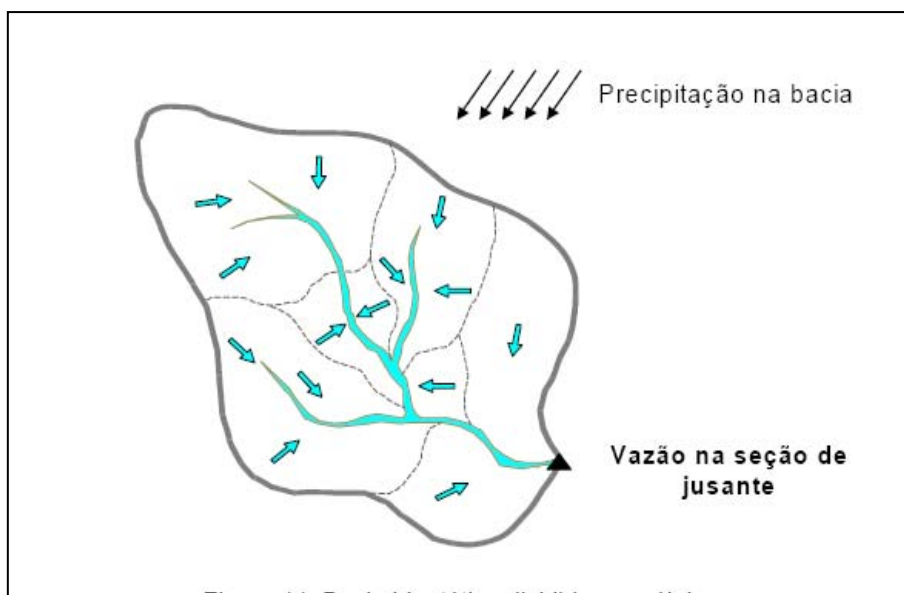


Figura 2.1 - Bacia hipotética dividida em células.
Fonte: MAGALHÃES, 2005.

²² As equações de Saint-Venant foram derivadas em meados do século XIX para representar o escoamento transiente e unidimensional em rios. Constitui-se de um sistema de duas equações diferenciais parciais que representam a conservação de massa e de momento linear em canais.

2.3.1.1 Conceitos fundamentais e premissas da modelagem por células

Os conceitos básicos do Modelo de Células são a divisão da área a ser modelada em células homogêneas e a ligação destas através de relações hidráulicas capazes de representar a troca de vazões entre tais células.

As células de escoamento, agrupadas ou de forma isolada, podem representar tanto estruturas hidráulicas como paisagens, sejam elas naturais ou urbanas, de maneira tal que seja possível reproduzir diversos padrões de escoamento, dentro ou fora da rede de drenagem, a partir das interações entre as células trabalhadas.

Magalhães (2005), um dos pesquisadores que aperfeiçoam o Modelo de Células, afirma que o ModCel, apesar de trabalhar com relações hidráulicas unidimensionais, é capaz de representar o escoamento de forma bi-dimensional. No caso da representação de cheias em bacias urbanas, o modelo pode, inclusive, trocar vazões entre células superficiais e células subterrâneas (redes de captação de águas pluviais), possibilitando uma representação do escoamento em três dimensões. A Figura a seguir ilustra a divisão em células e as trocas d'água num corte hipotético de uma bacia urbana:

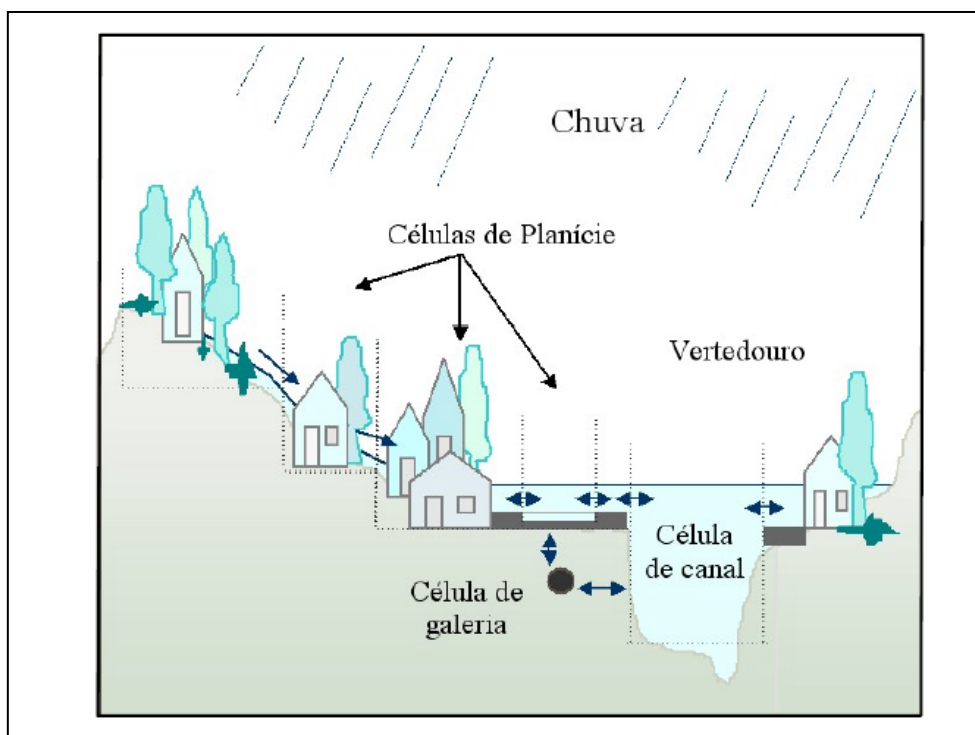


Figura 2.2 - Ilustração da divisão e troca d'água entre as células numa bacia urbana.
Fonte: MAGALHÃES, 2005.

A capacidade de representação do modelo é, portanto, obtida através dos tipos e do arranjo de células e ligações. Uma propriedade importante no que se refere às células é a existência de um centro de célula, que não tem a ver com o centro geométrico e sim com o centro de escoamento desta. Ou seja, numa célula que representa uma área na qual existe um talvegue (onde o escoamento se concentra), o centro da célula obrigatoriamente deve estar em alguma posição ao longo deste. O escoamento entre duas células quaisquer ocorre entre seus centros, assim, quando o modelo busca informações para determinação do escoamento entre estas, como, por exemplo, o desnível da linha d'água, o que o modelo verifica realmente é a diferença de cotas do nível d'água em cada um dos centros e a distância entre estes.

Segundo Magalhães (2005, p. 42), “todos os modelos estão sujeitos a premissas básicas e que, de certo modo, simplificam a solução do problema, sem que com isso haja perda significativa da qualidade dos resultados”. Em se tratando do Modelo de Células, as hipóteses básicas são as seguintes:

- a bacia hidrográfica pode ser subdividida em compartimentos, usualmente chamados de células, formando um mosaico representativo do espaço modelado;
- na célula, o perfil da superfície livre é considerado horizontal e a área desta superfície depende da elevação do nível d'água no interior da célula;
- o volume de água contido em cada célula está diretamente relacionado com o nível d'água “ Z_i ” no centro da célula, ou seja, $V_i = V(Z_i)$;
- o modelo proposto articula as células em “loop” (modelo anelado), com possibilidade de escoamento em várias direções na bacia trabalhada;
- cada célula só pode comunicar-se hidraulicamente com células vizinhas;
- cada célula recebe a contribuição de precipitações, com qualquer variação de tempo, e realiza processos hidrológicos internos para transformação de chuva em vazão;
- as vazões trocadas com as células vizinhas somam-se à vazão resultante da transformação da chuva;
- o escoamento entre células pode ser calculado através de leis hidráulicas conhecidas, como, por exemplo, a Equação de Escoamento à Superfície Livre, de Saint-Venant; a equação de escoamento sobre vertedouros, livres ou afogados, dentre outras;
- a vazão entre duas células adjacentes, em qualquer tempo, é apenas função dos níveis d'água no centro dessas células, ou seja, $Q_{i,k} = Q(Z_i, Z_k)$;
- aplica-se o princípio da conservação de massa a cada célula;
- as células são arranjadas em um esquema topológico que permite a solução numérica pelo método da dupla varredura.

2.3.1.2 Propriedades das células

A capacidade de representação do modelo, conforme demonstrado anteriormente, está atrelada ao uso de diversos tipos de células e ligações. Portanto, fica explícito que algumas informações atinentes ao modelo se referem às células e outras se referem às ligações entre estas. Para diferenciar entre si as células e ligações do modelo, cada qual com suas características particulares, o responsável pela modelação deve especificar a que tipo pertence cada uma delas.

Magalhães (2005) afirma que o tipo de célula de escoamento é que define as características do armazenamento da água na célula, além de características da representação hidrológica e de usos da água feitos no interior da célula. O tipo de ligação entre células define qual relação hidráulica será utilizada para simular o escoamento entre as células comunicadas pela ligação. À medida que o modelo vai se desenvolvendo e necessitando de uma maior capacidade de representação, vão sendo criados novos tipos de células e ligações.

As células podem representar a natureza de forma isolada ou em conjuntos, formando estruturas mais complexas. Um conjunto resumido de tipos de células de escoamento pode eventualmente fornecer uma grande capacidade de representação, se forem consideradas suas possíveis associações e os processos desenvolvidos ao nível de cada célula, para a transformação de chuva em vazão. A definição do conjunto de tipos de ligação entre células, que são representativos de leis hidráulicas, pode fazer grande diferença na tentativa de reproduzir a grande variedade de padrões de escoamento, presentes em um cenário de modelação. A atividade de modelação topográfica, hidrológica e hidráulica deve então contar com um conjunto pré-definido de tipos de célula e de tipos possíveis de ligações entre células. A representação topográfica é um dos pilares de sustentação desta concepção, dando robustez ao modelo.

Uma informação relevante referente a cada uma das células é a sua área. O Modelo de Células utiliza, em alguns tipos de células, um conceito importante, que é a diferenciação entre a área total da célula (aquela sobre a qual efetivamente ocorre a precipitação) e a área de armazenamento (fração da área total da célula na qual de fato se verifica a acumulação de água). A Figura 2.3 ilustra a aplicação deste conceito em uma célula em que parte da área está situada numa região de encosta e parte está situada numa região mais plana. Na determinação de um alagamento nesta célula, seria mais adequado, e próximo do real, considerar a acumulação de água ocorrendo apenas na região plana.

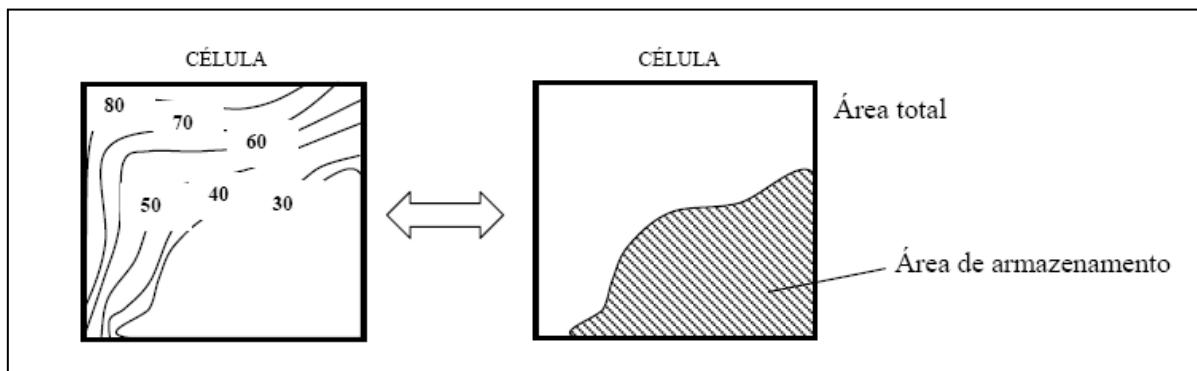


Figura 2.3 - Ilustração da diferença entre a área total e a de armazenamento.
Fonte: MAGALHÃES, 2005.

Os tipos básicos de células encontram-se listados a seguir:

- **Células do tipo rio ou canal:** sobre estas células é que se desenvolve o escoamento principal da drenagem a céu aberto. O conceito de área total e de armazenagem não se aplica a células deste tipo, pois, neste caso, ambas são idênticas.
- **Células de galeria:** representam os condutos que formam a rede subterrânea de captação de águas pluviais. Sobre células deste tipo não faz sentido considerar a precipitação (células subterrâneas), pois a água que aflui a células deste tipo é originária de células superficiais. O conceito de área total e de armazenagem também não se aplica a este tipo de célula, sendo ambas idênticas. Este tipo de célula não será empregado na modelação de bacias localizadas em áreas rurais.
- **Células de planície urbana:** representam frações da superfície da bacia. Em células deste tipo é possível definir as áreas, total e de armazenagem, diferentes (caso seja de interesse do modelador).
- **Células de planície rural** (também denominadas em alguns textos de células de encostas): são semelhantes às células de planície urbana, apresentando como única diferença a ausência dos patamares que representam as estruturas urbanas, como ruas, calçadas e edificações nas células de planície urbana.

Neste tipo de célula, o fundo da região compreendida pela área de armazenagem está todo no mesmo nível, equivalente à cota topográfica do centro da célula. A Figura 2.4 mostra a diferença entre como o modelo considera o fundo das células de planície urbana e rural. Na verdade, o modelo não “reconhece” se a célula pertence a uma área “urbana” ou “rural” ou mesmo se pertence a uma região onde a topografia é típica de “planície” ou “encosta”, sendo estes nomes meramente escolhidos para a classificação de células com características de ocupação e armazenagem diferentes.

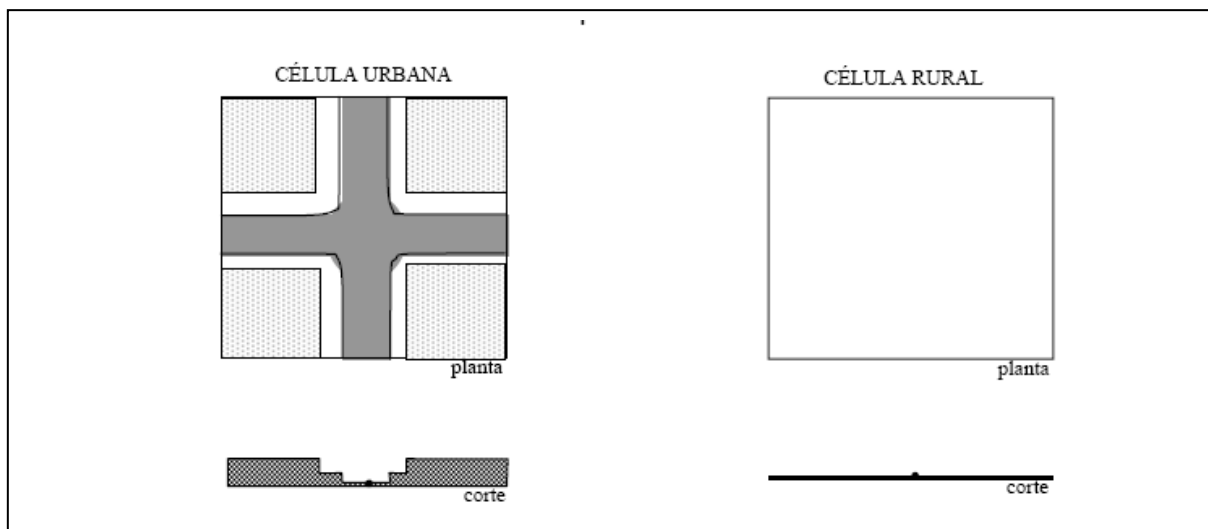


Figura 2.4 - Diferença no padrão de armazenamento em células de planície rurais e urbanas.
Fonte: MAGALHÃES, 2005.

- **Células de reservatório:** têm como característica fundamental a definição de uma curva cota-área qualquer, informada pelo usuário do modelo através de uma tabela contendo pares de valores desta curva.

2.3.1.3 Propriedades e tipos de ligações

As leis hidráulicas de descarga entre células podem ser de vários tipos. Estas relações irão expressar os tipos de ligação hidráulica disponíveis para representação da diversidade dos escoamentos, na rede de drenagem e sobre a planície de inundação, conforme descrito a seguir, resultando em relações dos tipos abaixo relacionados.

- **Ligação Tipo Rio:** corresponde ao escoamento em rios e canais, podendo também ser aplicada ao escoamento em ruas. A formulação utilizada para representar ligações deste tipo é a equação dinâmica de Saint Venant. Considera-se aqui que a variação da velocidade do escoamento no tempo é maior do que esta variação no espaço, de forma que a derivada da velocidade em relação à distância longitudinal pode ser desprezada, ou seja, considera-se apenas o termo local dentre os dois termos de inércia.
- **Ligação Tipo Planície:** corresponde ao escoamento à superfície livre sem nenhum dos termos de inércia, sendo usual na ligação entre quadras alagadas e podendo representar o escoamento através das ruas. Esta ligação é equivalente a modelos hidrodinâmicos de analogia à difusão.

- **Ligação Tipo Vertedouro:** esta ligação representa o vertimento, por transbordamento do rio ou canal, para a planície e entre células da planície, em locais onde barreiras físicas formam fronteiras que passam a funcionar como vertedouros.
- **Ligação Tipo Orifício:** para este tipo de ligação, utiliza-se a relação clássica do escoamento em orifícios.
- **Ligação Tipo Equação Cota x Descarga (para estruturas especiais calibradas em modelo reduzido):** neste caso, a equação reproduz uma relação genérica entre descarga e cota. Esta opção abre uma interessante possibilidade, que é a de conjugar o modelo matemático com modelos reduzidos, que podem dar importantes informações quanto à definição de relações para estruturas específicas.

3 METODOLOGIA

O capítulo 3 descreverá a metodologia utilizada na confecção dessa dissertação, que foi produzida, de uma forma geral, seguindo as etapas abaixo relacionadas, as quais serão posteriormente detalhadas.

- 1) elaboração do mapa de uso e cobertura do solo;
- 2) delimitação das APP's;
- 3) modelagem;
- 4) levantamento de custo para recomposição.

3.1 Elaboração do mapa de uso e cobertura do solo

Para elaborar o mapa de uso e cobertura do solo, foram utilizadas imagens orbitais do satélite TM-Landsat7 ETM+, obtidas no endereço eletrônico da *The Global Land Cover Facility*. (GLCF)

Utilizaram-se as cartas topográficas do IBGE, em formato digital, já georeferenciadas, na escala 1:50.000, dos municípios de Ewbank da Câmara e de Juiz de Fora. Estas foram unidas para que fosse contemplada toda a superfície da bacia hidrográfica do Ribeirão Espírito Santo, visto que a maior parte da bacia se encontra na carta topográfica de Ewbank da Câmara e a menor na carta de Juiz de Fora. As cartas topográficas do IBGE foram obtidas do *site* do IBGE, em formato digital e, posteriormente, foram convertidas para o formato *shapefile*, compatível com o programa *Arcview 3.2*.

Para a delimitação da área de estudo, foi utilizada a base de dados digital da Prefeitura de Juiz de Fora, que estava no formato CAD e foi convertida para o formato *shapefile*. Para a

realização dos trabalhos de campo, foram utilizadas as já referidas cartas topográficas (impressas), navegadores pessoais do Sistema Global de Posicionamento (GPS) e uma máquina fotográfica digital. O sistema de projeção adotado foi o Universal Transversa de Mercator (UTM), Córrego Alegre, fuso 23 Sul.

O mapa de uso e cobertura do solo foi gerado a partir de uma classificação supervisionada da imagem, utilizando o programa *Spring*. Para cotejar a confecção da classificação, foram utilizadas técnicas de foto-interpretação da imagem de satélite utilizada (LANDSAT-7 ETM+), das imagens do programa de visualização (imagens de satélite *Google Earth*), quando houve dúvida, além de controle, através de conferência *in loco*, quando foi possível.

A classificação da imagem é um processo de extração de informação de imagens através do reconhecimento de padrões e objetos homogêneos, utilizado em Sensoriamento Remoto, para mapear a superfície terrestre. Para que fosse procedida a classificação, foram utilizadas imagens *Landsat ETM+*, geradas em 09/10/2001, bandas 2, 3, 4, 5 e 7, além do programa *SPRING*¹ para produzir a classificação. “O *SPRING* unifica o tratamento de imagens de sensoriamento remoto (ópticas e microondas), mapas temáticos, mapas cadastrais, redes e modelos numéricos de terreno. A partir de 1997, o *SPRING* passou a ser distribuído via internet, podendo ser obtido através de *website*”. (MOREIRA, 2005, p. 257)

Uma das ferramentas do software *SPRING* é o classificador por região, que utiliza, como critério de decisão para classificar a imagem, “a informação espectral de cada *pixel* da imagem e a informação espacial que envolve a relação entre o *pixel* e seus vizinhos”. (Ibid., p. 292)

Em uma primeira fase, a imagem é **classificada pelo algoritmo**, atribuindo classes aos *pixels*, considerando os valores de níveis digitais. Na fase seguinte, leva-se em conta a informação contextual da imagem, ou seja, a classe atribuída depende tanto do valor observado nesse *pixel*, quanto das classes atribuídas aos seus vizinhos. O algoritmo atribui classes a um determinado *pixel*, considerando a vizinhança interativamente. (INPE, 2007)

A classificação por região é dividida nas seguintes fases: segmentação, extração de regiões, classificação e pós-classificação. A **segmentação de imagem** é um procedimento adotado antes da fase de **classificação**; com esse procedimento a imagem é dividida em regiões espectralmente homogêneas. No procedimento de segmentação da imagem, gera-se

¹ Em 1984 foi criado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) a Divisão de Processamento de Imagens (DPI), com o objetivo de desenvolver tecnologia de geoprocessamento e de sensoriamento remoto. Em 1991 foi desenvolvido pela DPI o *SPRING* para ambientes *Unix* e *MS/Windows*. (MOREIRA, 2005, p.256)

uma imagem, separada em regiões, com base na análise dos níveis de cinza e dos *pixels* vizinhos. (MOREIRA, 2005, p.293)

O procedimento **extração de regiões** consiste em extrair alguns parâmetros do polígono, como estatísticas de média e variável de cada região, considerando as bandas indicadas no contexto. Posteriormente é feita a **seleção de amostras** pelo usuário, a partir da camada criada na segmentação. As amostras, em seguida são analisadas, para verificar a sua validade. (Ibid., p. 292)

Posteriormente, realiza-se a **classificação**, que consiste em identificar e rotular, como uma classe, os polígonos que apresentam mesma similaridade de níveis de cinza. Para realizar a classificação de uma imagem segmentada, deve-se usar o classificador por regiões e executar a classificação, ou seja, de posse das amostras e das bandas escolhidas, a imagem é classificada. Finalmente, executa-se uma **pós-classificação**, que consiste no processo de extração de *pixels* isolados em função de um limiar e um peso fornecido pelo usuário. Este procedimento é adotado numa imagem classificada, com o objetivo de uniformizar os temas, ou seja, eliminar pontos isolados, classificados diferentemente de sua vizinhança; com isto, gera-se uma imagem classificada com aparência menos ruidosa. (INPE, 2007)

Após a classificação, foi realizada uma conferência com base na interpretação visual da imagem, utilizando-se técnicas de fotointerpretação convencional, através de elementos de reconhecimento, como cor, textura, tonalidade e forma. Na imagem utilizada, foram definidas as seguintes classes com base na análise da composição 3(b)5(g)4(r):

1. **Áreas florestadas:** cor vermelha média a clara, textura homogênea e lisa, formas irregulares.
2. **Áreas urbanas:** localidades observadas em mapas oficiais e na imagem, possuindo cor acinzentada, textura rugosa em formas irregulares.
3. **Água:** áreas de lagos, lagoas, represas e rios cor preta, textura lisa e formas irregulares.
4. **Pastagem:** com tonalidade azulada e/ou amarelada, textura média lisa, com formas regulares e irregulares.
5. **Solo exposto:** tonalidades esbranquiçadas, textura lisa, formas irregulares.
6. **Áreas alagadas:** apresentam cor cinza escuro, textura média e formas irregulares.

3.2 Delimitação das Áreas de Preservação Permanentes (APPs)

Para a delimitação das APPs (faixa marginal de cursos d'água e nascentes), foi gerada, pelo programa *Arcview 3.2*, uma zona *buffer* (faixa ao redor) para cada uma das APPs, em conformidade com o que dispõe a legislação em vigor (Código Florestal Federal e Resoluções CONAMA 303/2002).

