



LUCAS ALVES DA SILVA

**DEFLÚVIO SUPERFICIAL EM MINAS
GERAIS CARACTERIZAÇÃO E ASSOCIAÇÃO
COM FATORES FÍSICOS E AMBIENTAIS**

LAVRAS - MG

2014

LUCAS ALVES DA SILVA

**DEFLÚVIO SUPERFICIAL EM MINAS GERAIS
CARACTERIZAÇÃO E ASSOCIAÇÃO COM FATORES FÍSICOS E
AMBIENTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Antônio Marciano da Silva

Coorientador

Dr. Gilberto Coelho

LAVRAS - MG

2014

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Coordenadoria de Produtos e
Serviços da Biblioteca Universitária da UFLA**

Silva, Lucas Alves da.

Deflúvio superficial em Minas Gerais : caracterização e
associação com fatores físicos e ambientais / Lucas Alves da Silva. –
Lavras : UFLA, 2014.

137 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2014.

Orientador: Antônio Marciano da Silva.

Bibliografia.

1. Regionalização de vazão. 2. Zoneamento hidrológico. 3.
Disponibilidade hídrica. I. Universidade Federal de Lavras. II.
Título.

CDD – 519.287

LUCAS ALVES DA SILVA

**DEFLÚVIO SUPERFICIAL EM MINAS GERAIS
CARACTERIZAÇÃO E ASSOCIAÇÃO COM FATORES FÍSICOS E
AMBIENTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, área de concentração em Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 15de agosto de 2014.

Dr. Gilberto Coelho	UFLA
Dr. Marcelo Ribeiro Viola	UFLA
Dra. Mirléia Aparecida de Carvalho	UFLA
Dr. Flávio Aparecido Gonçalves	UNIFAL/ICT

Dr. Antônio Marciano da Silva
Orientador

LAVRAS - MG

2014

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras - UFLA, pela oportunidade de realização do doutorado.

Ao professor Dr. Antônio Marciano da Silva, pela orientação fundamental para o desenvolvimento deste trabalho e, também, por sua amizade, colaboração e paciência.

Ao professor Dr. Gilberto Coelho, pela coorientação, pelos ensinamentos, amizade, confiança, disponibilidade e sugestões para a melhoria do trabalho.

Ao professor Dr. Marcelo Ribeiro Viola, pela atenção e disponibilidade sempre que necessitei.

Aos professores Dr. Carlos Rogério de Mello (DEG-UFLA), Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques (DCS-UFLA), Dr. Nilton Curi (DCS-UFLA), pela disponibilidade, auxílio e colaboração.

Aos professores do Departamento de Engenharia, pelo convívio e ensinamentos.

A minha mãe Lídia e aos meus irmãos Adriano, Priscila e Paulina, dos quais sempre obtive apoio, companhia, estímulo em todas as horas.

A Camila Müller, psicanalista, que, ao longo de alguns anos, vem me conduzindo para a conclusão deste trabalho.

A todos os meus amigos, pelo estímulo e apoio.

Enfim, a todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram para que este trabalho alcançasse seus objetivos.

Muito obrigado!