Para identificar a largura dos cursos d'água, foi utilizada a ferramenta de medição do programa *Google Earth*, medindo-se, em diversos pontos, a largura do principal curso d'água da bacia estudada (ribeirão Espírito Santo) e de seus dois maiores afluentes: os córregos Gouveia e Penido. Em todas as medições, realizadas ao longo de toda a extensão dos cursos d'água já citados, encontrou-se medida inferior a 10 metros de largura. Considerou-se, então, que a largura dos demais tributários apresentaria valores inferiores a 10 metros, enquadrando-se, portanto, entre os cursos d'água com menos de 10 metros de largura. Estes, segundo a Resolução CONAMA 303/2002, possuem faixa marginal de 30 metros de largura em cada margem.

De acordo com a Resolução CONAMA 303/2002, considera-se a faixa marginal medida a partir do nível mais alto, sendo este nível alcançado por ocasião da cheia sazonal do curso d'água perene ou intermitente. No entanto, essa referência não foi utilizada no presente trabalho, considerando que não há, na bacia do ribeirão Espírito Santo, estudos com estas demarcações. Foi então considerado o valor de 30 metros de zona *buffer*, a partir de cada margem dos cursos d'água da base cartográfica do IBGE. Ao redor das nascentes, definidas pela mesma base cartográfica, foram geradas zonas *buffer* de 50 metros.

Nas encostas ou parte destas, com declividade superior a quarenta e cinco graus na linha de maior declive, foram determinadas as APPs por declividade $> 45^\circ$, a partir do Modelo Digital de Elevação, construído a partir da interpolação por triangulação de curvas de nível com equidistância de 20 metros. De acordo com a Resolução CONAMA 303/2002, em topo de morros e montanhas, em áreas delimitadas a partir da curva de nível correspondente a dois terços da altura mínima da elevação em relação à base são consideradas APPs.

Foram produzidos dois mapas. Um identificou as APPs de nascentes e faixas marginais de cursos d'água. O outro identificou as APPs por declividade $> 45^\circ$. Foi realizada uma interseção entre esses dois mapas e o mapa de “florestas”. O mapa de “florestas”, gerado a partir do mapa de “uso e cobertura do solo”, quando cruzado com o mapa de APPs, resultou em outros dois mapas que definiram os percentuais de cobertura florestal das APPs.

3.3 Modelagem

A bacia estudada foi considerada como uma célula única, visto que o modelo de células ainda não tinha sido aplicado a células com área inferior a 250km^2 . Sendo assim, os parâmetros a serem ajustados demandariam um tempo maior de aferição. Os parâmetros ajustados para a bacia foram calibrados conforme o ajuste obtido para a bacia do rio Bocaina, localizada na região leste do estado de São Paulo, com área de drenagem de 250km^2 . Assim, foram ajustadas curvas de variação dos parâmetros K_{sup} (coeficiente de depleção superficial), K_{subsup} (coeficiente de escoamento sub-superficial), K_{sub} (coeficiente escoamento subterrâneo), K_{per} (coeficiente de percolação) e descarga de base, em função da área da célula.

A falta de dados históricos de vazão² contribuiu para que o trabalho fosse realizado apenas com duas células: a bacia do ribeirão Espírito Santo, com uma área aproximada de $151,33\text{ km}^2$, e uma célula (virtual) de reservatório, que será detalhada adiante. Foram consideradas então duas células, uma com a totalidade da bacia do ribeirão Espírito Santo, denominada cela 10, e uma célula de reservatório fictícia, denominada cela 20. A ligação adotada entre as duas foi de vertedor. A célula do ribeirão Espírito Santo foi assumida como sendo de encosta, devido à morfologia da bacia.

É necessário que se esclareça que a célula de reservatório, supracitada, faz parte do Modelo de Células e é necessária para que ele possa funcionar. Ela deve possuir uma área muito maior que a área da bacia estudada, bem como estar situada numa cota altimétrica muito inferior às demais, de modo que, durante as simulações, este reservatório não transborde em situação alguma.

Para o cálculo do **tempo de concentração³ da bacia (tc)**, foi utilizado o modelo Hidro-Flu (LHC/COPPE/UFRJ), que executa este cálculo a partir de 5 equações: fórmula estimativa de tempo de concentração, fórmula California Culverts Practice, fórmula de Dooge, fórmula de Kirpich, e fórmula de George Ribeiro.

É relevante que se esclareça que os dados fisiográficos relativos à bacia modelada, tais como superfície da bacia (ou, se fosse o caso, das sub-bacias - células), extensão total do curso d'água principal e de seus afluentes, cotas altimétricas, e outros, foram fornecidos pelo

² Existe apenas um estudo de regionalização de vazões utilizando postos do rio Paraibuna, que é utilizado pela CESAMA para o cálculo da $Q_{7,10}$.

³ É o tempo necessário para a água precipitada no ponto mais distante da bacia deslocar-se até a seção principal.

programa Arcview 3.2, visto que a produção dos mapas temáticos antecedeu a modelagem hidrológica.

A Figura 3.1 apresenta a tela inicial do modelo de células, na qual os dados iniciais para o funcionamento do modelo são inseridos. A partir da leitura de dois arquivos, um com os dados iniciais (arquivos DADINI_res.dat) e o arquivo Celas45.dat, foi realizada a implementação do modelo de células.

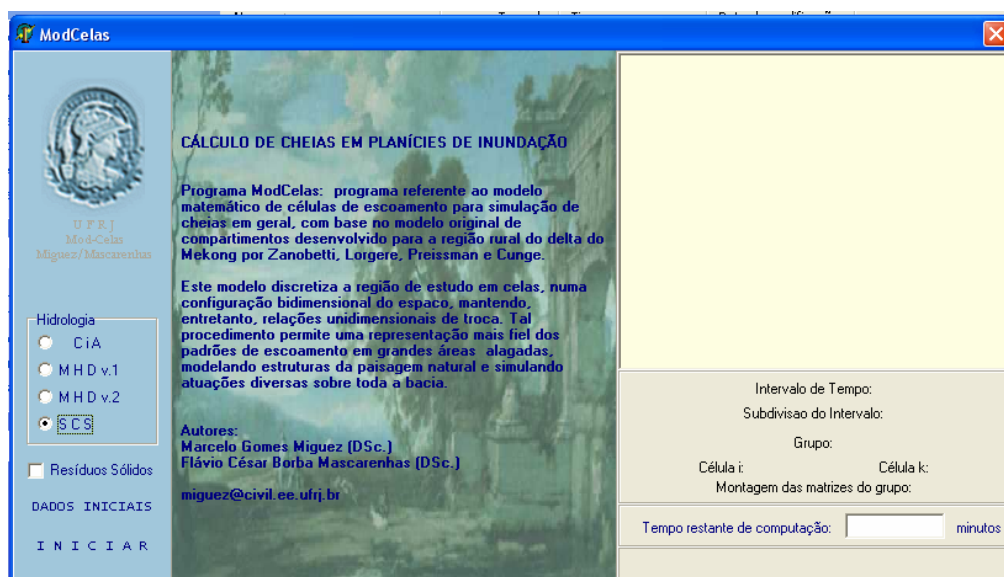


Figura 3.1 – Tela inicial do programa Modelo de Célula (LHC/COPPE/UFRJ).

O programa requer, ainda, a leitura de dois arquivos de dados pluviométricos: a chuva diária do ano em estudo, 2000 (Pchuva2000.dat), e o arquivo da célula (ou cela) de reservatório (Pcela5.dat), com os dados iguais a zero, ou seja, sem chuva.

O Modelo de Células utilizou os seguintes parâmetros: os **dados pluviométricos** referentes à bacia e ao reservatório fictício; o **número de células a serem modeladas**; as **características de urbanização da bacia**; o **valor dos expoentes do raio hidráulico**; a **topologia da bacia**, a **cota altimétrica**, tanto **do rio principal**, quanto **do reservatório fictício** e a **cota do fundo das células**. Esses parâmetros serão abaixo detalhados.

Inicialmente foram considerados os **dados pluviométricos** da bacia, referentes aos meses de janeiro a dezembro do ano 2000, sendo utilizados o intervalo de tempo (em segundos) e o número de intervalos de tempo. Já o da célula do reservatório fictício terá sempre valor constante igual a zero.

Todos os dados meteorológicos foram fornecidos pela Estação Climatológica Principal da Universidade Federal de Juiz de Fora (ECP/UFJF) e pelo Departamento de Geociências da

UFJF. Dentre esses dados, foram selecionados, para modelação, os relativos ao ano de 2000, por ter sido este o ano mais seco de um histórico de 34 anos. A CESAMA utiliza, para o dimensionamento de reservatórios, a vazão mínima de um período de recorrência de 50 anos, dados não disponíveis em Juiz de Fora.

Como foram identificados muitos dados falhados, nos primeiros anos de observação, na relação fornecida pela Estação Climatológica Principal da Universidade Federal de Juiz de Fora (Tabela 3.1), foram adotados apenas os dados a partir do ano de 2000, ano que apresentou a menor precipitação no período. No entanto, a simulação requer que se encontre o percentual de armazenamento na bacia para o período de estiagem, a fim de que se estabeleça uma comparação entre os diversos usos do solo em uma determinada bacia de abastecimento urbano.

A Tabela 3.1 apresenta os dados históricos de precipitação anual do posto da Estação Climatológica da UFJF, através dos quais se pode notar que o ano escolhido (2000) foi um ano seco para a média historicamente verificada em Juiz de Fora, com uma precipitação total de 1.360 mm, visto que o município apresentou uma média anual, no período 1973-2006, de 1.547,71 mm.

Tabela 3.1 – Índices anuais de precipitações

Ano	P(mm)	Ano	P(mm)	Ano	P(mm)
1973	1925,4	1984	1455,6	1995	1564,8
1974	1326,3	1985	2101,6	1996	1653,2
1975	1487,7	1986	1568,5	1997	1538,8
1976	1678,6	1987	1474,8	1998	1299,6
1977	1176,3	1988	1486,5	1999	1380,3
1978	1420,6	1989	1289,8	2000	1360,0
1979	1600,3	1990	1101,6	2001	1685,6
1980	1255,8	1991	1543,9	2002	1442,1
1981	1332,0	1992	1648,2	2003	1852,2
1982	1753,4	1993	1220,7	2004	2098,2
1983	2268,8	1994	1729,6	2005	1598,5
				2006*	1302,9
Média					1547,71

Fonte: ECP/UFJF.

(*) Dados disponibilizados pelo 5º Distrito Meteorológico. Em tal ano, ocorreu falha no lançamento dos dados de dois meses, razão pela qual o ano não foi escolhido para a modelagem.

Os dados de precipitação apresentam valores diários e o passo de tempo adotado para a simulação pelo ModCel é de quatro horas, que, por sua vez, ainda é sub-dividido em quatro intervalos, conduzindo a um passo de tempo efetivo de uma hora. Como o modelo deve receber como dado de entrada a chuva a cada intervalo de tempo, foi necessária a desagregação da chuva diária em chuvas a cada intervalo de quatro horas. Assim, a chuva diária foi decomposta em chuvas homogêneas em cada um destes intervalos.

A desagregação da precipitação diária compreende uma etapa delicada no processo de modelação, podendo aumentar significativamente o erro associado à representação da chuva, especialmente nos casos em que o processo de separação da chuva efetiva considera taxas de infiltração potencial, que são confrontadas com a intensidade de chuva. Algumas técnicas podem ser aplicadas em estudos deste tipo, sendo comum a desagregação através da observação de registros de pluviógrafos localizados próximos à região de interesse. Assim, observa-se a variação da distribuição diária da precipitação para um pluviógrafo, identificando padrões de desagregação típicos para cada estação do ano ou mês, sendo em seguida, extrapolados esses padrões para a aplicação a dados de pluviômetros próximos.

De modo a permitir a desagregação da chuva diária e a produzir arquivos no formato texto, foi elaborado um aplicativo (programa) que executa este processo. Este aplicativo recebe uma seqüência de chuvas diárias, sendo informados o dia inicial da simulação e os diversos padrões de desagregação a serem aplicados a cada um dos dias do ano (ou da simulação). A Figura 3.2 mostra uma tela do programa de desagregação de chuva.

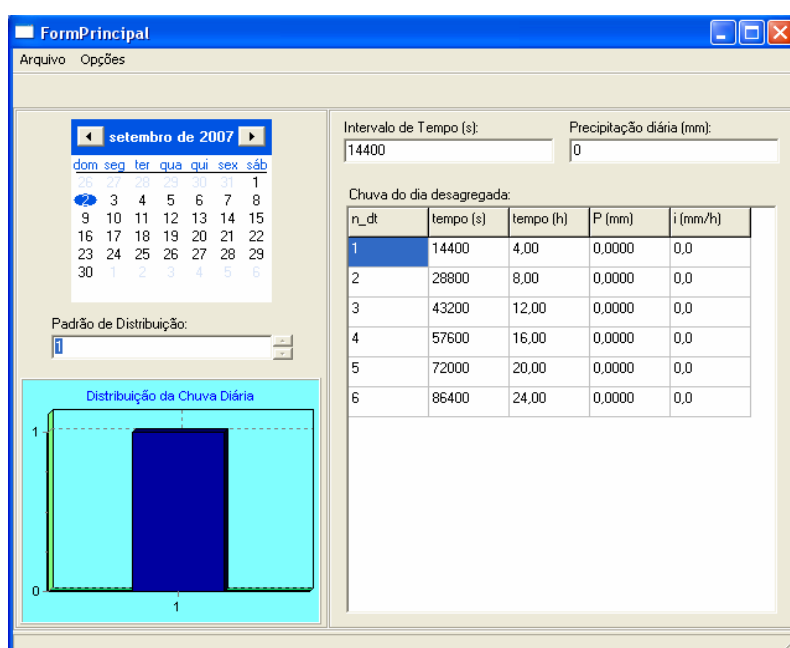


Figura 3.2 – Programa de desagregação de chuva (LHC/COPPE/UFRJ).

A definição dos padrões utilizados foi feita a partir de uma estimativa, elaborada com a premissa de que as chuvas em dias de verão apresentam variações temporais mais significativas do que as chuvas nas demais estações, que tendem a ser mais uniformemente distribuídas ao longo do dia.

A precipitação total do ano de 2000 foi de 1360 mm, e foi feita uma desagregação desta para a criação do arquivo de chuva. Foram utilizados os dados de evapotranspiração mensal do ano de 2000. Os dados de precipitação e evapotranspiração de 2000 foram fornecidos pela Estação de Climatologia da UFJF. A Figura 3.3 apresenta os dados de precipitação ao longo do período de 34 anos da Estação Climatológica Principal da Universidade Federal de Juiz de Fora.

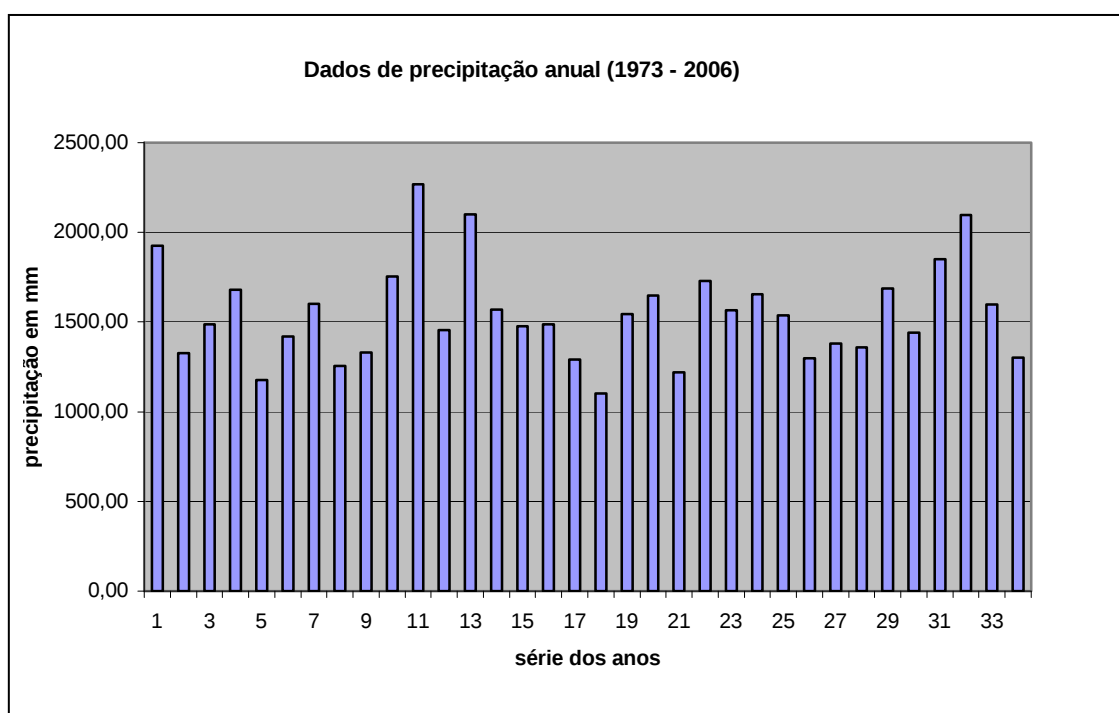


Figura 3.3 – Precipitações anuais em Juiz de Fora no período 1973 a 2006.

Fonte: ECP/UFJF.

Seguem abaixo os demais parâmetros considerados pelo ModCel.

- As **células modeladas** neste trabalho foram duas: a bacia, denominada célula 10, e o reservatório fictício, denominado célula 20.
- As **características de urbanização da bacia** são definidas pela análise dos dados fornecidos pelo mapa de uso e cobertura do solo.
- O **valor dos expoentes do raio hidráulico** foi considerado igual a 0,666.

- A **topologia da bacia** (forma, área etc) é definida pelo usuário, após a análise dos documentos cartográficos disponíveis.
- Os valores das **cotas altimétricas** da bacia modelada são obtidos nos documentos cartográficos ou nos programas de geoprocessamento. Quanto aos valores referentes à célula de reservatório, esses são definidos pelo usuário e, necessariamente, devem ser lançados valores bem inferiores aos da bacia, de modo que o reservatório nunca extravase, quaisquer que sejam os valores ensaiados, como já foi exposto anteriormente.
- A **cota de fundo** das células deverá ser fornecida pelo usuário. No caso da bacia hidrográfica, os dados deverão ser os observados no terreno. Já os dados do reservatório fictício deverão ser informados pelo usuário, de modo tal que haja uma diferença significativa entre a cota de fundo desta célula e da célula a montante.

Depois de realizada a escolha da área a ser modelada, foram realizadas **três simulações**, que contemplaram, respectivamente, a recuperação florestal das APPs e Reserva Legal da bacia; o uso do solo atual da bacia e a bacia com cerca de 70% de sua área urbanizada.

As três simulações foram realizadas, alterando-se os **coeficientes de escoamento superficial**, denominados coeficientes de *Run-Off*⁴ (CN).

Na **primeira simulação** proposta (recuperação florestal das APPs e Reserva Legal), foi considerado que a média do coeficiente de *Run-Off* (CN) seria igual a **45**.

A **segunda simulação** diz respeito ao uso do solo atual da bacia, para o qual foi considerado o CN médio igual a **65**.

A **terceira simulação** corresponderia à hipótese de a bacia do ribeirão Espírito Santo ser transformada em uma área urbana (com cerca de 70% de sua área urbanizada), para a qual foi considerada a média do coeficiente de *Run-Off* (CN) igual a **80**.

A obtenção dos valores médios do coeficiente de *Run-Off* (CN) anteriormente citados será detalhada a seguir.

⁴ O coeficiente de escoamento superficial deve ser indicado para todas as células de planície, variando de 0.0 a 1.0. Para células tipo 0, canal escoando a céu aberto, seu valor, necessariamente, será igual a 1.0, ou seja, representando uma absorção máxima da água que cai em um canal aberto. Células de galeria, tipo 1, não apresentam este coeficiente. De forma geral, este coeficiente deve ser obtido a partir da interpretação de mapas de uso de solo, mas, eventualmente, pode ser ajustado em torno do valor estimado para melhor representação dos escoamentos resultantes. (Manual do usuário do modelo de células de escoamento – ModCel)

De uma forma geral, utilizando os dados da **Tabela 3.3** (coeficientes de *Run-Off* de acordo com o uso do solo e tipo de solo em bacias rurais), foram construídas as **Tabelas 5.4 e 5.5** (uso do solo, superfície, percentual na bacia e coeficientes de *Run-Off* - utilizados para cálculo do CN médio).

Utilizando os dados da **Tabela 3.4** (coeficientes de *Run-Off* de acordo com o uso do solo e tipo de solo em bacias urbanas), foi construída a **Tabela 5.6** (uso do solo, superfície, percentual na bacia e coeficientes de *Run-Off* - utilizados para cálculo do CN médio), como será detalhado no Capítulo 5 desta dissertação.

As Tabelas produzidas (5.4, 5.5 e 5.6) forneceram os dados utilizados nos cálculos (por média ponderada), que levaram em conta os percentuais de uso do solo (fornecidos pelo mapa de uso do solo confeccionado durante o trabalho de geoprocessamento) e seus respectivos valores do coeficiente de *Run-Off* (CN). Tal procedimento foi adotado para que fossem determinados os CN médios para cada situação de uso e cobertura do solo, simulados para a bacia estudada, contemplando a **bacia recuperada** (CN 45), a **situação atual da bacia** (CN 65) e a **bacia urbanizada** (CN 80), como será demonstrado no Capítulo 5 (Aplicação e Resultados).

Todo o processo descrito pode ser resumido pela seguinte fórmula:

$$\text{CN}_{\text{célula}} = \sum I_{\text{uso}} \times \text{CN}_{\text{uso}}$$

na qual:

I_{uso} = índice de área da classe de uso do solo (calculado com base no mapa de uso e cobertura do solo).

CN_{uso} = coeficiente de escoamento de uso do solo (baseado na Tabela 3.2, em função do tipo de solo predominante na área de estudo).

Na escolha dos CNs levou-se em conta também o **tipo de solo** da bacia do ribeirão Espírito Santo, objeto de estudo deste trabalho, que, segundo Faria (2003), é do tipo argissolo vermelho (nota 10) e nitossolo⁵ háplico⁶ (nota 7). De acordo com Zimback (2006), estes solos são do tipo “B”. Estes, no Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, pertencem à classe de solos constituídos por material mineral que tem como características diferenciais argila de atividade baixa e horizonte B textural (Bt), imediatamente abaixo de qualquer tipo de horizonte superficial, exceto o horizonte hístico, sem apresentar, contudo, os requisitos para enquadramento nas classes dos Alissolos, Planossolos, dos Plintossolos ou dos Gleissolos. (AGRITEMPO, 2007)

A Tabela 3.2, a seguir, resume as características dos quatro tipos de solos (A, B, C e D), que podem ser observados, no canto superior direito, nas Tabelas 3.3 e 3.4.

Tabela 3.2 – Tipos de solo e suas características

Tipo de solo	Características
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e com alta capacidade de infiltração. Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o do tipo A. São solos arenosos e menos profundos do que o tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos pouco profundos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila.
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: ZIMBACK (2003).

O coeficiente de *Run-Off* (CN) varia conforme o tipo de solo (Tabela 3.2), bem como seu uso (Tabelas 3.3 e 3.4). Como exemplo, podemos citar a primeira linha da Tabela 3.3, na qual observamos o uso do solo do tipo “solo lavrado” com superfície “com sulcos retilíneos”, combinados com o solo tipo “A”, descrito na Tabela 3.2. Neste arranjo o coeficiente de *Run-Off* (CN) seria igual a 77. Mantendo-se o mesmo uso do solo e superfície e alterando-se o solo para o do tipo “B”, o CN seria 86. Já com o solo do tipo “C”, o CN subiria para 91. Finalmente, se considerado o solo do tipo “D”, o resultado do CN seria igual a 94.

⁵ No Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, é a classe de solos constituídos por material mineral, que apresentam horizonte B nítico (reluzente) com argila de atividade baixa, imediatamente abaixo do horizonte A ou dentro dos primeiros 50 cm do horizonte B. Estes solos apresentam horizonte B bem expresso em termos de desenvolvimento de estrutura e de cerosidade, mas com inexpressivo gradiente textural. (AGRITEMPO, 2007)

⁶ Háplico - quando necessário, é usado sempre no 2º nível categórico (Subordem). Háplico significa "o mais simples". Em uma chave taxonômica, é aquela classe ou indivíduo que não apresenta a(s) característica(s) que qualifica(m) classes ou indivíduos que lhe antecedem na sequência da chave. (EMBRAPA, 2007)

A determinação dos coeficientes de *Run-Off* (CN) para cada simulação de cobertura florestal da bacia estudada (bacia recuperada, situação atual e bacia urbanizada), bem como os resultados obtidos após a simulação dos três cenários, anteriormente mencionados, estarão descritos, de forma detalhada, no Capítulo 5 deste trabalho.

Tabela 3.3 – Coeficientes de *Run-Off* (CN) de acordo com o uso do solo e tipo de solo em bacias rurais

		Tipo de solo			
Uso do Solo	Superfície	A	B	C	D
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	77	86	91	94
	Em fileiras retas	70	80	87	90
Plantações regulares	Em curvas de nível	67	77	83	87
	Terraceado em nível	64	76	84	88
	Em fileiras retas	64	76	84	88
Plantações de cereias	Em curvas de nível	62	74	82	85
	Terraceado em nível	60	71	79	82
	Em fileiras retas	62	75	83	87
Plantações de legumes ou cultivados	Em curvas de nível	60	72	81	84
	Terraceado em nível	57	70	78	89
	Pobres	68	79	86	89
	Normais	49	69	79	84
	Boas	39	61	74	80
Pastagens	Pobres, em curvas de nível	47	67	81	88
	Normais, em curvas de nível	25	59	75	83
	Boas, em curvas de nível	6	35	70	79
Campos permanentes	Normais	30	58	71	78
	Esparsas, de baixa transpiração	45	66	77	83
	Normais	36	60	73	79
	Densas de alta transpiração	25	55	70	77
Chácaras / Estradas de terra	Normais	56	75	86	91
	Más	72	82	87	89
	De superfície dura	74	84	90	92
Florestas	Muita esparsas, baixa transpiração	56	75	86	91
	Esparsas	46	68	78	84
	Densas, alta transpiração	26	52	62	69
	Normais	36	60	70	76

Fonte: Manual de ajuda do Modelo Hidro-Flu (LHC/COPPE/UFRJ).

Tabela 3.4 - Coeficientes de *Run-Off* (CN) de acordo com o uso do solo e tipo de solo em bacias urbanas

		Tipo de solo			
Uso do Solo	Superfície	A	B	C	D
Zonas cultivadas	Sem conservação do solo	72	81	88	91
	Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens ou terrenos baldios	Em más condições	68	79	86	89
	Em boas condições	39	61	74	80
Prado em boas condições		30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais	Cobertura ruim	45	66	77	83
	Cobertura boa	25	55	70	77
Espaços abertos, relvados, parques, campos de golf, cemitérios, boas condições	Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
	Com relva de 50% a 75% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios		89	92	94	95
Zonas industriais		81	88	91	93
Zonas residenciais	Área dos lotes	Percentual médio de área impermeável			
	< 500m ²	65%		77	85
	1000m ²	38%		61	75
	1300m ²	30%		57	72
	2000m ²	25%		54	70
	4000m ²	20%		51	68
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.		98	98	98	98
Arruamentos e estradas	Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
	Paralelepípedos	76	85	89	91
	Terra	72	82	87	89

Fonte: Manual de ajuda do Modelo Hidro-Flu (LHC/COPPE/UFRJ).

3.4 Levantamento de custo para recomposição

O levantamento dos custos econômicos aproximados, para a recomposição florestal das áreas julgadas necessárias, foi realizado com base em orçamentos para serviços semelhantes, já realizados por empresas prestadoras de serviços, contratadas pela Agência de Gestão Ambiental de Juiz de Fora (Agenda-JF). O critério para a escolha dos valores praticados por essas empresas foi o grande número de projetos desenvolvidos pela Agenda-JF, que envolvem sistemáticos levantamentos de custos junto às empresas especializadas no serviço de reflorestamento (Tabela 3.3 e 3.4). Esses custos foram confrontados com os presentes no *website* da organização não-governamental Ambientebrasil (Tabela 3.6) e com os valores praticados no mercado, que foram fornecidos por estabelecimentos comerciais e produtores rurais da região de Juiz de Fora (Tabelas 3.7 e 3.8).

Tabela 3.5 - Estimativa de custo de serviço de reflorestamento por muda plantada

Descrição	Custo / muda (R\$)
Muda (medindo de 0,80 m a 1,00 m).	3,36
Insumos (adubos, defensivos etc).	3,60
Mão-de-obra para plantio, considerando covas de 0,4 x 0,4 x 0,4 m e espaçamento de 3 x 3 m entre covas.	4,20
Mão-de-obra para manutenção pelo prazo de 24 meses.	1,20
Total	12,36

Fonte: Terra Meio Ambiente (Juiz de Fora).

Tabela 3.6 - Estimativa de custo para cercamento de área para controle de acesso do rebanho (valor/ km²)

Descrição	Custo / km² (R\$)
Custo de cerca para 1 km ² com 5 fios de arame liso, moirões de eucalipto tratado, com 6 a 8 cm de diâmetro, mão-de-obra e placa informativa.	30.000,00

Fonte: Terra Meio Ambiente (Juiz de Fora).

Tabela 3.7 - Estimativa de custo de serviço de reflorestamento por muda plantada

Descrição	Custo Total / ha (R\$)	Custo / muda* (R\$)
Limpeza do Terreno	250,00	0,22
Conservação e Preparo do Solo	130,00	0,11
Plantio e Replantio	700,00	0,63
Tratos Culturais	340,00	0,31
Manutenção do Povoamento	600,00	0,54
Total	2.020,00	1,81

Fonte: Ambiente Brasil, 2007.

(*) Considerando que cada muda ocupa 9 m², teríamos cerca de 1.111 mudas / hectare.

O *website* da ONG Ambientebrasil não disponibiliza os valores relativos à confecção de cercas para controle de acesso do gado.

Tabela 3.8 - Estimativa de custo para cercamento de área para controle de acesso do rebanho (valor/ km²)

Qtde	Unid	Descrição	Custo unitário (R\$)	Custo total (R\$)
2000	unid	Moirão de cerca de eucalipto tratado	6,00	12.000,00
32	rolos	Arame farpado galvanizado	220,00	7.040,00
80	kg	Grampo em “U” para fixação de arame	6,00	480,00
-	-	Mão-de-obra	-	4.000,00
Total				23.520,00

Fonte: Estabelecimentos comerciais e produtores rurais de Juiz de Fora.

Tabela 3.9 - Estimativa de custo de serviço de reflorestamento por muda plantada

Descrição	Custo / muda (R\$)
Custo de reflorestamento, incluindo a muda, insumos (adubos, defensivos etc) e mão-de-obra para plantio e manutenção por 24 meses.	5,40

Fonte: Produtores rurais de Juiz de Fora.

Ao calcular o custo final para o reflorestamento da bacia estudada, tomou-se por base o raciocínio que abaixo segue.

Sabendo-se que cada km² corresponde a 1.000.000 m², e que cada muda ocupa uma área de 9 m², teríamos cerca de 111.111 mudas / km².

Partindo desse pressuposto, foi produzida a tabela abaixo:

Tabela 3.10 - Reflorestamento e cercamento de APPs (Custo / km²)

	Cercamento / km ²	Reflorestamento / km ²
Terra Meio Ambiente	30.000,00	1.373.333,00
ONG Ambientebrasil	-	201.111,00
Produtores rurais de Juiz de Fora	23.520,00	600.000,00

4 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1 Contexto Regional

O município de Juiz de Fora, onde está localizada a bacia estudada, se situa no sudeste do estado de Minas Gerais, na Mesorregião da Zona da Mata onde é sede da Microrregião de Juiz de Fora, composta por 33 municípios, tendo uma área de 8.923km² e uma população estimada pelo IBGE, em 2005, de 715 mil habitantes. As Figuras 4.1 e 4.2 mostram, respectivamente, a localização de Juiz de Fora no território brasileiro e no contexto da microrregião de Juiz de Fora.

Juiz de Fora é o maior e mais importante município da mesorregião da Zona da Mata, exercendo sua influência em toda a Zona da Mata, que se estende às mesorregiões do Sul de Minas e Centro-Sul Fluminense, já no estado do Rio de Janeiro. Limita-se a norte, com os municípios de Ewbank da Câmara e Santos Dumont; a nordeste com Piau e Coronel Pacheco; a leste com Chácara e Bicas; a sudeste com Pequeri e Santana do Deserto; a sul com Matias Barbosa e Belmiro Braga; a sudoeste com Santa Bárbara do Monte Verde; a oeste com Lima Duarte e Pedro Teixeira e a noroeste com Bias Fortes (Figura 4.2).

O município de Juiz de Fora é formado por 4 distritos: Juiz de Fora, Sarandira, Torreões e Rosário de Minas (Figura 4.3), totalizando uma área de 1.429km², com população estimada pelo IBGE para 2006 de 509 mil habitantes.

Localizado na Unidade Serrana da Zona da Mata Mineira, pertencente à Região da Mantiqueira Setentrional, o município de Juiz de Fora estende-se no domínio dos “mares de morros”, com altitudes variando entre 470 metros, no fundo do vale do rio Paraibuna e 1.100 metros, nos pontos de maior altitude. A área urbana do distrito sede se estende pelo médio curso do rio Paraibuna.

JUIZ DE FORA - LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA

MINAS GERAIS - DIVISÃO MESORREGIONAL

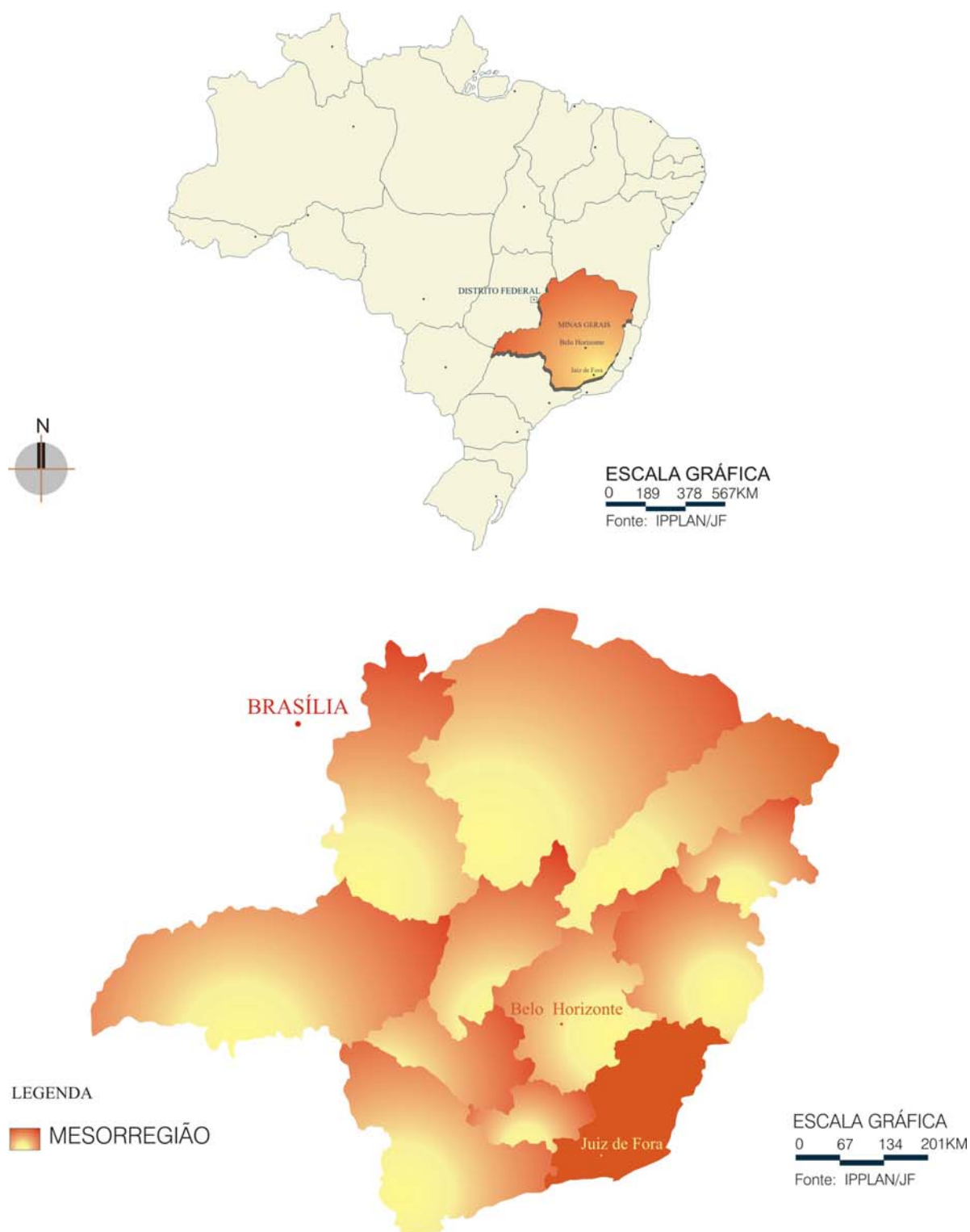


Figura 4.1 – Localização geográfica do município de Juiz de Fora nos contextos nacional, estadual e mesorregional.

Fonte: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora - PDDU, 1996.

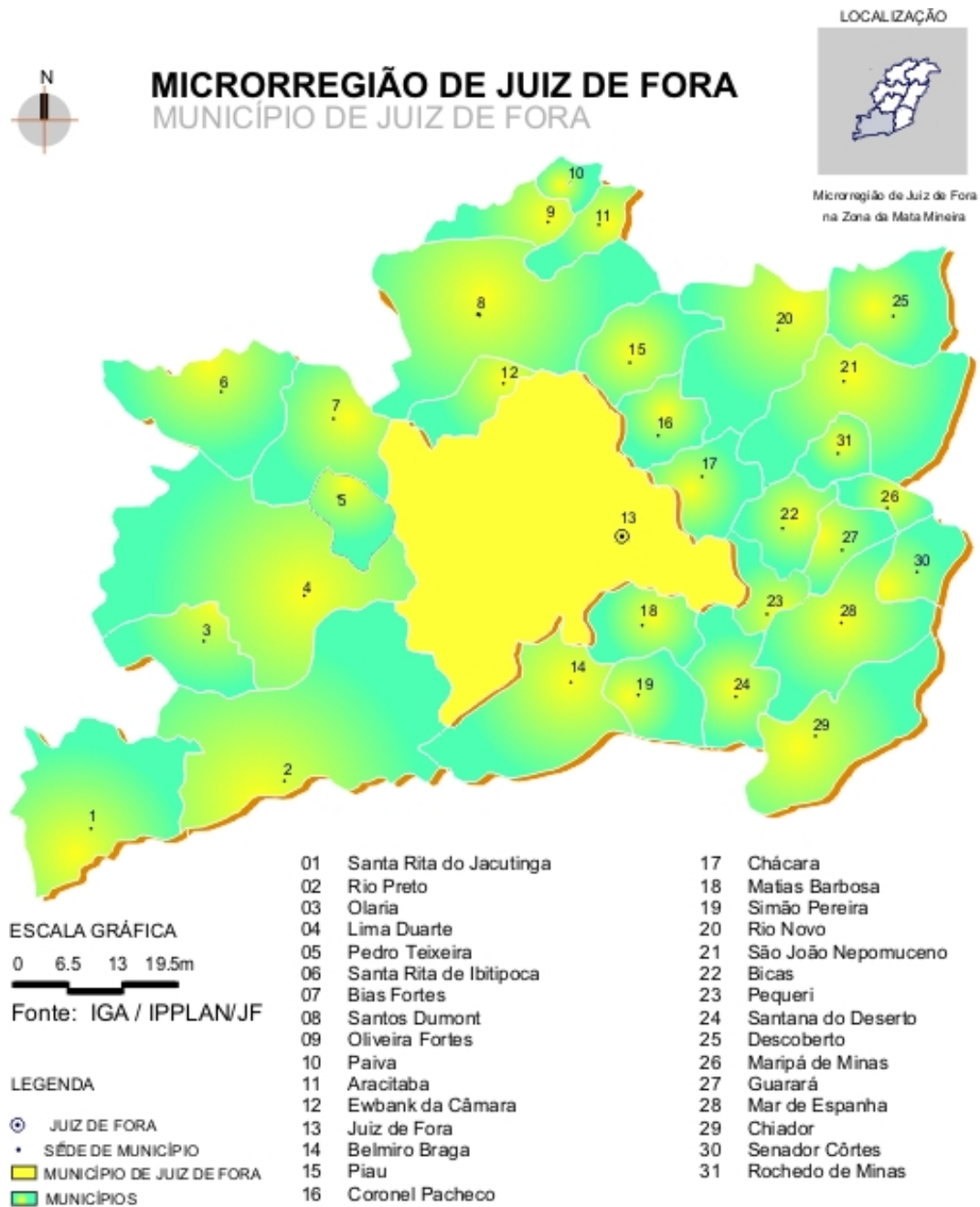


Figura 4.2 – Mapa da Microrregião de Juiz de Fora.
Fonte: PDDU, 1996.

DIVISÃO TERRITORIAL DO MUNICÍPIO

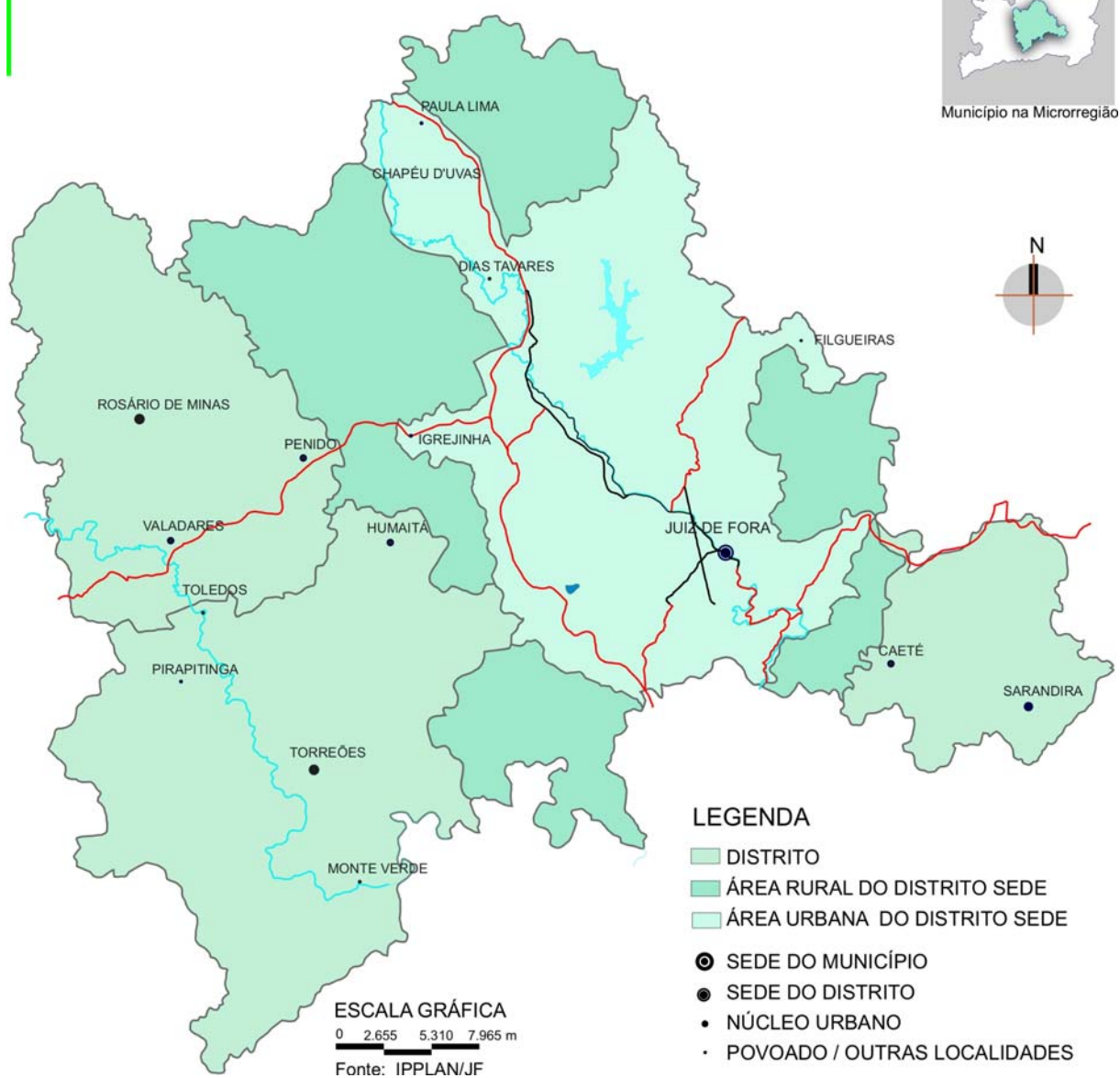


Figura 4.3 – Mapa da divisão territorial do Município de Juiz de Fora.
Fonte: PDDU, 1996.

O Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora (PDDU) define que “os padrões de relevo no município de Juiz de Fora mostram uma forte tendência à orientação estrutural e suas litologias caracterizam-se por apresentarem coberturas de solos espessos e exposições rochosas, principalmente nas áreas de ocorrência das rochas charnockíticas, ao sul do município”. (PDDU, 1996)

Ainda tratando da geomorfologia, o PDDU afirma que “em geral, as feições geomorfológicas tendem a uma convexidade das vertentes a partir do topo, aliada à formação de grande número de anfiteatros e planícies intermontanas.” (PDDU, 1996) Nesse contexto, o centro da cidade se alojou no segmento mais alargado do vale do rio Paraibuna, limitado por uma barra resistente, a sul (jusante).

No perímetro urbano são encontrados 2 grandes compartimentos geomorfológicos que se individualizam, principalmente em função dos aspectos geológicos: ao norte, os terrenos ocupados pelo Gnaiss Piedade e, ao sul, pelas rochas antigas do Complexo Juiz de Fora. (PDDU, 1996)

Segundo o PDDU, 1996, “as áreas do Complexo Juiz de Fora possuem um relevo mais acidentado, principalmente nas faixas de distribuição dos Charnockitos e Kinsigitos. Constituem relevos elevados topograficamente com aspecto serrano e amplitudes topográficas que chegam a ultrapassar 200 metros.” Neste compartimento, os agentes erosivos produziram um aprofundamento do nível de base do rio Paraibuna, enquanto os fundos dos vales de seus tributários foram mantidos soerguidos, devido aos assoalhos rochosos que os sustentavam.

No domínio do Gnaiss Piedade, nele inclusa a porção leste da bacia estudada, os migmatitos nitidamente predominantes exibem um relevo altamente dissecado, com topos alongados e estreitos, além de rios com vales mais abertos. (PDDU, 1996)

No tocante à hidrografia, o município de Juiz de Fora está inserido na bacia do rio Paraibuna. Esse afluente do rio Paraíba do Sul possui uma área total de 6.777 km². Juiz de Fora é drenado por três rios principais: o Paraibuna¹, que atravessa a porção centro-leste do município, o rio do Peixe, no oeste do território e o rio Cágado, que determina a fronteira entre os municípios de Juiz de Fora e Bicas, no extremo leste. Os rios do Peixe e Cágado são tributários do Paraibuna, que é o principal da bacia. Os três cursos d’água, ao atravessarem o município, têm a orientação geral NW-SE e seus leitos observam certo paralelismo entre si.

¹ Afluente pela margem esquerda do rio Paraíba do Sul, nasce, a cerca de 1.200 metros de altitude, no município de Antônio Carlos-MG, localizado na serra da Mantiqueira, e corre no sentido geral NW-SE por cerca de 166 km até desembocar na margem esquerda do rio Paraíba do Sul entre os municípios de Chiador (MG) e Três Rios (RJ), a uma altitude aproximada de 250 metros. Atravessa o distrito sede do município de Juiz de Fora, que está inserido no seu médio curso.

Destacam-se também, na rede hidrográfica juizforana, a represa Dr. João Penido², o ribeirão do Espírito Santo³, a represa de São Pedro⁴ e a represa do Poço D'Anta⁵, todas pertencentes à bacia do rio Paraibuna. A represa de Chapéu D'Uvas, devido à sua plural importância, será abordada no final deste capítulo, por se encontrar fora dos limites municipais.

O clima predominante no município e, por conseguinte, na bacia do ribeirão Espírito Santo, é, segundo a classificação de Wladimir Köppen, o Cwa, ou seja, um clima mesotérmico úmido, com chuvas de verão e verões quentes. De uma maneira geral, esse tipo climático é conhecido como clima tropical de altitude, sendo caracterizado por duas estações bem definidas: verões quentes e chuvosos e invernos com temperaturas amenas e reduzidos índices de precipitação. A estação chuvosa se estende de outubro a abril, com elevação das médias térmicas e pluviométricas, e a estação seca se estende de maio a setembro, com médias térmicas menores e reduzida pluviosidade. Durante todo o ano, atua na região a massa de ar tropical atlântica (mTa), que penetra pela calha dos rios Paraíba do Sul e Paraibuna. Outra massa de ar que atua no município em questão é a massa de ar polar atlântica (mPa). Esta massa fria, em contato com o ar aquecido da massa tropical atlântica, pode provocar redução de temperatura e chuvas.