RESUMO

O conhecimento da disponibilidade hídrica é a base para a gestão e planejamento dos recursos hídricos. Para superar a dificuldade existente na obtenção de informações hidrológicas, necessárias ao adequado gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, utiliza-se a técnica de regionalização de vazões. Este trabalho, foi efetuado com o objetivo de desenvolver produtos que auxiliem a gestão dos recursos hídricos, visando a obtenção de subsídios para a determinação da disponibilidade hídrica aos órgãos gestores de recursos hídricos do Estado de Minas Gerais. Utilizou-se modelos matemáticos para a estimativa das vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} nas bacias hidrográficas dos Rios Doce, Paraíba do Sul, Grande, Paranaíba, São Francisco, Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus, no Estado de Minas Gerais. A espacialização foi feita na forma de Rendimento Específico em ambiente SIG, e os produtos gerados foram apresentados por Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH's). Os Rendimentos Específicos foram processados sob forma de índices, os quais permitem identificar o grau de regularização do deflúvio superficial. Foram também interpretadas as unidades de mapeamento do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais sob a ótica dos grupos hidrológicos conforme método CN-SCS (Curve Number – Soil Conservation Service), com a incorporação de elementos pedológicos e do comportamento hídrico das unidades mapeadas. Os produtos gerados foram aplicados em três ambientes fisiográficos distintos do Estado. De acordo com os resultados obtidos, a espacialização das variáveis hidrológicas em ambiente SIG, mostrou-se potencial, a interpretação das unidades de mapeamento dos solos mostrou-se promissora como suporte para a compreensão do regime de escoamento das regiões hidrológicas analisadas e a análise dos indicadores do regime hidrológico das três UPGRH's permitiu verificar a potencialidade dos produtos gerados para subsidiar a gestão e o planejamento dos recursos hídricos.

Palavras-chave: Regionalização de vazão. Zoneamento hidrológico. Disponibilidade hídrica.

ABSTRACT

The knowledge of water availability is the basis for water resources planning and management. To overcome existing difficulties in the obtention of hydrologic information, necessary to an appropriate water resources management of a region, we use the technique of regionalizing streamflows. The purpose of this work was to develop products, which help in water resources management, seeking to obtain subsidies for determining the water availability to water resource management agencies of the State of Minas Gerais. We used mathematical models for estimating the streamflows $Q_{7,10}$, Q_{90} and Q_{MLT} in the hydrological basins of the rivers Doce, Paraíba do Sul, Grande, Paranaíba, São Francisco, Pardo, Jequitinhonha, Mucuri and São Mateus in the State of Minas Gerais. The spatialization was performed as specific yields in SIG environments, and the generated products were presented per Planning Unit and Water Resources Management (PUWRM). The specific yields were processed as indices, which allows identifying the regularization degree of the superficial flowing. Were also interpreted the Soil Map Units of the State of Minas Gerais from the perspective of hydrologic groups based on the Curve Number - Soil Conservation Service method, with the addition of pedological elements and hydric pattern of the mapped units. The generated products were used in three different physiographic environments of the State. According to results, the spatialization of hydrological variables in SIG environments was found to be potential, the interpretation of soil mapping units was found to be promising as basis for understanding the runoff regime of hydrographical regions, and the analysis of the indicators of hydrological regime of the three PUWRM allowed verifying the potentiality of the generated products for supporting the water resources planning and management.

Key-words: Regionalization of flow. Hydrological zoning. Water availability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Mapa da distribuição espacial das estações fluviométricas e das bacias hidrográficas utilizadas no estudo, recortadas dentro do Estado de Minas Gerais.....	34
Figura 2	Modelo Digital de Elevação do Estado de Minas Gerais	36
Figura 3	Mapa de Declividade do Estado de Minas Gerais	38
Figura 4	Mapa da distribuição espacial da Precipitação Média Anual do Estado de Minas Gerais.....	39
Figura 5	Mapa Pedológico simplificado de Minas Gerais	50
Figura 6	Mapa com a localização espacial das UPGRH's analisadas	54
Figura 7	Mapa das tipologias regionais homogêneas, digitalizado do trabalho Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais	55
Figura 8	Balanço hídrico climático.....	63
Figura 9	Gráfico vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} para as Bacias hidrográficas do Rio Doce e Rio Paraíba do Sul	66
Figura 10	Gráfico vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} para as Bacias Hidrográficas do Rio Grande e Rio Paranaíba.....	67
Figura 11	Gráfico vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} para as Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e Rios do Nordeste	68
Figura 12	Rendimento Específico $Re_{7,10}$ para o Estado de Minas Gerais	73
Figura 13	Rendimento Específico Re_{90} para o Estado de Minas Gerais	73
Figura 14	Rendimento Específico Re_{MLT} para o Estado de Minas Gerais	74
Figura 15	Classificação dos solos do Estado de Minas Gerais em grupos hidrológicos do método CN.....	79
Figura 16	Representatividade percentual dos grupos hidrológicos para o Estado de Minas Gerais.....	80