Segundo dados da estação climatológica principal da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF), o município de Juiz de Fora tem os meses de maio, junho, julho e agosto como sendo os mais secos do ano, enquanto os meses de dezembro, janeiro e fevereiro apresentam-se como os mais chuvosos. A menor umidade relativa do ar se verifica no mês de agosto, com cerca de 75 %. As temperaturas mais altas ocorrem no mês de fevereiro, com médias acima de 22° C e as mais baixas ocorrem no mês de julho, com médias abaixo de 18° C. A pluviosidade média anual da região, registrada entre os anos de 1973 e de 2006, foi de 1.548 mm, refletindo a influência de massas de ar polares e tropicais.

Uma das principais características do verão em Juiz de Fora, segundo a Estação Climatológica Principal (ECP) da Universidade Federal de Juiz de Fora (*apud* AGENDA et al., 2006), são os elevados índices de calor e umidade e as chuvas convectivas (chuvas de verão), caracterizadas por elevadas e concentradas precipitações pluviométricas. Séries

² Localizada na porção nordeste do município e norte do distrito sede, é hoje o maior manancial de abastecimento de água da cidade, atendendo cerca de 50% da demanda hídrica do município.

³ Localizado na porção norte do município e noroeste do distrito sede, é afluente pela margem direita do rio Paraibuna, respondendo atualmente por cerca de 42% da demanda hídrica do município.

⁴ Localizada na porção centro-sul do município, a sudoeste do distrito sede, representando cerca de 8% da demanda hídrica do município.

⁵ Localizada na porção leste do distrito sede, no interior da Reserva Biológica de mesmo nome. Foi responsável por parte do abastecimento de água do município, mas devido, dentre outros motivos, à sua baixa capacidade instalada (25 litros /segundo), teve sua Estação de Tratamento de Água (ETA) desativada.

históricas, obtidas pela ECP da UFJF, indicam que as chuvas máximas tendem a ocorrer entre novembro e março, conforme comprova a Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Médias pluviométricas no período de 1973 a 2006 no município de Juiz de Fora –MG.

Médias pluviométricas (1973-2006)	
Meses	Média (mm)
janeiro	297,08
fevereiro	192,48
março	188,26
abril	78,89
maio	47,00
junho	20,29
julho	17,61
agosto	26,39
setembro	70,71
outubro	124,76
novembro	203,43
dezembro	277,93
Média anual	1.547,71

Fonte: Estação Climatológica Principal da UFJF (5º DISME).

A cafeicultura, principal atividade da economia juizforana no final do século XIX, paradoxalmente, acabou se constituindo também na maior responsável pela devastação da Mata Atlântica, cobertura vegetal original que predominava na Zona da Mata de Minas Gerais. A monocultura cafeeira, por si só aceleradora do processo erosivo, foi desenvolvida com técnicas agrícolas inadequadas, tanto na Zona da Mata de Minas, quanto no Vale do Paraíba, o que resultou no comprometimento da capacidade produtiva dos solos e na conseqüente migração gradual dessa atividade para o planalto paulista por volta do ano de 1900. Da “Mata” que deu origem ao nome da mesorregião em que se insere Juiz de Fora sobrou muito pouco, apenas alguns fragmentos de florestas secundárias, presentes nas partes mais acidentadas e elevadas do terreno, cuja exploração não é permitida pela atual legislação

florestal. Apesar disso, a manutenção da cobertura florestal nesses locais se dá mais pela dificuldade de acesso aos locais do que pela observância da legislação em vigor.

Segundo a Agenda-JF (2006), no ano de 1975, as matas naturais ocupavam 807 km² da microrregião de Juiz de Fora⁶, enquanto que as plantadas ocupavam 88 km², correspondendo, respectivamente, a 9,04% e 0,98% da superfície da região. Para alcançar os índices de equilíbrio internacionalmente reconhecidos⁷, ou seja, 30% do território coberto por mata, será necessário reflorestar cerca de 285 km², além dos 142 km² já existentes, que correspondem a 10% da área total do município.

Staico (1974) já alertava a sociedade para o problema da drástica redução da cobertura vegetal em todo o município que, dentre outras consequências indesejáveis, colocava em risco o abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora.

Em obra mais recente, Carvalho et al. (2005) afirma que a cobertura vegetal na área do município de Juiz de Fora é composta por pastagens (78,7%), floresta semidecídua (19,8%), floresta ombrófila (0,36%) e reflorestamentos com eucalipto (1,14%). Essa situação pode ser observada na Figura 12.

A reduzida cobertura florestal, aliada aos altos índices de impermeabilização do solo, à ínfima existência de matas ciliares, ao pronunciado assoreamento da rede hidrográfica, à deficiente rede de captação de águas pluviais, além da obstrução da rede existente por resíduos sólidos, tendem a provocar enchentes na estação chuvosa, principalmente nas imediações do bairro Industrial, localizado na zona norte da cidade. Tal situação obriga a Prefeitura de Juiz de Fora (PJF) a realizar constantemente o serviço de dragagem do rio Paraibuna e de alguns de seus afluentes.

Outro fator que restringe a qualidade dos recursos hídricos do município é a contaminação desses por efluentes domésticos e industriais. Ainda segundo a Agenda-JF (2006), a consequência direta de tais práticas é que, tanto o rio Paraibuna, como parte de seus tributários, há muitos anos não se enquadram nas classificações de qualidade proposta para as suas águas pela Resolução CONAMA 357/2005. O trecho que atravessa a zona urbana de Juiz de Fora deveria se enquadrar na Classe 2 da Resolução supracitada.

Uma opção estratégica para o abastecimento de água do município de Juiz de Fora no futuro seria a barragem de Chapéu D'Uvas, que se estende pelos territórios dos municípios vizinhos de Ewbank da Câmara e Santos Dumont. Segundo o documento "Proposta de recomposição florestal da bacia do ribeirão do Espírito Santo", produzido pela Agenda-JF et

⁶ A microrregião de Juiz de Fora ocupa uma área de 8.923,426km², sendo formada por 33 municípios.

⁷ Recomendados pela União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN), apud AGENDA, 2006.

al. (2006), “existe uma disponibilidade de 5.500 l/s, de águas que ainda se enquadram na Classe I, ou seja, destinadas ao abastecimento doméstico após tratamento simplificado.” Apesar de Chapéu D’Uvas atender ao quesito de disponibilidade de água, a distância desse manancial, localizado a cerca de 13,5 km (em linha reta) da estação de tratamento de água (ETA) mais próxima (Walfrido Machado Mendonça), localizada no bairro Benfica, zona norte da cidade, tende a inviabilizar financeiramente a alternativa, visto que no ano de 2002 a obra era orçada pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) em R\$ 20 milhões. Outro fator que deve ser considerado, antes de qualquer projeto de utilização das águas de Chapéu D’Uvas, é o estudo produzido por Roland (2001), que indica a presença, no local, da alga *Cylindrospermopsis raciborskii*. Esta, segundo Roland (2001), compromete a qualidade da água para consumo humano, uma vez que a espécie concentra cianotoxina, toxina que pode causar problemas hepáticos e neurológicos. Segundo Roland, toxina semelhante foi responsável pelo incidente na clínica de hemodiálise de Caruaru (PE), onde 73 morreram no ano de 1996.

O documento da Agenda-JF et al. (2006) classifica ainda como extremamente crítica a situação da qualidade das águas do rio Paraibuna e afirma que existe uma tendência de agravamento desse quadro no futuro, caso não sejam tomadas medidas de contenção do lançamento de poluentes.

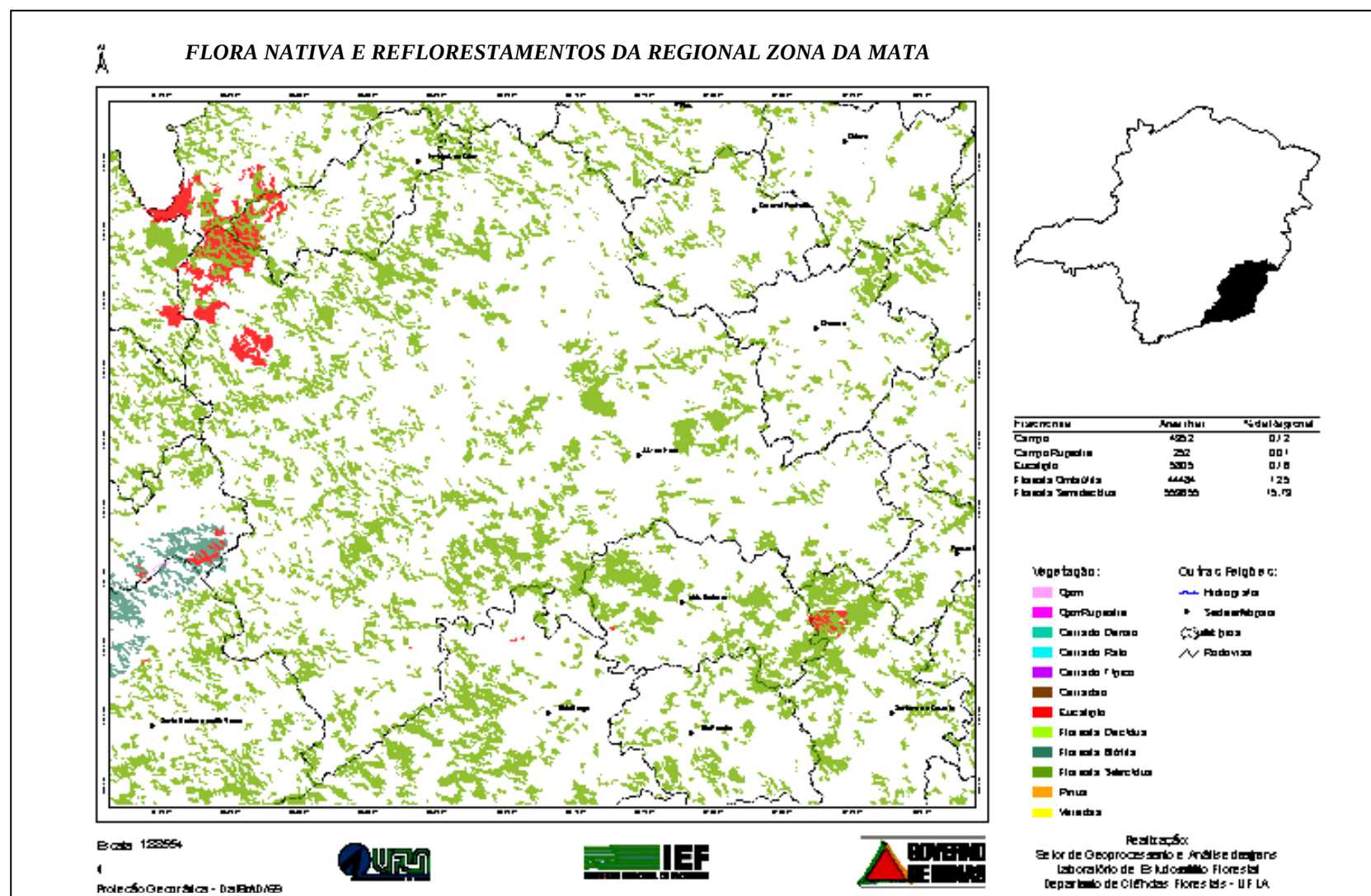


Figura 4.4 – Flora nativa e reflorestamentos no município de Juiz de Fora
 Fonte: CARVALHO et al., 2005.

4.2 Caracterização da bacia do ribeirão Espírito Santo

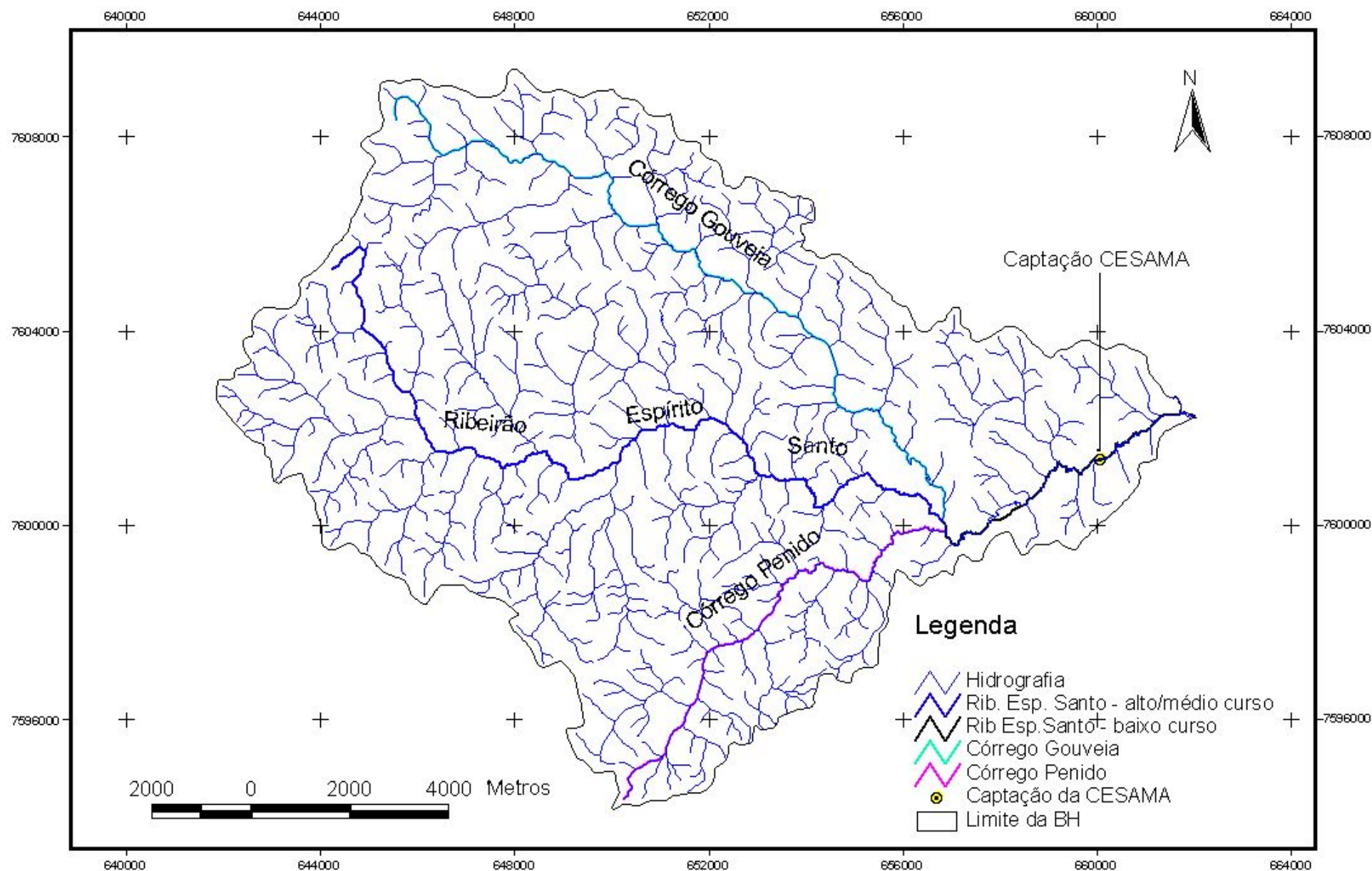
A bacia do ribeirão Espírito Santo (Figura 4.5) está localizada na porção noroeste do município de Juiz de Fora, delimitada pelas coordenadas geográficas 21°36'41"S e 21°44'48"S; 43°26'30"W e 43°37'46"W, sendo identificada pelo Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano do já referido município – PDDU (1985) - pelo código BD-24 (bacia à direita do rio Paraibuna), sendo a maior e mais importante bacia hidrográfica juizforana.

O ribeirão Espírito Santo, afluente pela margem direita do rio Paraibuna, tem sua nascente principal localizada a cerca de 880 metros de altitude, a oeste da Fazenda da Laje, e é inicialmente denominado “Córrego Taquaras”⁸. É importante ressaltar que, na determinação do comprimento do ribeirão do Espírito Santo, foi utilizado o critério proposto por Shreve (1974 apud CHRISTOFOLETTI⁹, 1980, p. 111), segundo o qual o rio principal é “o curso de água mais longo, da desembocadura da bacia até determinada nascente, medido como a soma dos comprimentos dos seus ligamentos”. O comprimento total do curso d’água em questão é de 27,2 km. O principal curso d’água da bacia estudada deságua no rio Paraibuna a uma altitude aproximada de 691 metros, próximo ao distrito industrial da zona norte e ao bairro Ponte Preta. Os principais afluentes do ribeirão do Espírito Santo são os córregos Gouveia e Vermelho, pela margem esquerda e Barreiro e Penido, pela margem direita.

⁸ Dado extraído da carta topográfica “Ewbank da Câmara”, editada pelo IBGE na escala 1:50.000, no ano de 1976.

⁹ CHRISTOFOLETTI, Antônio. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed, 1980. 188 p. p. 111.

Figura 4.5 - Bacia do Ribeirão Espírito Santo: Juiz de Fora-MG
Hidrografia e principais cursos d'água



4.2.1 HISTÓRICO DA OCUPAÇÃO

Como já exposto, a cultura do café, dentre outras atividades, foi a grande responsável pela retirada da Mata Atlântica, que era a cobertura vegetal predominante na maior da Zona da Mata Mineira. Com declínio dessa cultura, no início do século XX, foi sucedida, como atividade primária, pela pecuária leiteira, que predominou na área da bacia. Até a atualidade se observam grandes extensões cobertas por vegetação rasteira, aproveitada somente para pastagens. O desmatamento promovido na bacia para o desenvolvimento das atividades supracitadas concorreu para a desproteção de um grande número de nascentes, que acabaram secando, bem como para a significativa redução das matas ciliares.

A maior parte das nascentes localizadas na bacia do ribeirão Espírito Santo se encontram desprotegidas. Segundo o trabalho desenvolvido pela Agenda-JF et al. (2006), 80% dos 483 olhos d'água identificados, ou seja, 374 deles, se encontravam desprotegidos no ano de 2006.

Parte significativa das áreas alagáveis, com potencial para reservas hídricas, foi drenada e transformada em pastagens, conforme mostra a Figura 4.6. Tal fato pode resultar numa escassez de água no final da estação de seca e pode colocar em risco a capacidade da bacia em se manter como segundo maior manancial de abastecimento de água do município de Juiz de Fora. Tal preocupação é expressa no trabalho desenvolvido pela Agência de Gestão Ambiental de Juiz de Fora (2006), denominado “Proposta de recomposição florestal da bacia do ribeirão do Espírito Santo para a recuperação dos recursos hídricos”, que inspirou e subsidiou a presente dissertação.



Figura 4.6 - Áreas anteriormente alagadas, agora drenadas e transformadas em pastagem. Pode se observar, em primeiro plano, o dreno já construído e, ao fundo, uma cultura de café.

Algumas iniciativas têm sido observadas na área estudada, no sentido de aumentar os percentuais de cobertura vegetal. Segundo a Agenda-JF et. al., a Companhia Paraibuna de Metais (CPM), pertencente ao Grupo Votorantim, vem realizando, há alguns anos, o plantio de mudas de espécies nativas na área da empresa, cujo terreno abrange parte da bacia do Córrego Igrejinha e um área de aproximadamente 50 hectares na bacia do Ribeirão Espírito Santo. Segundo a Agenda-JF et al., já foram plantadas cerca de 16.000 mudas. Além disso, a empresa realiza um trabalho de prevenção de queimadas, com a organização de brigada contra incêndio e manutenção dos aceiros¹⁰.

Segundo a Agenda-JF et al. (2006), a atividade agrícola na bacia é pouco desenvolvida, sendo restrita a algumas culturas temporárias, como milho, arroz e feijão, que representariam 0,26 % da área total, e também culturas permanentes, como o café, representando 0,12 % da área total.

¹⁰ Desbaste de terreno em volta de propriedades rurais, ou matas, coivaras, etc., para evitar a propagação de incêndios ou queimadas através da descontinuidade assim estabelecida na vegetação. (FERREIRA, 2004)

Em trabalho de campo, desenvolvido em fevereiro de 2007, constatou-se que estavam sendo utilizados agrotóxicos, numa cultura de milho localizada próximo ao córrego Gouveia, apesar de o trabalho produzido pela Agenda-JF et al. (2006) afirmar que, no ano de 2006, as culturas eram desenvolvidas sem a utilização de defensivos agrícolas. Essa situação aponta para a necessidade da melhoria da fiscalização por parte dos órgãos competentes, de modo que se preserve a qualidade das águas do manancial estudado.

A extração mineral do saibro, utilizado na construção civil, também se faz presente na bacia estudada, principalmente na sub-bacia do Córrego Penido. Existem diversas saibreiras, ativas ou abandonadas, na bacia do ribeirão Espírito Santo, que se constituem num grande passivo ambiental, devido à retirada da cobertura vegetal bem como à alteração dos taludes, que tendem a acelerar os processos de erosão e assoreamento da rede hidrográfica, além de alterarem os parâmetros de qualidade das águas, no que diz respeito à cor e turbidez. A solução desses problemas requer grandes investimentos em trabalhos de engenharia para estabilização dos taludes, além de outras ações de recuperação (AGENDA-JF, 2006).

A bacia do ribeirão Espírito Santo vem sofrendo mudanças, sendo que as maiores ocorreram nos últimos anos, quando foram realizados vários empreendimentos, entre os quais pode-se citar a construção da Usina Termoelétrica de Juiz de Fora, do Residencial Hípico Caracol e do Gasoduto, obras que exigiram grandes movimentos de terra, diminuindo a área coberta e facilitando em muito o assoreamento dos cursos d'água da bacia, já com alguns reflexos na qualidade da água no que tange à cor e turbidez médias anuais.

A bacia estudada também é alvo da especulação imobiliária. Apesar de a legislação vigente estipular que a Fração Mínima de Parcelamento (FMP)¹¹ do solo na área rural do município de Juiz de Fora é de dois hectares (20.000m²), encontra-se instalado na porção sudeste da bacia o Residencial Hípico Caracol, localizado às margens do ribeirão Espírito Santo, cerca de 2.000 metros a montante da captação da CESAMA e cujos proprietários pertencem às classes média e média-alta da sociedade. Nesse empreendimento imobiliário, existe um número significativo de edificações erguidas a menos de 30 metros do principal curso d'água da bacia, dentro, portanto, de Áreas de Proteção Permanente – APPs. Na porção noroeste, o Granjeamento Dias Tavares se limita com a bacia estudada, exercendo pressão sobre ela. Ambos os condomínios rurais colocam em risco a função da bacia como manancial

¹¹ É a área mínima que a Lei permite ser desmembrada de um imóvel rural, para a constituição de uma nova unidade agrícola - artigo 8.º da Lei n.º 5.868, de 12 de dezembro de 1972. A Fração Mínima de Parcelamento do imóvel rural, constante no Certificado de Cadastro do Imóvel Rural (CCIR), corresponde ao módulo da exploração hortigranjeira da ZTM do município de localização do imóvel rural. Assim, o imóvel, ao ser parcelado para fins de transmissão a qualquer título, não poderá permanecer com área remanescente inferior à FMP.

de abastecimento de água do município em questão, pois tendem ao adensamento populacional, com a sua conseqüente transformação em bairros. Tal fenômeno provavelmente ocorrerá pela sucessiva alteração da estrutura fundiária, que se dará naturalmente, com o falecimento dos atuais proprietários e a divisão das propriedades entre os seus herdeiros. É imperioso, portanto, que o poder público exerça sua função fiscalizadora também sobre esses tipos de parcelamento, destinados às camadas mais favorecidas da sociedade, de modo que sejam preservados os interesses coletivos, sobre os individuais.

Duas rodovias federais cortam a bacia. A rodovia BR-040, na porção sudeste, e a BR-267 no sudoeste. A última representa ameaça à qualidade das águas da bacia, visto que seu traçado se estende pela sub-bacia do córrego Penido, tributário do ribeirão Espírito Santo pela margem direita. A rodovia BR-040 cruza a bacia a jusante da captação, não se constituindo, portanto, em ameaça ao abastecimento d'água do município de Juiz de Fora.

Dois oleodutos pertencentes à Petrobrás, que ligam as refinarias Duque de Caxias (REDUC), localizada no município Duque de Caxias (RJ), e a Gabriel Passos (REGAP), localizada no município de Betim (MG), cruzam a bacia, ocupando uma faixa de 20 metros de largura e se estendem na direção aproximada norte-sul.