Figura 17	Distribuição espacial das classes de precipitação anual e respectivas frequências (%) para a UPGRH GD1	86
Figura 18	Distribuição espacial das classes de precipitação anual e respectivas frequências (%) para a UPGRH SF5.....	87
Figura 19	Distribuição espacial das classes de precipitação anual e respectivas frequências (%) para a UPGRH SF10.....	88
Figura 20	Distribuição espacial das classes de declividade e respectivas frequências (%) para a UPGRH GD1	89
Figura 21	Distribuição espacial das classes de declividade e respectivas frequências (%) para a UPGRH SF5.....	90
Figura 22	Distribuição espacial das classes de declividade e respectivas frequências (%) para a UPGRH SF10.....	91
Figura 23	Distribuição espacial e frequência (%) dos Grupos Hidrológicos para a UPGRH GD1	93
Figura 24	Distribuição espacial e frequência (%) dos Grupos Hidrológicos de solos para a UPGRH SF5.....	94
Figura 25	Distribuição espacial e frequência (%) dos Grupos Hidrológicos de solos para UPGRH SF10	95
Figura 26	Indicador de Regularização $I_{7,10}$ para UPGRH GD1	103
Figura 27	Indicador de Regularização $I_{7,10}$ para UPGRH SF5	103
Figura 28	Indicador de Regularização $I_{7,10}$ para UPGRH SF10	104
Figura 29	Indicador de Regularização I_{90} para UPGRH GD1	104
Figura 30	Indicador de Regularização I_{90} para UPGRH SF5.....	105
Figura 31	Indicador de Regularização I_{90} para UPGRH SF10.....	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Classes de declividade e respectivas frequências de ocorrência no Estado de Minas Gerais.....	37
Tabela 2	Classes de precipitação média anual e respectivas frequências de ocorrência no Estado de Minas Gerais.....	39
Tabela 3	Análise do desempenho do modelo com base no índice de confiança.....	46
Tabela 4	Classes de solos e respectivas frequências de ocorrência no Estado de Minas Gerais.....	51
Tabela 5	Grupos hidrológicos e características do solo.....	52
Tabela 6	Equações de Regionalização das Vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} e Intervalos de área de drenagem para suas aplicações.....	58
Tabela 7	Coefficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de eficiência ajustado (E'), o índice de confiança (Ic) e o desempenho dos modelos de regionalização de vazões para estimativa da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} nas bacias hidrográficas em estudo.....	59
Tabela 8	Coefficientes a e b para as equações de regionalização da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} para as bacias hidrográficas em estudo.....	62
Tabela 9	Relação entre os coeficiente a das vazões de referência Q_{90} e $Q_{7,10}$ com a Q_{MLT} para as bacias hidrográficas estudadas.....	64
Tabela 10	Rendimento específico nas regiões de cabeceira e foz das bacias hidrográficas em estudo.....	75
Tabela 11	Frequência (%) das classes de precipitação para as três UPGRH's analisadas.....	96
Tabela 12	Frequência (%) das classes de declividade para as três UPGRH's analisadas.....	97

Tabela 13	Frequência (%) dos Grupos Hidrológicos dos Solos para as três UPGRH's analisadas.....	97
Tabela 14	Rendimento específico de referência, deflúvio e coeficiente de escoamento superficial (C) para as três UPGRH's analisadas.....	99
Tabela 15	Indicador de regularização nas três UPGRH's em análise	101