Dois gasodutos se estendem pela bacia. Um deles pertence à Petrobrás e atravessa toda a bacia na direção predominante norte-sul, seguindo para a direção da região metropolitana de Belo Horizonte. Originado desse primeiro duto, um outro gasoduto parte, da estação de recebimento de gás natural da Companhia de Gás de Minas Gerais (Gasmig), localizada na porção sudeste da bacia, próximo ao bairro de Igrejinha. Este gasoduto se estende pela bacia na direção aproximada sudoeste-nordeste, e atende às empresas localizadas no leste da bacia, como a Usina Termelétrica de Juiz de Fora (UTE/JF), a Indústria de Papéis Sudeste, a Usina de Asfalto da Empresa Municipal de Pavimentação (EMPAV), dentre outras.

A menos de cem metros das instalações da Gasmig, existe um número significativo de ocupações irregulares, que se estendem por cerca de 500 metros, às margens da estrada que liga o Residencial Caracol ao bairro Igrejinha, no prolongamento da Rua da Estação. Em determinados trechos, as habitações se encontram a menos de 20 metros do gasoduto da Petrobrás.

A situação anteriormente descrita coloca em risco a integridade física dos moradores em questão, no caso de um acidente envolvendo o gasoduto, além de se constituir em séria ameaça à qualidade das águas da bacia estudada. As já referidas ocupações subnormais se encontram a menos de 300 metros do curso principal do ribeirão Espírito Santo e a cerca de 5.000 metros a montante da captação da CESAMA. Essa situação requer medidas imediatas

no sentido de reassentar as famílias em questão, pelos motivos já mencionados. Requer também uma fiscalização sistemática, por parte dos órgãos competentes, visto que há uma clara tendência de que as ocupações irregulares avancem em direção ao interior da bacia, devido à existência de boa parte dos equipamentos urbanos, presentes no bairro Igrejinha, e à proximidade com a rodovia BR-267.

4.2.2 DISPONIBILIDADE E DEMANDA DOS RECURSOS HÍDRICOS

O município de Juiz de Fora possui 156 sub-bacias de diversas dimensões, como mostra a Figura 4.7, (na qual se pode observar a área urbana do Distrito Sede, delimitada pela linha negra, que abrange o extremo leste da bacia do ribeirão Espírito Santo, área de estudo desta dissertação). O Plano Diretor de Abastecimento de Água da Área Urbana de Juiz de Fora – PDDU- (CESAMA, 1985, v. 2, p. 2.5), no entanto, só realizou estudos sobre o potencial hídrico de oito delas: rio Paraibuna, ribeirão dos Burros (represa Dr. João Penido), ribeirão Estiva (córregos Serafim e Varginha), ribeirão Espírito Santo (córrego Gouveia), córrego São Pedro, córrego Poço D’Antas, rio do Peixe e rio Piau. O estudo supracitado tinha por objetivo avaliar quais mananciais, no futuro, poderiam garantir o abastecimento de água do município em questão. O abastecimento atual é dividido pelas bacias destacadas, como será exposto adiante.

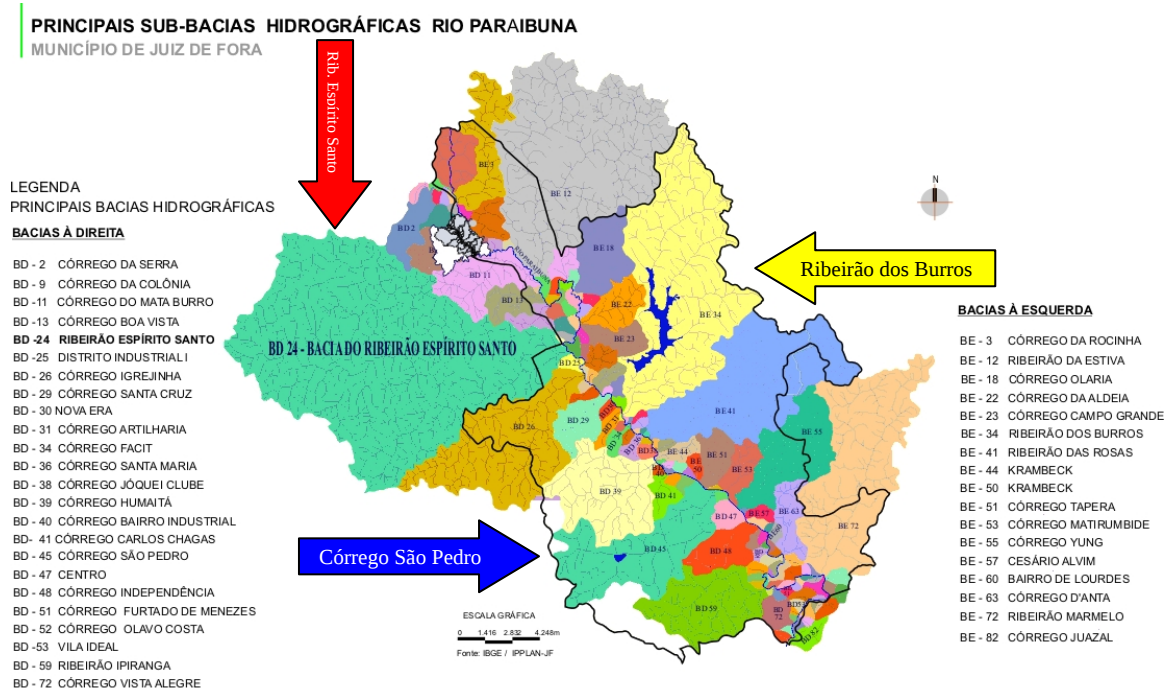


Figura 4.7 – Principais sub-bacias hidrográficas do rio Paraibuna.
Fonte: Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora, 1996.

Do ponto de vista técnico e financeiro, concluiu-se ao final daqueles estudos, ainda que de forma preliminar, uma hierarquização na qual foram eleitas, nessa ordem de importância, a barragem do córrego Gouveia (afluente do ribeirão Espírito Santo) e a barragem do ribeirão Espírito Santo como as opções mais viáveis para o abastecimento de água da cidade de Juiz de Fora. Afirmo o PDAA que foram considerados os valores relativos aos serviços de terraplenagem e construção da barragem de regularização. Não foram inseridos nessa avaliação os demais custos envolvidos, como elevatórias, estações de tratamento de água, adutoras, custos operacionais e outros. (ibid., p. 2.8)

Os estudos realizados na confecção do PDAA para melhorar o abastecimento de água da área urbana de Juiz de Fora estabeleceram como meta final o ano de 2011, para o qual foi projetada uma população total, no município em questão, de 685.241 habitantes (ibid., p. 2.11). É relevante lembrar que a estimativa populacional, realizada pelo IBGE, para o ano de 2006 para o município de Juiz de Fora foi de 509.125 habitantes, o que representa uma diferença de cerca de 176.000 habitantes a menos, que acabou gerando um superdimensionamento das estimativas realizadas pelo PDAA para as demandas hídricas para o final da primeira década do século XXI. (ibid.) Tal diferença se explica pela redução do crescimento vegetativo, verificada a partir da década de 1960. Segundo o IBGE (2001), a população brasileira, que em 1960 apresentava um crescimento de 35,1% em relação à população absoluta de 1950, teve seu crescimento, em 1970, reduzido para 32,7% em relação à década anterior. Esses percentuais foram sendo reduzidos nas décadas seguintes: 27,7% em 1980; 23,3% em 1991; 15,6% em 2000, sendo projetado um crescimento de apenas 13,0% para a população absoluta do ano de 2010, se comparada à do ano 2000.

De acordo com o PDAA (CESAMA, 1985, v. 2, p. 2.6), o ribeirão Espírito Santo, objeto de estudo deste trabalho, poderia atender a uma demanda de 1.500 l/s até o ano de 2010, após o barramento de um de seus afluentes, o córrego Gouveia. Na época da confecção do já referido Plano Diretor, concluído em maio de 1985, a vazão mínima diária do ribeirão Espírito Santo era estimada em 460 l/s. No entanto, segundo o mesmo documento, na época só eram captados 200 l/s. O aumento da captação seria condicionado à instalação de mais um conjunto moto-bomba na elevatória de água bruta, duplicação da adutora de recalque e duplicação da Estação de Tratamento de Água existente. (ibid., p. 2.6) O mesmo documento afirmava ainda que essa capacidade poderia chegar até 1.800 l/s com a implantação de um reservatório de compensação no próprio ribeirão Espírito Santo, a montante da foz do ribeirão Gouveia e que a capacidade poderia ser elevada até 2.232 l/s, com a implantação dos dois reservatórios anteriormente citados. (ibid.)

O PDAA previa que a barragem do córrego do Gouveia (afluente do ribeirão Espírito Santo) deveria entrar em operação no ano de 1992, o que até a presente data não ocorreu, sendo que suas obras sequer foram iniciadas. (ibid., p. 2.22) Contribui para agravar mais ainda a situação o grande percentual de áreas cobertas por campos (cobertura vegetal predominante na bacia estudada). Estas, aliadas à escassa presença de matas ciliares, contribuem para a pequena retenção de águas nos aquíferos durante a estação chuvosa, o que se traduz em menores vazões de suas nascentes na estação seca, característica indesejável em uma bacia destinada ao abastecimento de água. Outra consequência indesejável, característica da matriz campo, é a aceleração dos processos de erosão difusa e assoreamento dos cursos d'água, não menos prejudiciais a um sistema de captação de água para abastecimento urbano, pois, dentre outros problemas, interferem nos parâmetros qualitativos da água, em particular a turbidez.

O sistema de abastecimento de água do município de Juiz de Fora atende, segundo a Companhia de Saneamento de Juiz de Fora – CESAMA- (2007), a 98,89% da população juizforana¹², com 103.465 ligações. É composto por quatro mananciais: a represa Dr. João Penido (50 a 56% do abastecimento, com vazão regularizada de 750 l/s), o **ribeirão Espírito Santo** (36 a 42% do abastecimento, com uma vazão de captação variando de **494 a 620 l/s**), a represa de São Pedro (8% do abastecimento, com vazão média variando entre 120 e 150 l/s) e a represa do Poço D'Anta (que se encontra atualmente com a estação de tratamento de água desativada). Os três maiores mananciais encontram-se apontados na Figura 4.7, respectivamente, pelas **setas amarela, vermelha e azul**.

As águas da bacia do ribeirão Espírito Santo se destinam principalmente ao abastecimento de água potável para a população da cidade de Juiz de Fora. Segundo a CESAMA, na época das chuvas, o já referido manancial chega a atender até 42% do consumo, aproveitando a maior vazão verificada nesse período, já que seu barramento, como já dito, não foi concretizado. A participação do ribeirão em questão, no abastecimento urbano, é reduzida para cerca de 36%, na estação seca, época em que aumenta a adução das águas no principal manancial do município, a represa Dr. João Penido, acumuladas durante a estação chuvosa. As águas da bacia estudada também se destinam, em menor proporção, ao uso industrial, (que será abordado adiante), à irrigação de pequenas culturas e atividades agropecuárias, de pequena expressão no município.

O Relatório Técnico para Outorga de Água Superficial do ribeirão Espírito Santo (CESAMA, 2001, p.2.), encaminhado ao Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM),

¹² Estimada pelo IBGE, para o ano de 2006, em 509.125 habitantes. (PJF, 2007)

como parte do Requerimento de outorga de direito de uso das águas, afirma que atualmente o ribeirão Espírito Santo fornece uma vazão média, na adução de água tratada, de 494,40 l/s (vazão medida). O relatório citado afirma também que a retirada de água bruta pode atingir valores próximos de 600 l/s. Na descrição das características técnicas do empreendimento, o Relatório Técnico de Outorga (ibid., p. 4.) afirma que a **vazão Q_{7,10}**¹³ do ribeirão Espírito Santo é de **1.040 l/s**, mesmo sem a construção dos barramentos previstos pelo PDAA (CESAMA, 1985, v. 2, p. 2.6.). Afirma ainda que se chegou à vazão supracitada “adotando-se a metodologia recomendada pelo IGAM, ou seja, utilizando como referência o documento intitulado ‘Defluidos Superficiais no Estado de Minas Gerais’, COPASA/Hidrossistemas, 1993”. O documento é concluído, afirmando-se que a vazão poderia ser expandida, segundo o PDAA (ibid., p. 3.16.), até 2.056 l/s, mediante os dois barramentos previstos (do ribeirão Espírito Santo e do córrego Gouveia).

Segundo a Agenda-JF et al. (2006), foi produzido pela CESAMA, entre os anos de 1976 e 1995, um trabalho de acompanhamento das vazões do ribeirão Espírito Santo, conforme mostra a Tabela 4.2. Este trabalho, produzido por regionalização de vazões, foi realizado utilizando duas estações fluviométricas (Chapéu D’Uvas e Juiz de Fora), localizadas, respectivamente, a montante e a jusante da desembocadura do ribeirão Espírito Santo, no rio Paraibuna que, como já dito, é o principal da bacia. A maior parte dos estudos realizados pela CESAMA que demandam as vazões do ribeirão Espírito Santo utilizam como referência essa série de 20 anos.

Apesar dos riscos de imprecisão, inerentes ao processo de regionalização de vazões, pode-se observar (Tabela 4.2) que as médias das vazões mínimas no ribeirão Espírito Santo oscilavam, no período do estudo, entre 1.070 l/s, em agosto e 2.510 l/s, em dezembro. A diferença entre esses meses é potencializada quando se observam as médias das vazões máximas, que variam de 3.130 l/s em agosto até 14.820 l/s, em janeiro, significando uma diferença de vazão de quase cinco vezes, registrada entre o mês mais chuvoso e o mais seco, o que demonstra a importância de se buscar a regularização das vazões.

É necessário ressaltar que não houve acesso ao estudo propriamente dito, mas somente à sua compilação, através do estudo realizado pela Agenda-JF et al. (2006).

¹³ Q_{7,10} (vazão mínima de sete dias observados em um período de dez anos de recorrência).

Tabela 4.2 – Vazões do Ribeirão Espírito Santo (l/s) – 1976 a 1995

	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
MAX	14.820	14.550	13.660	6.980	4.990	6.110	3.600	3.130	6.550	4.670	5.320	9.630
MIN	2.480	1.800	2.260	2.090	1.740	1.380	1.460	1.070	1.270	1.420	1.750	2.510
MED	6.210	5.620	4.860	3.820	2.770	2.410	2.050	1.820	2.200	2.370	3.260	4.680

Fonte: Agenda-JF et al., (2006).

Existe na barragem de captação da CESAMA, localizada no ribeirão Espírito Santo, uma estação de medição/análise de qualidade da água, que pode servir de orientação para comparações. Segundo a Agenda-JF et al. (2006), as águas do Ribeirão do Espírito Santo estão atendendo aos padrões de seu enquadramento, ou seja, Classe 1, com exceção da cor e da presença de coliformes fecais. O resultado apresentado no parâmetro “cor” pode representar uma característica comum na região, enquanto que, no caso dos “coliformes fecais”, o resultado apresentado pode ser um indicador de degradação do curso d’água, cuja origem poderia ser atribuída às atividades agropecuária e industrial aí desenvolvidas, à ausência de sistema de coleta e tratamento do esgoto ou aos aglomerados urbanos da bacia.

O estudo denominado “Proposta de recomposição florestal da bacia do ribeirão do Espírito Santo”, produzido pela Agenda-JF et al. (2006), apresenta um quadro com as outorgas concedidas na bacia do ribeirão Espírito Santo. As vazões referenciadas adiante foram retiradas daquele documento.

A Companhia de Saneamento de Juiz de Fora (CESAMA) é o maior usuário das águas da bacia estudada, com uma vazão outorgada de 620 litros/segundo. A captação, feita a fio d’água, se localiza na porção leste da bacia, na cota altimétrica de 700 metros e a cerca de 2.020 metros da foz no rio Paraibuna. A água captada na margem direita do ribeirão estudado é recalçada para a ETA Walfrido Machado de Mendonça, distante cerca de 1.060 metros em linha reta e localizada na cota altimétrica de 720 metros, de onde é distribuída.

A Companhia Paraibuna de Metais é o segundo maior consumidor das águas da bacia estudada, captando cerca de 90 litros/segundo e realizando o lançamento no córrego Três Pontes, pertencente à bacia do córrego Igrejinha.

Também se encontra instalada na porção leste da bacia, cerca de 800 metros a sul da captação da CESAMA, a Usina Termelétrica de Juiz de Fora, que possui uma outorga¹⁴ já concedida de 50 litros/segundo. Além dela, também fazem uso das águas do ribeirão Espírito Santo a Indústria de Papéis Sudeste (outorga de 42 litros/segundo), a Fábrica de Embutidos João Kennedy Ribeiro (outorga de 0,05 litros/segundo) e outros pequenos usuários.

Pode-se resumir o consumo industrial informado pelo trabalho desenvolvido pela Agenda-JF et al. (2006), na Tabela 4.3:

Tabela 4.3 - Consumo industrial na bacia do ribeirão Espírito Santo em 2006

Empresa	Vazão outorgada (l/s)
Votorantim Metais (Companhia Paraibuna de Metais)	90,00
Usina Termelétrica de Juiz de Fora – UTE-JF	50,00
Indústria de Papéis Sudeste - IPS	42,00
Fábrica de Embutidos João Kennedy Ribeiro	0,05
Total	182,05

Fonte: Agenda-JF et al., 2006.

O consumo industrial somado aos consumos doméstico urbano e doméstico rural, está resumido na Tabela 4.4, apresentada adiante. Esta mostra que existe uma divergência entre os dados fornecidos pela Agenda-JF et al. (2006) e os fornecidos pela relação das outorgas concedidas no ribeirão Espírito Santo, a qual está disponível para a consulta no *website* do IGAM (2007).

¹⁴ É o ato administrativo mediante o qual o poder público outorgante (União, Estado ou Distrito Federal) faculta ao outorgado (requerente) o direito de uso de recurso hídrico, por prazo determinado, nos termos e nas condições expressas no respectivo ato administrativo. A outorga de direito de uso de recursos hídricos é um dos seis instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos, estabelecidos no inciso III, do art. 5º da Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Esse instrumento tem como objetivo assegurar o controle quantitativo e qualitativo dos usos da água e o efetivo exercício dos direitos de acesso à água. (Site da Agência Nacional de Águas – ANA, *A ANA na gestão das águas. Gerência de outorga: apresentação*. Disponível em: <http://www.ana.gov.br/gestaoRecHidricos/Outorga/default2.asp>. Acesso em 21 junho 2007)

Tabela 4.4 – Demanda Hídrica no ribeirão Espírito Santo

Tipo de Uso	Demanda Hídrica Agenda-JF (2006)	Demanda Hídrica IGAM (2007)
Agrícola	Não Dimensionada	Não Dimensionada
Pecuário	Não Dimensionada	Não Dimensionada
Doméstico rural	1,80 l/s	1,80 l/s
Industrial	182,05 l/s	224,05 l/s
Doméstico urbano	620,00 l/s	620,00 l/s
Total	803,85 l/s	845,85 l/s

Fonte: Agenda-JF et al., (2006); IGAM (2007).

Cotejando as informações do trabalho desenvolvido pela Agenda-JF et al. (2006), com a relação das outorgas concedidas, atualizada até 04 de julho de 2007 (presente no *website* do IGAM), foi constatado que a CESAMA possui duas outorgas no ribeirão do Espírito Santo: uma autorizando o uso de 300,00 l/s, publicada em 24/07/2002 e uma outra de 0,00 l/s, emitida em 24/04/2004. O valor nulo pode ser decorrente de erro de lançamento por parte de um funcionário do IGAM, em função do número de outorgas para águas superficiais chegar a quase 9.300 em todo o estado. Além disso, foi encontrada mais uma outorga no ribeirão estudado, não constante da relação produzida no trabalho da Agenda-JF et al. (2006). Essa outorga foi concedida à Companhia Paraibuna de Papéis, com uma vazão de 42,00 l/s. Portanto, de acordo com os valores fornecidos pelo IGAM, atualizados até 04/07/2007, temos as outorgas concedidas no ribeirão Espírito Santo, que são apresentadas na Tabela 4.5. A Agenda-JF et al. (2006) não menciona a outorga concedida à Cia. Paraibuna de Papéis, assim como também o uso doméstico rural não é citado na relação das outorgas concedidas pelo IGAM (2007).

Independentemente da confirmação da vazão concedida à CESAMA na sua segunda outorga, temos uma vazão outorgada pelo IGAM, no ribeirão Espírito Santo, muito superior à **vazão outorgável**¹⁵, que é de **30% da Q7,10**, no caso das captações a fio d'água sem barragem de regularização. A **vazão Q7,10** informada no requerimento de outorga, expedido pela CESAMA (2001), é de **1.040 l/s**. Portanto, o **máximo outorgável** para a bacia estudada

¹⁵ A Portaria nº 010 do IGAM, de 30 de dezembro de 1998, define no seu Artigo 8º:

§ 1º - Até que se estabeleçam as diversas vazões de referência na Bacia Hidrográfica, será adotada a Q 7.10 (vazão mínima de sete dias de duração e dez anos de recorrência), para cada Bacia.

§ 2º - Fixar em 30% (trinta por cento) da Q 7,10 o limite máximo de derivações consuntivas a serem outorgadas na porção da bacia hidrográfica limitada por cada seção considerada, em condições naturais, ficando garantidos, a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 70% (setenta por cento) da Q 7,10 .

seria de **312,00 l/s**, bem inferior aos **524,05 l/s** (melhor hipótese) ou aos **845,85 l/s** (pior hipótese). Tal situação concorre para a extinção da vazão ecológica¹⁶ entre a captação da CESAMA, localizada no baixo curso do ribeirão Espírito Santo (Figura 16), e a foz no rio Paraibuna, localizada 2.000 metros a jusante, a despeito do uso do solo aí existente.

Tabela 4.5 - Outorgas concedidas na bacia do ribeirão Espírito Santo, segundo o IGAM e a Agenda-JF

Requerente	Agenda-JF	IGAM
	Vazão outorgada (l/s)	Vazão outorgada (l/s)
Companhia de Saneamento de Juiz de Fora	620,00	300,00
Votorantim Metais	90,00	90,00
Usina Termelétrica de Juiz de Fora (UTE-JF)	50,00	50,00
Companhia Paraibuna de Papéis	-	42,00
Indústria de Papéis Sudeste - IPS	42,00	42,00
Fábrica de Embutidos João Kennedy Ribeiro	0,05	0,05
Uso doméstico rural	1,80	-
Total	803,85	524,05

Fonte: Agenda-JF (2006); IGAM (2007).

A população estimada da bacia, segundo a Agenda-JF, é de aproximadamente 2.300 pessoas, que não são, em sua maioria, servidas pelos sistemas de distribuição de água potável nem pela rede coletora de esgotos, em função de a maior parte da bacia se localizar em área rural. O abastecimento de boa parte dessa população se faz por poços artesianos e as águas servidas tendem a comprometer a qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

A CESAMA é responsável pelos serviços de água e esgoto no distrito de Rosário de Minas e no bairro de Igrejinha, locais onde o abastecimento é garantido pela exploração de poços artesianos com vazões, respectivamente, de 2,0 e 3,0 litros/segundo.

A coleta de lixo domiciliar é realizada pelo Departamento Municipal de Limpeza Urbana (DEMLURB). Segundo informação existente no site do DEMLURB, no bairro de Igrejinha e na localidade de Penido, a coleta é realizada duas vezes por semana. Já no distrito de Rosário de Minas, a coleta só acontece 1 vez por semana. No bairro de Igrejinha, na localidade de Penido e no distrito de Rosário de Minas, a coleta seletiva acontece duas vezes por mês.

¹⁶ Vazão mínima que deve ser mantida no leito do rio, a jusante da captação de água, para a proteção dos ecossistemas.

5 APLICAÇÃO E RESULTADOS

5.1 Cobertura vegetal e uso do solo na bacia do ribeirão Espírito Santo

A bacia do ribeirão Espírito Santo possui, segundo a Companhia de Saneamento Municipal de Juiz de Fora – CESAMA - (2001), uma superfície, a montante da captação, de 148,25 km² e uma superfície total de 151,33 km². Possui um padrão de drenagem dendrítica¹, “também designada como arborescente [Figura 4.5], porque em seu desenvolvimento assemelha-se à configuração de uma árvore”. (CHRISTOFOLETTI, 1980) A bacia estudada possui um perímetro de 64,80km e um índice de circularidade² de 0,45280. O índice de compacidade³ da bacia é de 1,47509, ou seja, possui uma forma alongada. A densidade de drenagem⁴ da bacia é de 2,85km/km². Seus pontos culminantes se localizam na porção norte da bacia. Um se situa próximo às nascentes dos córregos Gouveia e São Firmino, a nordeste da Fazenda Sarandi, e alcança 940 metros. O outro, de mesma altitude, se situa entre a Fazenda Lambari (de Miguel José Ferreira) e a Fazenda Lambari (do Dr. Hélio Fortini), próximo a uma das nascentes do córrego Sarandi, na porção noroeste da bacia. Seu ponto de menor altitude se localiza na confluência com o rio Paraibuna, no extremo leste da bacia, próximo ao bairro Ponte Preta, com 691 metros, medidos com GPS (*Garmin eTrex Legend*) in

¹ Nesse padrão, o curso d' água principal corresponderia ao tronco da árvore, seus afluentes seriam os diversos ramos e os cursos menores se comportariam como os ramos menores e as folhas. Segundo Christofolletti, “no padrão dendrítico, as correntes tributárias se distribuem em todas as direções e se unem formando ângulos agudos de diferentes medidas, mas sem jamais chegar ao ângulo reto.” (CHRISTOFOLETTI, 1980) Afirma ainda o autor supracitado que o padrão dendrítico é tipicamente desenvolvido sobre rochas de resistência uniforme, ou em estruturas sedimentares horizontais.