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	A Bacia Hidrográfica	16
2.2	Sistema de Informação Geográfica – SIG	19
2.3	Regionalização Hidrológica	26
2.4	Gestão de Recursos Hídricos	28
3	MATERIAL E MÉTODOS	33
3.1	Área de Estudo	33
3.2	Seleção e Análise de Dados	33
3.3	Modelo Digital de Elevação	35
3.4	Mapa de Declividade	37
3.5	Precipitação Média Anual	38
3.6	Ajustes das Equações de Regionalização	40
3.6.1	Regressão Linear	40
3.6.2	Intervalos de confiança para os coeficientes da regressão linear	41
3.6.3	Regressão não-linear com funções linearizáveis	43
3.6.4	Intervalos de confiança para aplicação da equação de regressão linear	44
3.6.5	Verificação do ajuste das equações de regionalização	45
3.7	Zoneamento Hidrológico	47
3.8	Espacialização do Rendimento Específico	48
3.9	Interpretação dos Solos do Estado de Minas Gerais sob a forma de Grupos Hidrológicos, prevista no método CN – SCS/USDA-USA	49
3.10	Análise do comportamento hidrológico em três UPGRH's	53
3.10.1	Análise do regime de escoamento em três UPGRH's	56
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
4.1	Equações de Regionalização	58
4.2	Intervalo de confiança das equações de regionalização	65
4.3	Espacialização do Rendimento Específico	72
4.4	Classificação das Unidades de Mapeamento de Solos em Grupos Hidrológicos no Estado de Minas Gerais	79
4.5	Análise do regime de escoamento em três UPGRH's	84
4.5.1	Regime Pluvial	85
4.5.2	Relevo	89
4.5.3	Solos	92

4.5.4	Análise conjunta dos atributos das UPGRH em associação com os valores de rendimentos específicos e suas relações	96
5	CONCLUSÕES	107
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	108
	REFERÊNCIAS	109
	ANEXOS	120

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, a maioria dos governos e grande número de agências internacionais destacam a água como prioridade, dentro do conjunto dos recursos naturais estratégicos. A disponibilidade dos recursos hídricos é objeto de constante preocupação dos órgãos de gestão, sendo justificável uma análise dessa variável.

O conhecimento da disponibilidade hídrica no âmbito de uma bacia hidrográfica é parte fundamental para planejamento e gestão dos recursos hídricos. Pode-se compreender a bacia hidrográfica como sendo a unidade, onde ocorrem os processos físicos sob a perspectiva de gestão dos recursos hídricos e do planejamento urbano e regional (RIBEIRO et al., 2005).

A água num ecossistema varia de forma quantitativa e qualitativa no tempo e no espaço. Isso leva à necessidade de estudos complexos de planejamento e gestão dos recursos hídricos (VERONEZ, 2005). Nos estudos para a exploração dos recursos hídricos, frequentemente a disponibilidade hídrica precisa ser avaliada em locais onde não existe série histórica de vazão ou, se existe, a extensão da série é insuficiente para avaliação. Assim, torna-se necessário aplicar metodologias que permitam transferir a informação de locais amostrados para outros locais da bacia hidrográfica.

O entendimento do comportamento de uma ou mais variáveis, que representam um sistema hídrico, depende em última análise de informações observadas desse sistema. Nenhum modelo, técnica matemática ou estatística é capaz de criar informações. Tais técnicas podem explorar melhor as informações existentes (TUCCI, 2002).

Para a adequada gestão dos recursos hídricos, especialmente nas atividades de administração como, por exemplo, na concessão de uso dos recursos hídricos para uma dada finalidade, a disponibilidade hídrica precisa ser conhecida. Nesse contexto, as vazões mínimas têm recebido atenção especial,

pois representam a condição crítica da bacia, sendo que ocorrem no período de estiagem, quando a oferta de água é limitada. Diversos estudos de vazões mínimas têm sido realizados com a finalidade de preservar os recursos naturais e, concomitantemente, fornecer informações e ferramentas para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos.