² O índice de circularidade tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada.

³ O coeficiente de compacidade (Kc) relaciona a forma da bacia com um círculo. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1. Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu Kc for mais próximo da unidade.

⁴ Relação entre o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede - sejam eles perenes, intermitentes ou temporários - e a área total da bacia.

loco. De um modo geral, pode-se afirmar que as porções norte, noroeste, oeste e sudoeste concentram as maiores altitudes da bacia hidrográfica do ribeirão Espírito Santo. As altitudes se tornam mais modestas nas porções central e leste da bacia, como pode ser observado no Modelo Digital de Elevação (Figura 5.2).

Os dados referentes à extensão e altimetria da bacia foram obtidos através da análise dos mapas produzidos pelo *software ArcView 3.2*.

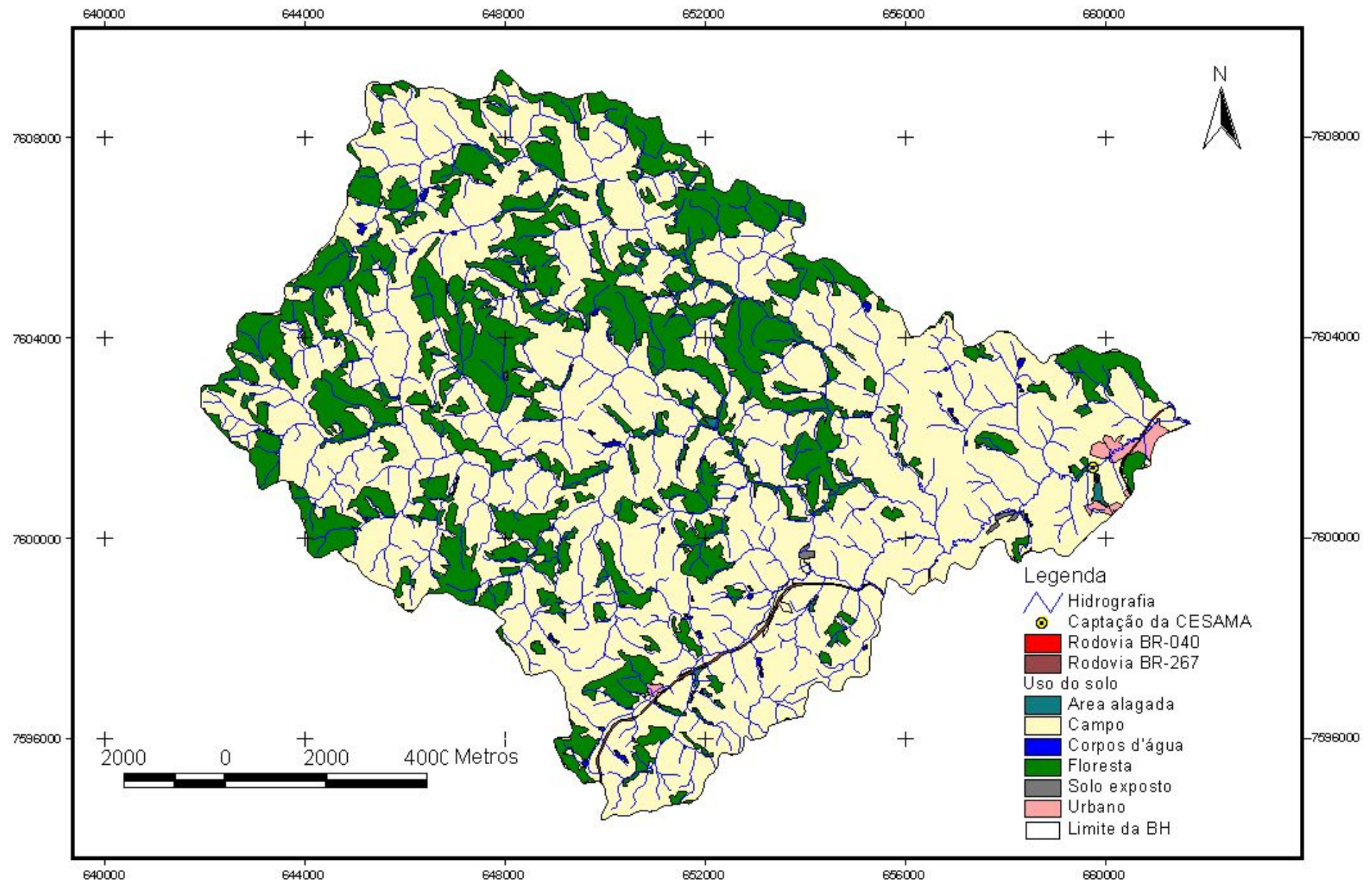
Após análise das informações produzidas pelo *software ArcView 3.2*, foram obtidos os percentuais de cobertura vegetal e uso do solo expressos na Tabela 5.1, que podem ser visualizados no mapa de uso e cobertura do solo (Figura 5.1), produzido na confecção do presente trabalho. É necessário ressaltar que foram enquadradas na classe “Campo”, que é a matriz da paisagem da bacia, com quase 72% da cobertura vegetal, todas as áreas de pasto, seja pasto “limpo” ou pasto “sujo”. Também foram classificadas como “Floresta”, as florestas secundárias nos seus estágios intermediário e avançado, bem como as áreas reflorestadas, com eucalipto (*Eucalyptus spp.*) ou pinus (*Pinus spp.*), devido à dificuldade de se distinguirem, inclusive pelas imagens de satélite do *software Google Earth*⁵. Tal distinção poderia ter sido obtida com sucessivos trabalhos de campo. No entanto, tal distinção não é relevante para o objetivo do presente trabalho.

Tabela 5.1 – Cobertura vegetal e uso do solo na bacia do ribeirão Espírito Santo

Classe	Área (km²)	Percentual
Campo	108,92	71,98
Floresta	40,82	26,97
Área urbana	0,77	0,51
Corpos d’água	0,32	0,21
Área alagada	0,28	0,19
Solo exposto	0,18	0,12
Total	151,29	99,97

⁵ Utilizado como auxiliar para conferências após a classificação supervisionada.

Figura 5.1 - Bacia do Ribeirão Espírito Santo: Juiz de Fora-MG
Uso e cobertura do solo - Imagem Lansat-7 (2001)



Para a identificação das Áreas de Preservação Permanente (APPs), foram produzidos três mapas. Um identificou as **APPs de nascentes e faixas marginais de cursos d'água** (Figura 5.3). O outro identificou as **APPs por declividade > 45°** (Figura 5.4). Este último foi produzido a partir do mapa do **Modelo Digital de Elevação** (Figura 5.2), que seria o terceiro.

Foi realizada uma interseção entre os dois primeiros mapas (APPs de nascentes e faixas marginais de cursos d'água e APPs por declividade > 45°) e o mapa de “florestas”.

O mapa de “florestas” (gerado a partir do mapa de “uso e cobertura do solo”), quando cruzado com os mapas de APPs, resultou em outros dois mapas que definiram os percentuais de cobertura florestal existente nas Áreas de Preservação Permanente, já mencionadas.

O trabalho de geoprocessamento, desenvolvido durante a confecção da presente dissertação, aponta a presença de 478 nascentes na bacia estudada, das quais apenas 234 possuíam alguma cobertura florestal (48%), contra 244 desprotegidas. As APPs de nascente perfazem uma área total de 3,75 km², das quais 1,35 km² (ou 36%) se encontram florestados. Portanto, 64% se encontram desprotegidos. A Tabela 5.2 resume a situação das APPs de nascentes na bacia do ribeirão Espírito Santo.

Tabela 5.2 - Situação das APPs de nascentes

Tipo de APP	Nº total	Área total (km²)	Nascentes protegidas	%	Nascentes desprotegidas	%
Nascentes	478	3,75	234	48	244	52

A soma das **APPs de nascente, faixas marginais de cursos d'água e declividade maior que 45°**, totaliza 43,76 km², dos quais 12,01 km² (27,44%) encontram-se florestados. Encontram-se, portanto, sem cobertura florestal 31,75 km².

Na bacia do ribeirão Espírito Santo, as **APPs de faixas marginais de cursos d'água**, somadas às **APPs de nascentes**, perfazem uma área total de 25,51 km², dos quais 5,97 km² (23,4%) se encontram florestados, ao passo que 19,54 km² se encontram sem cobertura florestal. O **perímetro das APPs** em questão totaliza 837,82 km⁶ lineares, dos quais 287,28 km (34,3%) já se encontram florestados, com 550,54 km lineares sem cobertura florestal.

⁶ Refere-se às duas margens dos cursos d'água da bacia do ribeirão Espírito Santo, que totalizam 418,91km.

No que se refere às **APPs por declividade**, foram identificadas 3.512 APPs, que perfazem uma área de 18,25 km² (12,06% da área da bacia). Deste total 6,04 km² (33,1% da área total das APPs por declividade), encontram-se florestados. Por conseguinte, encontram-se sem cobertura florestal 12,21 km².

A Tabela 5.3 compila os principais dados estatísticos referentes às APPs (nascentes, faixas marginais de cursos d'água e declividade maior que 45°) na bacia do ribeirão Espírito Santo.

Tabela 5.3 Situação das APPs de nascente, faixas marginais de cursos d'água e declividade > 45°

Tipo de APP	Nº Total	Área total (km²)	Área protegida (km²)	%	Área desprotegida (km²)	%
Nascente + faixa marginal de cursos d'água + declividade > 45°	-	43,76	12,01	27	31,75	73
Nascentes + faixa marginal de cursos d'água	-	25,51	5,97	23	19,54	77
Nascentes	478	3,75	1,35	36	2,40	64
Faixas marginais	-	21,76	4,62	21	17,14	79
Declividade > 45°	3.512	18,25	6,04	33	12,21	67

Além de tal situação descumprir o que determina a legislação em vigor, no que concerne às Áreas de Proteção Permanente, também concorre para reduzir a qualidade dos recursos hídricos no segundo maior manancial de abastecimento de água do município de Juiz de Fora. Situação não menos preocupante se refere às APPs de topos de morro, essenciais para a retenção da água precipitada e redução do processo de erosão laminar bem como do assoreamento da rede hidrográfica. A importância das APPs é potencializada na bacia estudada, onde cerca de 73% da superfície é recoberta por pastagens.

Figura 5.2 - Bacia do Ribeirão Espírito Santo: Juiz de Fora-MG
Modelo Digital de Elevação

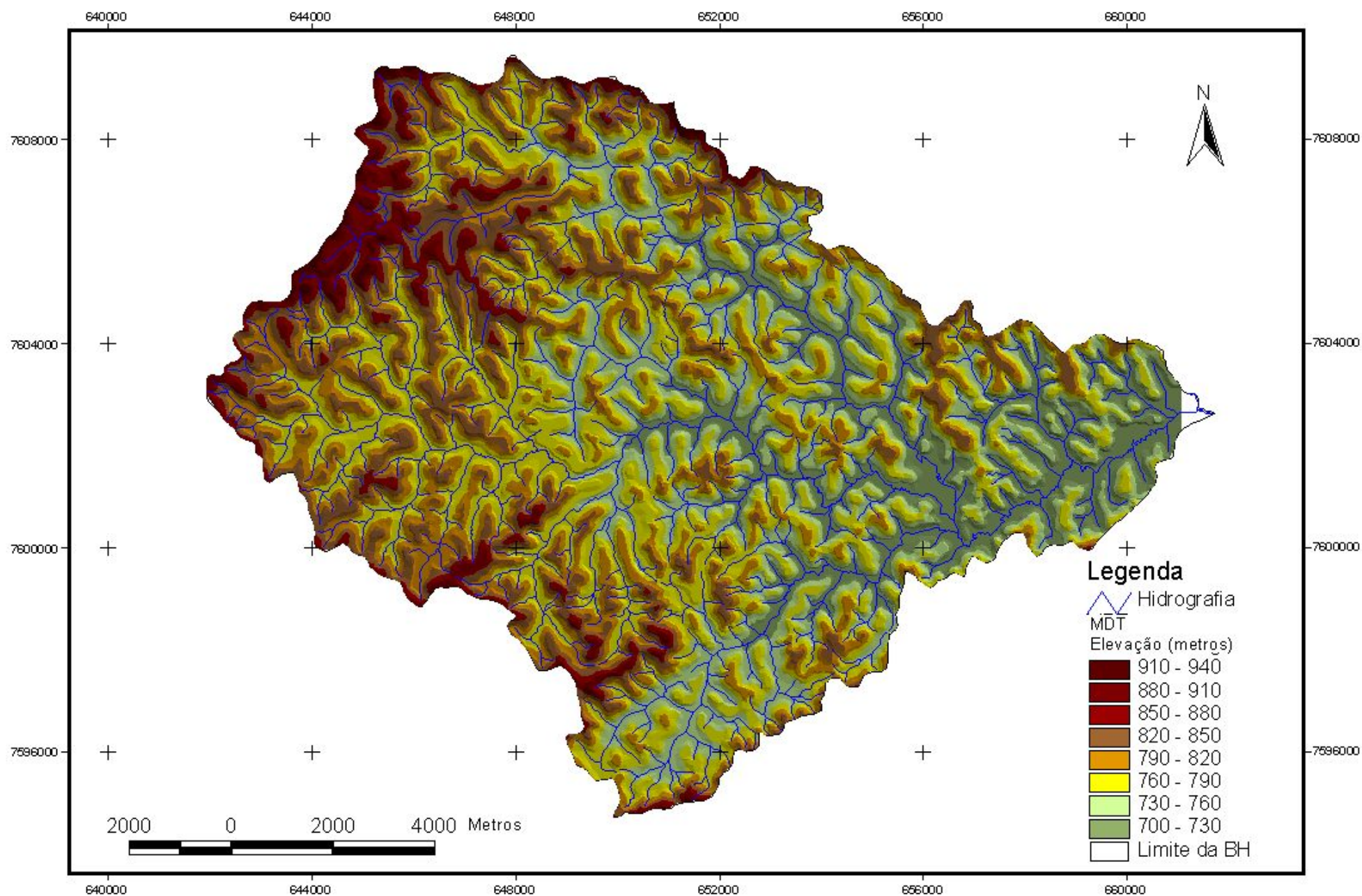


Figura 5.3 - Bacia do Ribeirão Espírito Santo: Juiz de Fora-MG
Situação das APP's de nascentes e faixas marginais de cursos d'água

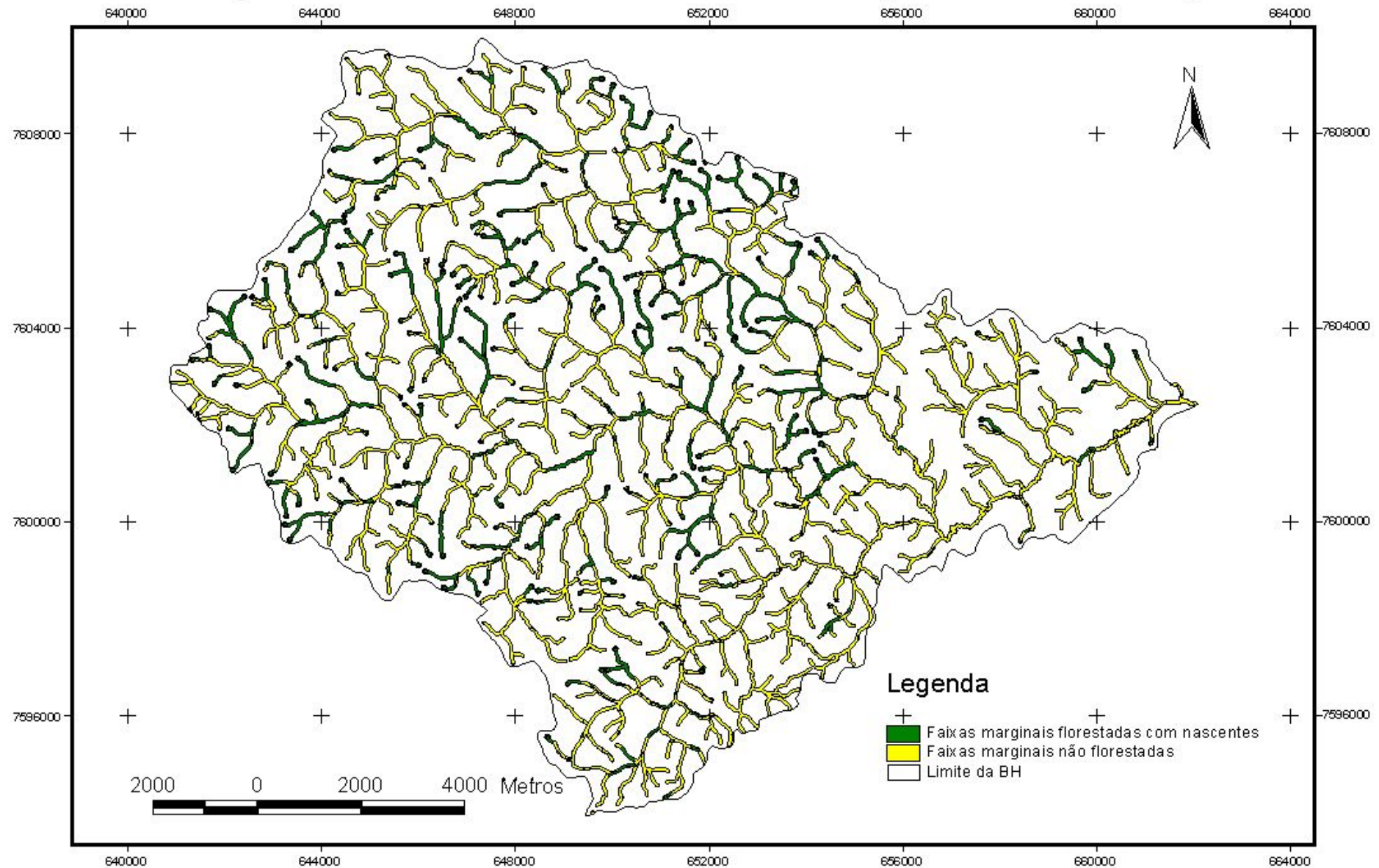
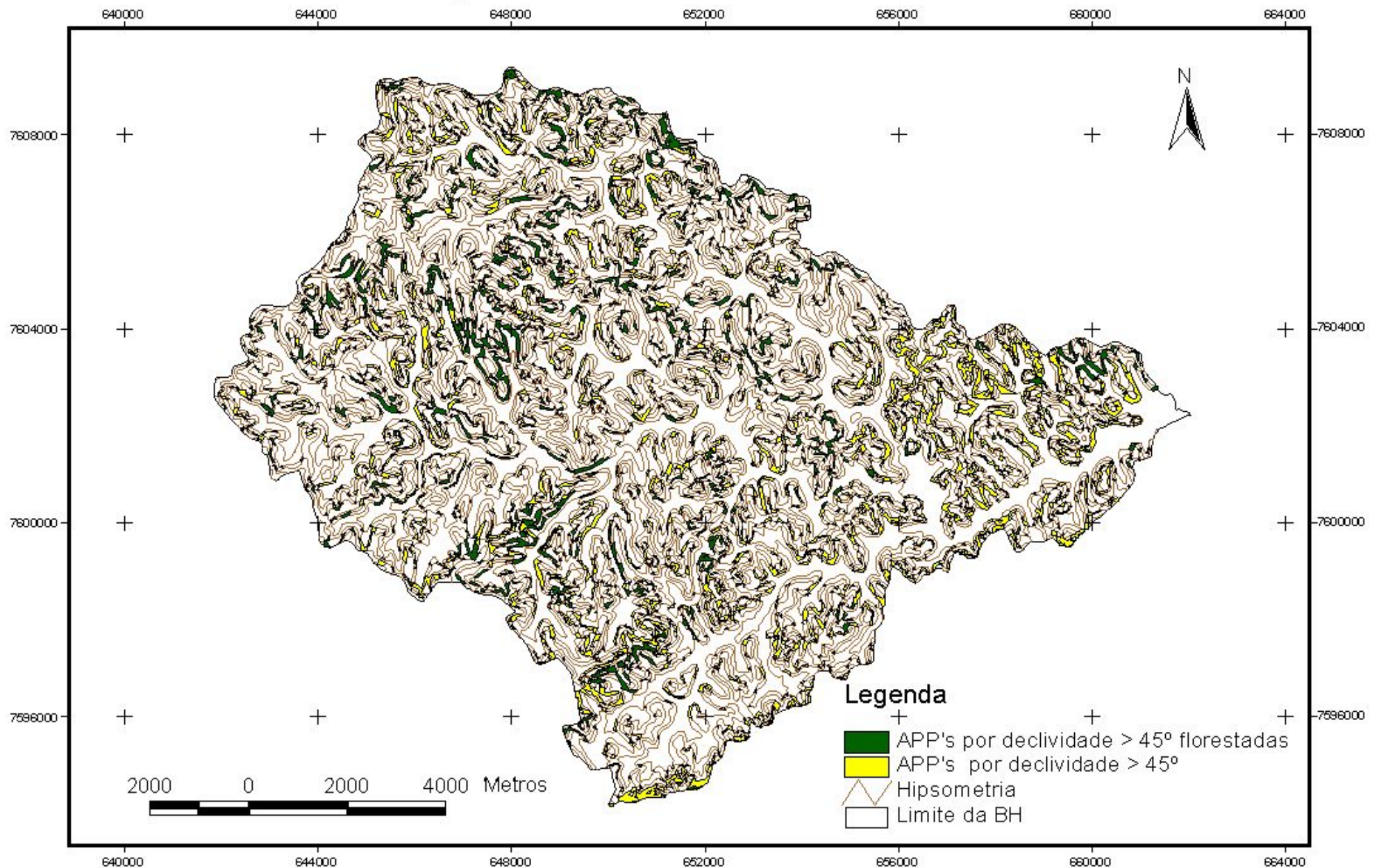


Figura 5.4 - Bacia do Ribeirão Espírito Santo: Juiz de Fora-MG
Situação das APP's por declividade $> 45^\circ$



5.2 Aplicação do modelo de células

A escolha do Modelo de Células (ModCel) se deve ao fato de tal modelo utilizar variáveis hidrológicas e hidráulicas, que tendem a melhorar a confiabilidade de seus dados de saída. Além disso, o ModCel é um modelo desenvolvido no Brasil e adaptado às características climato-botânicas do país.

O SMAP, modelo tradicionalmente utilizado no país, apesar de sua comprovada eficiência, só possui interface com a plataforma *Windows 95*, sendo incompatível com as versões mais modernas desse sistema operacional, como a versão ME, a versão 2000 e a versão XP, o que acaba limitando seu uso. O modelo Hidro-Flu (Labhidro – COPPE – UFRJ), também vastamente utilizado, só trabalha com dados hidrológicos, o que tende a reduzir a acurácia de seus dados.

A seguir serão descritos, de forma detalhada, os passos utilizados para o cálculo dos coeficientes de escoamento superficial de *Run-Off* (CNs), necessários para o funcionamento do ModCel. É importante ressaltar que as Tabelas 3.3 e 3.4 (coeficientes de *Run-Off* de acordo com o uso do solo e tipos de solo em bacias rurais e urbanas), bem como a Tabela 3.2 (tipos de solo e suas características), presentes no Capítulo 3 deste trabalho, subsidiaram a construção das Tabelas 5.4, 5.5 e 5.6, necessárias para a obtenção dos três coeficientes de *Run-Off* (CNs): CN 45 (bacia com 50% de cobertura florestal); CN 65 (situação atual de cobertura florestal na bacia) e CN 80 (situação de grande urbanização da bacia).

Os três coeficiente de *Run-Off* (CNs) foram utilizados para as simulações (cenários) com o Modelo de Células, que serão descritas a seguir.

CENÁRIO Nº 1

Foi utilizado o **CN 65** (referente à situação atual de uso e cobertura do solo da bacia), calculado da seguinte forma:

1. Seguindo a Tabela 3.3 (Coeficientes de *Run-Off* para bacias rurais), foi construída a Tabela 5.4.
2. Foi utilizada média ponderada para cálculo do coeficiente de *Run-Off* médio para a situação atual da bacia, conforme a fórmula abaixo. Essa utilizou os percentuais referentes a cada tipo de uso do solo (extraído do mapa de uso e cobertura do solo, produzido nos trabalhos de geoprocessamento) e seus respectivos CNs, como demonstrado abaixo:

$\text{CN 65} = (86 \cdot 0,08 + 77 \cdot 0,07 + 67 \cdot 0,16 + 59 \cdot 0,16 + 35 \cdot 0,16 + 82 \cdot 0,1 + 68 \cdot 0,14 + 60 \cdot 0,13) = 63,55$

3. Depois de obtida a média ponderada, acima demonstrada, adotou-se o **CN 65** como o coeficiente de *Run-Off* médio para o **uso atual** desta bacia.

Tabela 5.4 – Uso do solo, superfície, percentual na bacia e coeficientes de *Run-Off* utilizados para cálculo do CN médio

Uso do solo	Superfície	Percentual na bacia	CN
Solo lavrado	Com sulcos retilíneos	8	86
Plantações regulares	Em curvas de nível	7	77
Pastagens	Pobres em curvas de nível	16	67
	Normais em curvas de nível	16	59
	Ricas em curvas de nível	16	35
Chácaras/estradas de terra	Más	10	82
Florestas	Esparsas	14	68
	Normais	13	60

CENÁRIO Nº 2

O **CN 45** (bacia recuperada) foi calculado da seguinte forma:

1. Seguindo a Tabela 3.2 (Coeficiente de *Run-Off* para bacias rurais), foi construída a Tabela 5.5.
2. Adotou-se **CN 45** como a **melhor situação** do coeficiente de *Run-Off* médio que a bacia do ribeirão Espírito Santo poderia alcançar, onde 50% de sua área (cerca de 75 km²) se encontraria reflorestada.
3. Foi utilizada média ponderada para cálculo do coeficiente de *Run-Off* médio, conforme a fórmula abaixo. Essa também utilizou os percentuais referentes a cada tipo de uso do solo (extraídos do trabalho do mapa 5.1, gerado pelo programa Arcview 3.2) e seus respectivos CNs, como demonstrado abaixo.

$$\text{CN45} = (61*0,1+35*0,35+75*0,05+52*0,5) = 48$$

Tabela 5.5 – Uso do solo, superfície, percentual na bacia e coeficientes de *Run-Off* utilizados para cálculo do CN médio.

Uso do solo	Superfície	Percentual na bacia	CN
Plantação de legumes ou cultivados	Boas	10	61
Pastagens	Ricas em curvas de nível	35	35
Chácaras/estradas de terra	Normais	5	75
Florestas	Densas, alta transpiração	50	52

CENÁRIO Nº 3

O **CN 80** (bacia urbanizada) foi calculado da seguinte forma:

1. Seguindo a Tabela 3.3 (Coeficiente de *Run-Off* para bacias urbanas), foi construída a Tabela 5.6.
2. Foi utilizada média ponderada para cálculo do coeficiente de *Run-Off* médio. Esse, a exemplo dos outros dois cálculos, também utilizou os percentuais referentes a cada tipo de uso do solo (mapa 5.1) e seus respectivos CNs, como demonstrado a seguir:

$$\text{CN80} = (81*0,07+58*0,1+55*0,15+92*0,05+88*0,08+85*0,45+98*0,05+98*0,1) = 80,06$$

3. Adotou-se **CN 80** como coeficiente de *Run-Off* médio para esta bacia em uma **situação de grande urbanização**.

Tabela 5.6 – Uso do solo, superfície, percentual na bacia e coeficientes de *Run-Off* utilizados para cálculo do CN médio.

Uso do solo	superfície	Percentual na bacia	CN
Zonas cultivadas	Sem conservação do solo	7	81
Prado em boas condições		10	58
Bosques ou zonas florestadas	Cobertura boa	15	55
Zonas comerciais e escritórios		5	92
Zonas industriais		8	88
Zona residencial	Lotes < 500m ²	40	85
Estacionamento, telhados	normais	5	98
Arruamentos e estradas	Asfalto	10	98

Após a implementação do modelo, no qual foram realizadas simulações com os coeficientes de *Run-Off* (CNs) 45, 65 e 80, obtiveram-se os resultados das vazões que serão expressos nos gráficos apresentados nas Figuras 5.8, 5.9, 5.10 e 5.11.

A Figura 5.8 mostra a comparação, realizada pelo Modelo de Células, entre o CN 45 (APPs e Reservas Legais da bacia florestadas), o CN 65 (situação atual da bacia) e o CN 80 (bacia com cerca de 70% de sua área urbanizada). Nela se pode observar que as maiores vazões do ribeirão Espírito Santo seriam verificadas com o CN 80, o que tende a ocorrer em áreas com menor cobertura florestal, devido à redução da infiltração e conseqüente elevação do escoamento superficial. Pode-se notar, por exemplo, que, no intervalo de 500 horas (21dias) após a chuva, a vazão do ribeirão Espírito Santo, com a bacia urbanizada (CN 80), ultrapassaria 50 m³/s, contra 30 m³/s que seriam verificados na situação atual da bacia (CN 65) e 20 m³/s que seriam verificados com a bacia recuperada (CN 45).

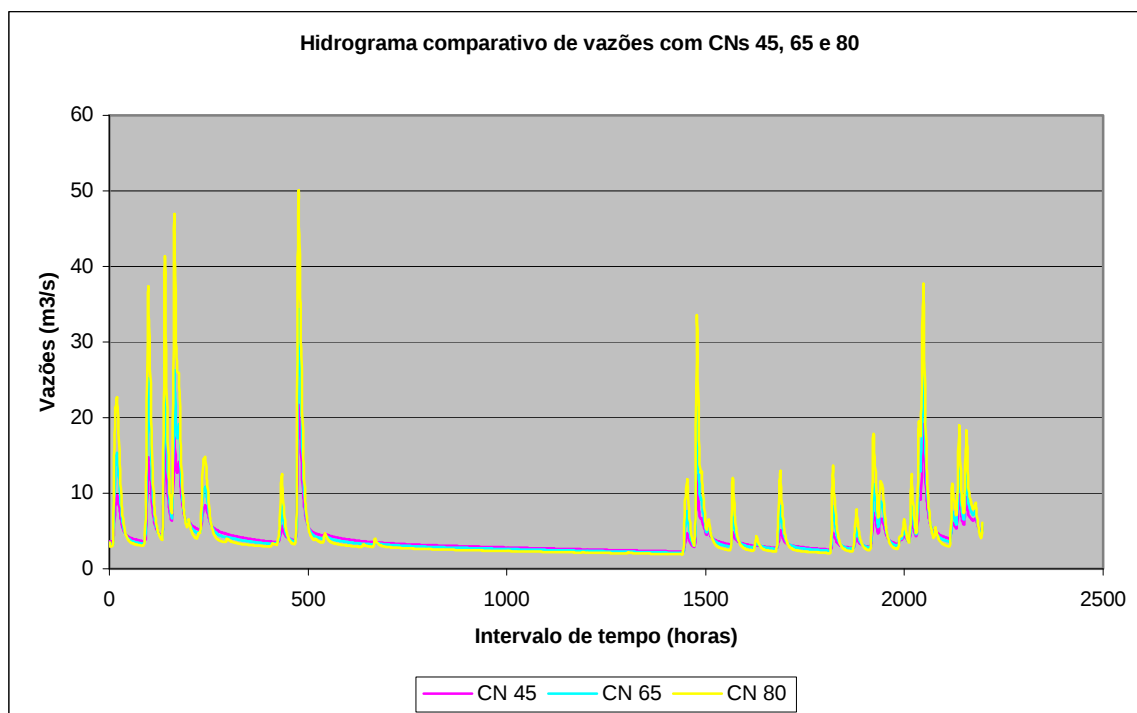


Figura 5.8 – Hidrograma de vazões para as três variações do CN: 45, 65 e 80.

A seguir será realizada uma breve comparação entre os escoamentos superficiais verificados nos hidrogramas apresentados nas Figuras 5.9, 5.10 e 5.11, utilizando o intervalo de tempo de 2.050 horas (85 dias).

A **Figura 5.9** apresenta o hidrograma de vazões para o **cenário nº 1**, no qual a bacia do ribeirão Espírito Santo encontrar-se-ia com **50% de sua cobertura florestal** (CN 45), apresentando, no intervalo de tempo de 2.050 horas (85 dias), um escoamento superficial de cerca de 16 m³/s, sub-superficial de 2,5 m³/s, subterrâneo de 3,5 m³/s e total de 22 m³/s.

A **Figura 5.10** apresenta o hidrograma de vazões para o **cenário nº 2**, no qual a bacia do ribeirão Espírito Santo encontrar-se-ia com a **atual cobertura florestal** (CN 65), apresentando, no intervalo de tempo de 2.050 horas, escoamento superficial de cerca de 25 m³/s, sub-superficial de 2 m³/s, subterrâneo de 3 m³/s e total de 34 m³/s.

A **Figura 5.11** apresenta o hidrograma de vazões para o **cenário nº 3**, no qual a bacia do ribeirão Espírito Santo encontrar-se-ia com cerca de **70% de sua área urbanizada** (CN 80), apresentando, no intervalo de tempo de 2.050 horas, um escoamento superficial de cerca de 30 m³/s, sub-superficial de 2 m³/s, subterrâneo de 4 m³/s e total de 50 m³/s.

Comparando-se os três hidrogramas, conclui-se que o aumento do escoamento superficial (coeficiente de *Run-Off* ou CN) tem relação direta com a redução da cobertura florestal, ou seja, quanto menor for a cobertura florestal, maior será o escoamento superficial (CN). Pode-se usar como exemplo a diferença verificada, no intervalo de tempo de 2.050 horas, entre os escoamentos superficiais apresentados entre o **cenário nº 1** (bacia apresentando 50% da cobertura florestal) e o **cenário nº 3** (70% da área da bacia urbanizada). Realizada a simulação da bacia com o **cenário nº 1** (CN 45), obter-se-ia um escoamento superficial de 16 m³/s. Simulada a bacia com o **cenário nº 3** (CN 80), obter-se-ia um escoamento superficial de 30 m³/s. Conclui-se, portanto, que quanto maior for a densidade da cobertura florestal, menor será o escoamento superficial (CN). Menores também serão as consequências indesejáveis da retirada da cobertura florestal em uma bacia de manancial, como, por exemplo, a aceleração dos processos de erosão, assoreamento e aumento de turbidez da água no ponto de captação.

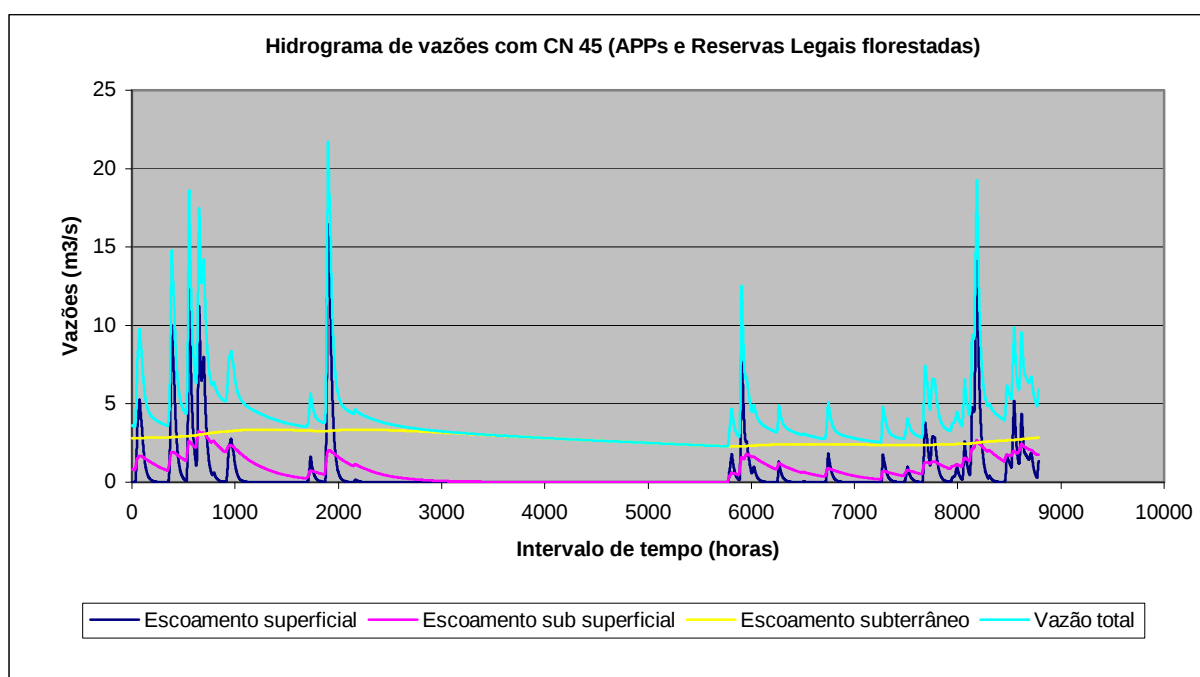


Figura 5.9 – Hidrograma de vazões para o CN 45, apresentando as vazões de escoamento superficial, subsuperficial, subterrâneo e total.

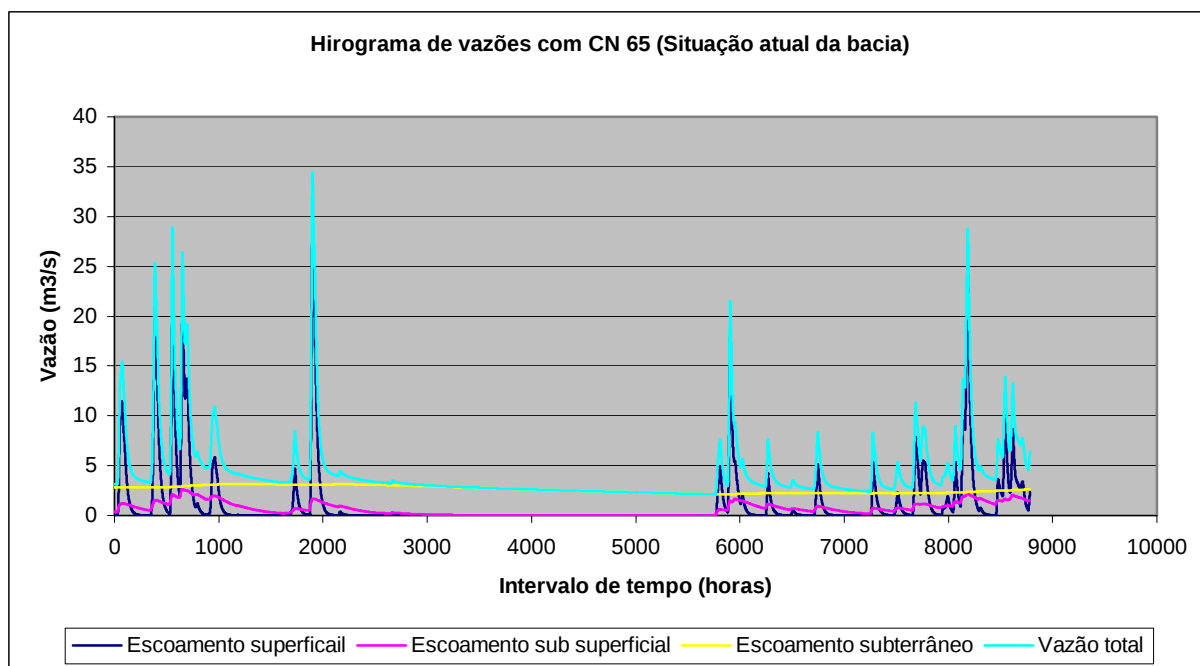


Figura 5.10 – Hidrograma de vazões para o CN 65, apresentando as vazões de escoamento superficial, subsuperficial, subterrâneo e total.

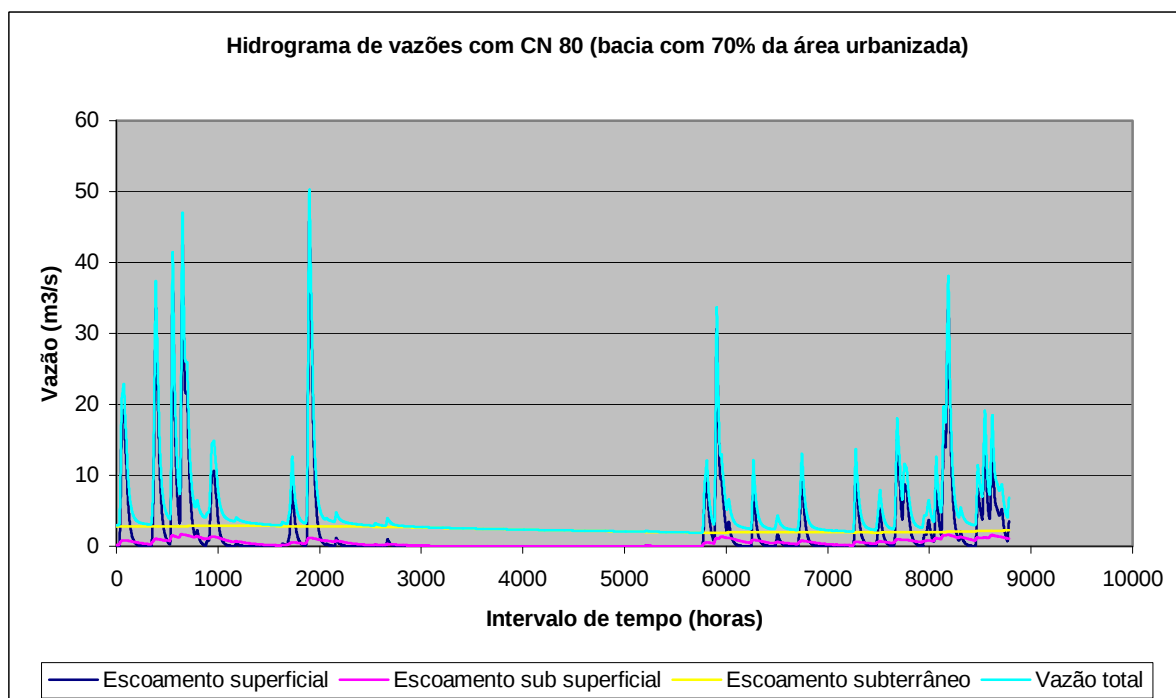


Figura 5.11 – Hidrograma de vazões para o CN 80, apresentando as vazões de escoamento superficial, subsuperficial, subterrâneo e total.

A Tabela 5.7 apresenta os resultados de vazões mínimas para os diversos CNs e a diferença entre estas, ou seja, por exemplo, a diferença entre as vazões de CN 45 para CN 65 de 163 l/s.

Tabela 5.7 – Vazões mínimas para diferentes coeficientes de *Run-Off*

CN	Situação da bacia	Vazões (l/s)	Diferença entre vazões (l/s)
45	Recuperada	2.3	-
65	Situação atual	2.1	163
80	Bacia urbanizada	1.9	213

De acordo com a Tabela 5.7, pode-se verificar que a diferença de vazões para a época de estiagem, de uma simulação do CN 65 (situação atual) para CN 45 (bacia recuperada), é de aproximadamente 160 l/s, ou seja, um quarto da vazão outorgada para a CESAMA (600l/s).

O Modelo de Células aponta para uma diferença entre vazões de, aproximadamente, 214 l/s, depois de simuladas a situação atual (CN 65) e a situação de urbanização da bacia estudada (CN 80), o que corresponderia a um terço da vazão outorgada pelo IGAM para a CESAMA (600 l/s). Esse ensaio demonstra a importância de se evitar o adensamento da ocupação humana na bacia estudada e sua conseqüente anexação à área urbana do município de Juiz de Fora, que provavelmente colocaria em risco sua atual função de segundo maior manancial de abastecimento de água do município em questão.

5.3 Levantamento de custos

Analisando os mapas produzidos pelo uso do *software ArcView 3.2* durante este trabalho, foi identificado que as APPs não florestadas totalizavam uma área de aproximadamente 32 km² de cobertura florestal na bacia estudada, que representam cerca de 21% da área total da bacia. Além disso, 244 nascentes encontravam-se desprotegidas e, no mínimo, 550 km lineares de matas ciliares (APPs de cursos d'água) deveriam ser reconstituídas, de forma natural ou reflorestadas. A recomposição da cobertura florestal visa atender o que dispõe a legislação sobre as Áreas de Preservação Permanente. A obtenção dos dados acima se encontra minuciosamente descrita no subitem 5.1 do presente capítulo.

Foram então levantados alguns custos aproximados, necessários para a recuperação de parte da cobertura florestal da bacia do ribeirão Espírito Santo, que serão discriminados adiante.

Como já dito, a estimativa de custos utilizou como base para comparação as informações sobre serviços semelhantes, repassadas pela Agenda-JF. Essa repartição pública

municipal realiza, constantemente, levantamentos de custos juntos a empresas especializadas no serviço de reflorestamento, o que garantiu maior confiabilidade à estimativa produzida.

Foram utilizados dados disponíveis no *website* da ONG Ambientebrasil, da empresa Terra Meio Ambiente, (de Juiz de Fora) e também de produtores rurais do município de Juiz de Fora e entorno, com larga experiência em reflorestamento.

Para o levantamento referente aos custos de cercamento das APPs por proximidade de nascentes e cursos d'água, se considerou que esse cercamento não existe, o que não pôde ser cotejado com a utilização do *software Google Earth*, devido à baixa resolução das imagens de satélite, referentes à bacia estudada, nele disponíveis. Essa confirmação só poderia se dar com sistemáticos trabalhos de campo que demandariam tempo e recursos financeiros não disponíveis para a produção do presente trabalho.

As Tabelas 5.8 a 5.11, subsidiadas pelas Tabelas 3.5 a 3.10, presentes no **Capítulo 3** desta dissertação, resumem os cálculos que determinaram os valores estimados para a recuperação e manutenção das APPs (nascentes, faixas marginais de cursos d'água e declividades maiores que 45°) existentes na bacia do ribeirão Espírito Santo.

A estimativa de maior valor para o serviço supracitado foi baseada no orçamento emitido pela empresa Terra Meio Ambiente, cujo montante final ultrapassou os R\$ 45 milhões. A estimativa baseada nos valores fornecidos pelos estabelecimentos comerciais e produtores rurais de Juiz de Fora totalizou pouco mais de R\$ 20 milhões. Finalizando, a estimativa baseada nos valores sugeridos pela ONG Ambientebrasil apresentou custo para reflorestamento de R\$ 6 milhões, muito inferior ao estimado pela empresa Terra Meio Ambiente ou pelos produtores rurais de Juiz de Fora. Nenhuma das estimativas contemplou os custos de manutenção posteriores a 24 meses. Nestes valores também não foram computados os custos de manutenção das cercas. Destaque-se ainda que os valores indicados pela ONG Ambientebrasil, foram desconsiderados, por se encontrarem muito aquém dos valores praticados no mercado.

Tabela 5.8 - Reflorestamento e cercamento de APPs (custos por muda e por km²)

Serviço	Terra Meio Ambiente	Ambientebrasil	Produtores rurais
Custo / muda (R\$)	12,36	1,81	5,40
Custo cerca / km ² (R\$)	30.000,00	-	23.520,00

Tabela 5.9 - Reflorestamento e cercamento de APPs (custo / km²) – Terra Meio Ambiente

Qtde	Unid	Descrição do serviço	Custo / km ² (R\$)	Custo Total (R\$)
25,51	km ²	Cercamento com arame liso das APPs de faixa marginal de cursos d'água e nascentes.	30.000,00	765.000,00
19,54	km ²	Reflorestamento das APPs de faixa marginal de cursos d'água e nascentes.	1.373.334,00	27.000.000,00
18,25	km ²	Cercamento com arame liso das APPs por declividade.	30.000,00	547.000,00
12,21	km ²	Reflorestamento das APPs por declividade.	1.373.334,00	17.000.000,00
Total				45.300.000,00

Tabela 5.10 - Reflorestamento de APPs (custo / km²) – Ambientebrasil

Qtde	Unid	Descrição do serviço	Custo / km ² (R\$)	Custo Total (R\$)
19,54	km ²	Reflorestamento das APPs de faixa marginal de cursos d'água e nascentes.	201.112,00	3.930.000,00
12,21	km ²	Reflorestamento das APPs por declividade.	201.112,00	2.456.000,00
Total				6.390.000,00

Tabela 5.11 - Reflorestamento e cercamento de APPs (custo / km²) – Produtores rurais

Qtde	Unid	Descrição do serviço	Custo / km ² (R\$)	Custo Total (R\$)
25,51	km ²	Cercamento com arame farpado das APPs de faixa marginal de cursos d'água e nascentes.	23.520,00	600.000,00
19,54	km ²	Reflorestamento das APPs de faixa marginal de cursos d'água e nascentes.	600.000,00	11.724.000,00
18,25	km ²	Cercamento com arame farpado das APPs por declividade.	23.520,00	429.000,00
12,21	km ²	Reflorestamento das APPs por declividade.	600.000,00	7.326.000,00
Total				20.080.000,00

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O trabalho aponta para a necessidade de se promover uma recomposição florestal de 31,75 km² para atender a legislação quanto ao recobrimento florestal das APPs, que correspondem a, aproximadamente, 21% da área total da bacia hidrográfica estudada. Essa recomposição é necessária para atender à legislação vigente. A área a ser recomposta (31,75 km²), somada àquela já florestada da bacia (40,82 km²), totalizaria 72,57 km², que representam cerca de 48% da área total da bacia.

A recomposição da cobertura florestal da bacia do ribeirão Espírito Santo visa garantir a manutenção de padrões mínimos de qualidade da água nela aduzida, que, já na atualidade, são prejudicados pelo uso do solo predominante na bacia, as pastagens. Esse tipo de uso tende a potencializar os processos de erosão e assoreamento bem como atenuar a infiltração, (necessária à recarga dos aquíferos), a qual por sua vez é essencial para a elevação da vazão mínima nos cursos d'água e a regularização dos hidrogramas.

O reflorestamento necessário para atender à legislação em vigor, no que concerne às APPs, teria um custo aproximado variando entre R\$ 20 milhões e R\$ 45 milhões, levando-se em conta os valores hoje praticados no mercado. Além dos custos anteriormente citados, também devem ser considerados os valores relativos ao cercamento, com vistas à proteção das APPs, localizadas nas nascentes, áreas de grande declividade e margens de cursos d'água, que, em valores atuais, variam entre R\$ 1 milhão e R\$ 1,3 milhões. É indispensável esclarecer que o melhor cenário de cobertura florestal para a bacia estudada, ensaiado na modelagem realizada, foi de 50% da superfície florestada, que se traduziu num acréscimo de 160 l/s em relação à situação atual da bacia, que apresenta 27% de sua superfície coberta com florestas. Esse aumento de

vazão, apontado pelo ModCel, é relevante se consideramos a vazão de captação atual, informada pela CESAMA (que varia entre 494 e 620 l/s), o que significaria um acréscimo de 26%, se considerada a maior vazão atualmente captada. É relevante também se considerarmos que 160 l/s correspondem a 27% do valor da outorga concedida à CESAMA (600 l/s) para o ribeirão em questão.

Se considerarmos, hipoteticamente, que o ganho de vazão de 160 l/s poderia ser somado à vazão máxima de captação, hoje realizada pela CESAMA (620 l/s), ter-se-ia uma vazão final de 780 l/s. Entretanto, esse acréscimo de vazão **não atende** à meta estipulada pelo PDAA (CESAMA, 1985) para o ano de 2011, de 1.500 l/s. Com base nas informações fornecidas pela modelagem realizada e pelas conclusões do PDAA, conclui-se que a vazão de 1.500 l/s só poderia ser alcançada na bacia do ribeirão Espírito Santo, mediante o barramento, indicado pelo Plano Diretor de Abastecimento de Água. A barragem em questão deveria ter sido concluída no ano de 1992, mas sequer foi iniciada.

Apesar de as estimativas realizadas neste trabalho apontarem para um considerável aporte de capital, necessário para a recomposição florestal da bacia estudada, a preservação dos recursos hídricos deve ser considerada prioritária, independentemente do investimento necessário para isso. É relevante que se leve em conta que a única alternativa, hoje existente, para aumentar a quantidade de água distribuída no município de Juiz de Fora é a barragem de Chapéu D'Uvas, que se localiza fora dos limites municipais, e que acarretaria, também, um grande investimento na adução, orçado pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), no ano de 2002, em R\$ 20 milhões. Além do grande investimento, existem dúvidas quanto à qualidade da água de Chapéu D'Uvas, visto que estudos recentes, realizados pela UFJF, indicaram a presença de cianobactérias nas águas daquele importante reservatório. Não se pode conceber também que o Poder Público faça uso e esgote os recursos naturais, nesse caso particular os recursos hídricos, e abandone o passivo ambiental para buscar uma outra solução, economicamente mais viável, como atualmente parece ocorrer em relação à represa de São Pedro, um dos mananciais de abastecimento do município, que se encontra totalmente degradada.

É preciso ressaltar que não existiam, em relação à bacia em questão, estudos específicos sobre o comportamento das vazões de seus cursos d'água. Depois de consultados diversos documentos, pôde-se observar que a CESAMA considera, em seus planejamentos, somente a regionalização de vazões (produzida entre as décadas de 1970 e 1990), e que utiliza dados do rio

Paraibuna, curso d'água que apresenta características diferentes daquelas da bacia em estudo. A modelagem realizada considerou tanto as características hidrológicas como também as características hidráulicas do ribeirão Espírito Santo.

A CESAMA utiliza como vazão $Q_{7,10}$ para solicitação de outorga junto ao IGAM (Instituto Mineiro de Gestão das Águas) o valor de 1.040 l/s, que é baseado nos dados de regionalização de vazões (supracitados) e que podem vir a apresentar grandes incorreções. Além disso, o IGAM concede à CESAMA uma outorga de 600 l/s. A outorga concedida somente à CESAMA apresenta valor muito superior à vazão outorgável (para captações a fio d'água sem barragem de regularização), a qual deve corresponder a 30% da $Q_{7,10}$, que, no caso do ribeirão Espírito Santo, seria de 312 l/s. Se considerarmos as demais outorgas concedidas pelo IGAM, a vazão outorgada no ribeirão em questão pode chegar aos 846 l/s, o que coloca em risco a vazão ecológica, como explicado no Capítulo 4.

Uma opção para viabilizar o projeto de recomposição florestal da bacia estudada é a utilização de parte dos recursos, provenientes da **cobrança** pelo uso dos recursos hídricos, (um dos instrumentos da Política Nacional de Recursos Hídricos), prevista no Artigo 5º da Lei 9.433/97 e que atualmente se encontra em fase de implantação na bacia do rio Paraibuna.

Outra alternativa que poderia ser considerada pelos planejadores municipais, visando a recomposição da cobertura florestal da bacia do ribeirão Espírito Santo, é a implantação do Programa Produtor de Água, proposto em maio de 2007 pela Agência Nacional de Águas (ANA). A agência em questão afirma que o Programa Produtor de Água “incentiva produtores rurais a adotarem boas práticas de conservação de água e solo. Em contrapartida, os produtores rurais serão remunerados pelos trabalhos realizados de conservação de água e solo”. O programa é voluntário e já começou a funcionar como projeto-piloto na microbacia do ribeirão Guaratinguetá, afluente do rio Paraíba do Sul, localizado na cidade de mesmo nome, no estado de São Paulo. Um projeto, que se enquadra no Programa Produtor de Água, teve sua implantação aprovada pelos Comitês das Bacias dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Comitês PCJ).

A Agência Nacional de Águas reproduz em seu *site* na Internet a informação a seguir, que resume o funcionamento do Programa Produtor de Água no âmbito dos Comitês PCJ:

A ação conjunta envolvendo todas as instituições¹ participantes do projeto prevê o apoio técnico e financeiro para iniciativas de conservação de solo, readequação de estradas vicinais, recuperação e proteção de nascentes, reflorestamento de áreas de preservação permanente (APPs), saneamento ambiental e o pagamento de incentivos aos produtores que comprovadamente contribuírem para a proteção e recuperação de mananciais, o que beneficia a população da região do Piracicaba. Todas as instituições envolvidas no Programa têm a previsão de investir cerca de R\$ 4 milhões na iniciativa. Para Devanir Garcia, gerente da ANA, “o projeto-piloto contribuirá para o controle da erosão e da sedimentação; para o aumento da infiltração de água no solo, possibilitando a melhoria da qualidade da água; o aumento das vazões; e a permanência destas vazões nas bacias trabalhadas”. De acordo com o gerente, um componente fundamental para o projeto é o monitoramento, que deverá ficar a cargo da Agência de Bacia do PCJ, com apoio da ANA, Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp) e a ONG The Nature Conservancy (TNC). (AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS, 2007)

Uma dos grandes problemas verificados na bacia estudada é a falta de fiscalização por parte do Poder Público das atividades desenvolvidas na bacia do ribeirão Espírito Santo, visto que foram observados diversos procedimentos que contrariam a legislação em vigor e comprometem a função de manancial da bacia. Podemos citar o uso de defensivos agrícolas e as ocupações irregulares, realizadas tanto pela população de alto poder aquisitivo, quanto pelos menos favorecidos. Num dos trabalhos de campo realizados, foi também flagrada a construção de drenos, para a expansão de pastagens, em áreas alagadas. Tais problemas indicam a necessidade de se intensificarem as ações de gestão e controle na bacia e entorno.

Outro grande problema encontrado foi a falta de dados específicos sobre a bacia estudada. É imperioso que sejam estudadas medidas visando implantar um sistema de informações sobre a bacia, que contemplem dados hidrológicos, fluviométricos e meteorológicos. Essas informações são essenciais e, certamente, contribuirão para o aumento da acurácia dos trabalhos que porventura venham a ser desenvolvidos na bacia.

¹ Seriam elas Os Comitês PCJ, a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMA/SP), a Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado de São Paulo (SAA/SP), a Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), a Prefeitura de Extrema (MG) e o Instituto Estadual de Florestas de Minas Gerais (IEF/MG) e a ONG The Nature Conservancy (TNC).

Por último, seria indispensável a aprovação, pela Câmara de Vereadores de Juiz de Fora, da transformação da bacia em Área de Especial Interesse Ambiental (AEIA), que, segundo a Agenda-JF et al. (2006, p. 24), “é uma área de estudo para a avaliação de seu interesse ambiental, delimitação exata e futura classificação como Unidade de Conservação Ambiental Municipal”. No ano de 1996, o Instituto de Pesquisa e Planejamento de Juiz de Fora (IPPLAN) encaminhou à Câmara de Vereadores esse estudo, através da Proposta de Projeto de Lei Municipal nº 5.076/96, que foi retirado de pauta no ano seguinte, juntamente com outros estudos para a proteção da bacia hidrográfica da Represa de São Pedro. (AGENDA-JF et al., 2006, p. 25) Uma das restrições impostas nas AEIAs é a suspensão por 360 dias, a partir da promulgação da lei que instituir a área, de todas as licenças para parcelamento do solo e abertura de vias. (AGENDA-JF et al., 2006, p. 24)

Qualquer que seja a decisão tomada no futuro, é imprescindível envolver os proprietários das terras que formam a bacia do ribeirão Espírito Santo e que hoje nela desenvolvem, ainda que de forma incipiente, a atividade agropecuária. É importante que, democraticamente, eles sejam considerados em qualquer ação de gerenciamento envolvendo a bacia do ribeirão Espírito Santo.

O processo de gestão dos recursos hídricos ainda encontra-se em estágio inicial no Brasil. A caminhada rumo a um controle mais eficiente do uso da água e da poluição hídrica pode ser auxiliada, de maneira bastante significativa, através do uso de ferramentas de suporte à decisão, como pode ser classificado o modelo utilizado neste trabalho.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, Estela dos Santos; TEIXEIRA, José Carlos Abreu. *Apresentação de trabalhos monográficos de conclusão de curso*. Niterói: EdUFF, 2004. 87 p.

AGÊNCIA DE GESTÃO AMBIENTAL DE JUIZ DE FORA; COMPANHIA DE SANEAMENTO DE JUIZ DE FORA; COMITÊ DOS AFLUENTES DO RIO PRETO E PARAIBUNA. PREFEITURA DE JUIZ DE FORA. *Proposta de recomposição florestal da bacia do ribeirão do Espírito Santo*. Juiz de Fora, 2006. 27 p.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. *Dados fluviométricos e pluviométricos*. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/>>. Acesso em: 20 ago 2006.

_____. *Dados sobre gerenciamento de recursos hídricos*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/>>. Acessos a partir de: 05 ago 2006.

_____. *Dados sobre o Programa Produtores de Água*. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/>>. Acesso em: 26 mai 2007.

AGRITEMPO - SISTEMA DE MONITORAMENTO AGROMETEOROLÓGICO. *Dados pedológicos*. Disponível em: <<http://www.agritempo.gov.br/index.php>>. Acesso em: 18 ago 2007.

AMBIENTEBRASIL. *Manejo de reflorestamento*. Disponível em: <<http://www.ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 22 ago 2007.

BONELL, M., 1993, "Progress in the understanding of runoff generation dynamics in forests". *Journal of Hydrology*, v. 150, n. 2-4, pp. 217-275.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil. *Centro Gráfico do Senado Federal*, Brasília, DF, 05 de outubro de 1988.

_____. Decreto nº 23.793, de 23 de janeiro de 1934. Aprova o Código Florestal. *Diário Oficial*. Rio de Janeiro, DF, 21 de março de 1935. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/decreto/1930-1949/D23793.htm>>. Acesso em: 03 mai 2007.

_____. Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965. Institui o novo Código Florestal. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 16 de setembro de 1965. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/LEIS/L4771.htm>>. Acesso em: 06 mai 2007.

_____. Lei nº 7.803, de 18 de julho de 1989. Altera a redação da Lei nº 4.771, de 15 de setembro de 1965, e revoga as Leis nºs 6.535, de 15 de junho de 1978, e 7.511, de 7 de julho de 1986. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 20 de julho de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L7803.htm>. Acesso em: 07 mai 2007.

_____. Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial da União*. Brasília, DF, 09 de janeiro de 1997. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br/ccivil/leis/L9433.htm>>. Acesso em: 08 mai 2007.

BRUIJNZEEL, L.A., 1990, *Hydrology of Moist Tropical Forests and Effects of Conversion: a State of Knowledge Review*. 1 ed., Amsterdam, The Netherlands, UNESCO/IAHS.

BRUIJNZEEL, L.A., 2004, "Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees?". *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 104, n. 1, pp. 185- 228.

CARVALHO, L. M. T. de; SCOLFORO, J. R. S.; OLIVEIRA, A. D. de; MELLO, J. M. de; OLIVEIRA, L. T. de; CAVALCANTI, H. C. de; VARGAS FILHO, R. de. *Atlas digital da flora nativa e reflorestamentos de Minas Gerais*. Lavras: Editora UFLA, 2005. CD-ROM. 1 Atlas.

CASTRO, Paulo Sant'Anna e; LOPES, José Demerval Saraiva. *Recuperação e conservação de nascentes*. Viçosa: Centro de Produções Técnicas. 2005. Em suporte DVD.

COMITÊ PARA A INTEGRAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PARAÍBA DO SUL. *Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio Paraíba do Sul*. Resende: Escritório Técnico do CEIVAP, 2000.

COMPANHIA DE SANEAMENTO MUNICIPAL – JUIZ DE FORA – MG. *Plano Diretor de Abastecimento de água de Juiz de Fora*. Juiz de Fora: CESAMA, 1986.

_____. *Relatório técnico para outorga de água superficial*. Juiz de Fora: CESAMA, 2001.

_____. *Dados sobre o sistema de abastecimento de água do município de Juiz de Fora-MG*. Disponível em: <<http://www.cesama.com.br/>>. Acesso em: 11 mai 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. *Resolução nº 303*. Brasília: Imprensa Oficial, 2002.

CHRISTOFOLETTI, Antônio. *Geomorfologia*. São Paulo: Edgard Blücher, 2 ed, 1980, 8ª reimpressão, 2003. 188 p.

DEPARTAMENTO MUNICIPAL DE LIMPEZA URBANA – DEMLURB. *Dados sobre a coleta de lixo em Juiz de Fora*. Disponível em: <<http://www.demlurb.pjf.mg.gov.br/>>. Acesso em: 17 jul 2007.

DIAS, Genebaldo Freire. *Educação Ambiental: princípios e práticas*. São Paulo: Editora Gaia, 9 ed., 2004.

DI BELLO, Rafael Carneiro *Análise do Comportamento da Umidade do Solo no Modelo Chuva-Vazão SMAP II – Versão com Suavização Hiperbólica. Estudo de Caso: Região de Barreiras na Bacia do rio Grande – BA*. Rio de Janeiro, 2005. 225 p. Dissertação de Mestrado EM Engenharia Civil - Coordenação dos Programas de Pós Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

DUDLEY, Nigel; STOLTON, Sue. *Águas cidades e florestas: a importância das áreas florestais protegidas para suprimento de água nas cidades*. Brasília: WWF–Brasil, 2005, 87 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Dados pedológicos*. Disponível em: <<http://www.cnps.embrapa.br/sibcs/perg/perg01.html>>. Acesso em: 22 jul 2007.

FARIA A. L. L.; SILVA J. X.; GÓES, M. H. B. (2003). *Análise Ambiental por Geoprocessamento em Áreas com Susceptibilidade à Erosão do Solo na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Espírito Santo, Juiz de Fora (MG)*, Caminhos de Geografia 4(9)50-65, jun/ 2003.

FEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO ESTADO DE MINAS GERAIS. *Conceitos, definições e termos técnicos utilizados pelo INCRA e modelo de documentos*. Disponível em: <<http://www.faemg.org.br/arquivos/incraapost.doc>>. Acesso em: 15 jun 2007.

FERREIRA, Aurélio Buarque de Holanda. *Novo Dicionário Eletrônico Aurélio, versão 5.0*. Editora Positivo, 2004.

FRANCISCO, Cristiane Nunes; CARVALHO, Cacilda Nascimento de. *Disponibilidade hídrica – da visão global às pequenas bacias hidrográficas: o caso de Angra dos Reis, no estado do Rio de Janeiro*. Niterói: Artigo publicado na Revista de Geociências. n.3, 2004. 13p.

FRANCISCO, Cristiane Nunes. *Subsídios à gestão sustentável dos recursos hídricos no âmbito municipal: o caso de Angra dos Reis, RJ*. Niterói, 2004. 179 p. Tese de Doutorado em Geociências – Curso de Pós-Graduação em Geoquímica - Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2004.

FRANK, Beate. *Uma abordagem para o gerenciamento ambiental da bacia hidrográfica do rio Itajaí, com ênfase no problema das enchentes*. Florianópolis, 1995. Tese de doutorado em Engenharia - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 1995. Disponível em: <http://www.eps.ufsc.br/teses/beate/capit_4/cp4_bea.htm>. Acesso em: 02 set 2007.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. *Atlas da Mata Atlântica*. Disponível em: <<http://www.sosmatatlantica.org.br/index.php?section=atlas&action=atlas>>. Acesso em: 08 jun 2007.

GUERRA, Antônio José Teixeira. *A questão ambiental: diferentes abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003. 248p. cap. 5, p. 153-189.

GUERRA, Antônio Teixeira. *Dicionário Geológico-Geomorfológico*. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. 446 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Anuário estatístico do Brasil*. Rio de Janeiro: IBGE, 2001.

_____. *Carta topográfica de Ewbank da Câmara-MG*: escala de 1:50.000, folha SF 23-X-C-VI-2. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1976.

_____. *Carta topográfica de Juiz de Fora-MG*: escala de 1:50.000, folha SF 23-X-D-IV-1. Rio de Janeiro: Fundação IBGE, 1976.

_____. *Dados municipais*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 26 jan 2006.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. *Listagem das outorgas concedidas no estado de Minas Gerais*. Disponível em: <<http://aguas.igam.mg.gov.br/outorga.php>>. Acesso em: 30 mar 2007.

_____. *Mapa de unidades de planejamento e gestão dos recursos hídricos*. Bacia do Paraíba do Sul. Disponível em: <<http://aguas.igam.mg.gov.br/2007mapasbacias/download/ps1.pdf>>. Acesso em: 01 jun 2007.

_____. *Projeto Águas de Minas: qualidade das águas superficiais em 2001*. Belo Horizonte, Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento Sustentável – SEMAD, 2002. (CD ROM)

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. *Manual do software SPRING*. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 12 fev 2007.

JOHNSSON, Rosa Maria Formiga; LOPES, Paula Duarte. *Projeto Marca D'água: seguindo as mudanças na gestão de bacias hidrográficas do Brasil*. Brasília: Finatec, 2003.

MACHADO, Carlos José Saldanha. *Gestão de águas doces*. Rio de Janeiro: Interciência, 2004, 372 p.

MAGALHÃES, Luiz Paulo Canedo de. *Modelo integrado para simulação de sistemas hídricos*. Rio de Janeiro, 2005. 3 v. Dissertação de mestrado em Engenharia Civil – Coordenação dos Programas de Pós Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2005.

MALTA, Valéria de Fátima. *A busca de uma solução de compromisso em problemas de conflitos em recursos hídricos utilizando um modelo de análise de conflitos – MACPROL*. Tese de Doutorado em Engenharia Civil - Coordenação dos Programas de Pós Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 2006.

MARTINS, Sebastião Venâncio. *Recuperação de matas ciliares*. Viçosa: Aprenda Fácil, 2001. 146 p.

MINAS GERAIS (Estado). Lei estadual nº 14.309, de 19 de junho de 2002. Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais. Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: ALMG, 2002. Disponível em: <<http://hera.almg.gov.br/>>. Acesso em: 08 mai 2007.

_____. Decreto 43.710, de 08 de janeiro de 2004. Regulamenta a Lei nº 14.309, de 19 de junho de 2002, que dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no estado de Minas Gerais. Assembléia Legislativa do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: ALMG, 2004. Disponível em: <<http://hera.almg.gov.br/>>. Acesso em: 09 mai 2007.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE - SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS; AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – *Plano Nacional de Recursos Hídricos*. Disponível em: <<http://pnrh.cnrh-srh.gov.br/>>. Acesso em: 02 fev 2007.

MOREIRA, Maurício Alves. *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação*. Viçosa: Editora da UFV, 2005. 320p.

NETO, Ramiro Fernandes Maia. *Água para o desenvolvimento sustentável*. Brasília: CPRM, Água em Revista, Ano V, n. 9, 1997.

PREFEITURA MUNICIPAL DE JUIZ DE FORA. *Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano de Juiz de Fora*. Juiz de Fora: FUNALFA Edições, 2004. 394 p.

_____. *Plano Diretor de Abastecimento de Água da Área Urbana do Município de Juiz de Fora*. Juiz de Fora: Departamento Municipal de Água e Esgoto-DAE, 1985.

ROLAND, Fábio. *Estudo da cadeia alimentar microbiana no reservatório Chapéus D'Uvas, Juiz de Fora/MG*. Juiz de Fora: Departamento de Biologia da UFJF, 2001.

SANTOS, Milton. *A urbanização brasileira*. 3. ed. São Paulo: HUCITEC (Estudos Urbanos; 5), 1996.

SETTI, Arnaldo Augusto et al. *Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos*. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2 ed, 2001, 328 p.

SILVA, Demetrius David da; PRUSKI, Fernando Falco. *Gestão de Recursos Hídricos: aspectos legais, econômicos, administrativos e sociais*. Brasília-DF: Secretaria de Recursos Hídricos; Viçosa-MG: Universidade Federal de Viçosa; Porto Alegre-RS: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2000, 659 p.

SIMIELLI, Maria Elena Ramos. *Geoatlas*. São Paulo: Ática, 2006, 168 p.

STAICO, Jorge. *A bacia do rio Paraibuna em Juiz de Fora*. Primeira parte: a natureza. Juiz de Fora: Gráfica da UFJF, 1976.

TUCCI, Carlos E. M. *Impactos da variabilidade climática e do uso do solo nos recursos hídricos*. Brasília: Agência Nacional de Águas, 2002.

TUNDISI, José Galizia. *Água no século XXI: enfrentando a escassez*. São Carlos: RiMa, IIE, 2003.

UNCED – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento. *Agenda 21*. Brasília: Senado Federal, Subsecretaria de Edições Técnicas, 1996. 591 p.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. *Manual de ajuda do Modelo Hidro-Flu*. Rio de Janeiro: Laboratório de Hidrologia da COPPE/UFRJ. [...]

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO. *Modelação de cheias urbanas – manual do usuário do modelo de células de escoamento*. Rio de Janeiro: Laboratório de Hidrologia da COPPE/UFRJ. [...]

VASCONCELOS, José Góes. *Propagação de cheias em rios*. Texto da disciplina de recursos hídricos do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília. Disponível em: < <http://www.unb.br/ft/enc/recursoshidricos/goes/documentos/cheias.pdf>>. Acesso em: 10 mai 2007.

ZIMBACK, C. R. L. (2003). *Classificação dos Solos*. UNESP.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)