As vazões mínimas são utilizadas como referência para outorga de uso dos recursos hídricos, em que é considerada uma porcentagem destas, de forma que não comprometa o escoamento no curso d'água. Geralmente, em cursos d'águas, são adotadas como referência a vazão $Q_{7,10}$ (vazão mínima das médias de 7 dias consecutivos com período de retorno de 10 anos), Q_{90} (vazão mínima esperada em 90% do tempo) ou Q_{MLT} (vazão média de longo termo, corresponde à síntese de todas as vazões ao longo do tempo).

Para tornar essas vazões de referência mais representativas, recorre-se às vazões ou rendimentos específicos que representam os fluxos drenados por unidade de área, com notação ($L s^{-1} Km^{-2}$).

Em decorrência da escassez de informações da rede hidrométrica para estudos de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais, fica em evidência a necessidade de estudos de regionalização de vazões que se baseiam em metodologias específicas, as quais permitem otimizar as informações fluviométricas existentes, extrapolando-as para os locais que possuem dados insuficientes ou inexistentes.

Pelos aspectos mencionados, objetivou-se, com este trabalho:

- a) a obtenção de modelos matemáticos para estimativa das vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} em todas as Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Estado de Minas Gerais;
- b) a espacialização dessas informações na forma de Rendimento Específico;

- c) a interpretação desses rendimentos sob a forma de índices que reflitam o grau de regularização do regime de escoamento;
- d) a interpretação das unidades de mapeamento do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE - FEAM, 2010), sob a ótica dos Grupos Hidrológicos, segundo o método CN (Curva Número), desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos e de seu Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA);
- e) a aplicação dos produtos obtidos e a análise da performance dos mesmos, em três ambientes fisiográficos distintos no estado de Minas Gerais.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A Bacia Hidrográfica

A bacia hidrográfica, de acordo com Tucci (1997), corresponde a uma área de captação natural da água de precipitação que faz convergir o escoamento para um ponto de saída, compondo-se de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos d'água que confluem até resultar em um leito único no seu exutório. Sua identificação como unidade fundamental para caracterizar os processos hidrossedimentológicos, segundo Lima (2005), remonta aos primórdios dos estudos hidrológicos e geomorfológicos.

De maneira geral, pode-se conceituar bacia hidrográfica como uma área geográfica natural, delimitada pelos pontos mais altos do relevo, dentro dos quais a água proveniente das chuvas é drenada superficialmente por um curso d'água principal até sua saída da bacia, no local mais baixo do relevo, que corresponde à foz desse curso d'água (SANTANA, 2003).

As definições propostas para bacia hidrográfica incorporam diferentes conceitos, como, por exemplo, um conjunto de terras drenadas por um rio e seus afluentes, formada nas regiões mais altas do relevo por divisores de água (BARRELLA, 2001), até aos aspectos geomorfológicos (LIMA; ZAKIA, 2000), onde as bacias hidrográficas são sistemas abertos, que recebem energia através de agentes climáticos e perdem energia através do deflúvio, podendo ser descritas em termos de variáveis independentes que oscilam em torno de um padrão e, dessa forma, mesmo quando perturbadas por ações antrópicas, encontram equilíbrio dinâmico.

A importância da definição da bacia hidrográfica está inserida dentro da Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433, de 1997 (BRASIL, 1997), a qual incorpora princípios e normas para a gestão dos

recursos hídricos, adotando a bacia hidrográfica como unidade de estudo e gestão.

A bacia hidrográfica pode também ser subdividida em unidades menores, as quais vão desde sub-bacias a microbacias, podendo ser empregados critérios como unidades de medida, hidrológicos e ecológicos para tal definição, muito embora, esses termos, amplamente apresentados na literatura, não apresentem uma mesma convergência conceitual daquela apresentada para bacia hidrográfica.

As sub-bacias são áreas correspondentes aos tributários do curso de água principal, podendo variar em termos de tamanho (FAUSTINO, 1996). Já, para Santana (2003), as bacias podem ser desmembradas em um número qualquer de sub-bacias, dependendo, basicamente, do ponto de saída considerado ao longo do canal principal, sendo, portanto, os termos bacia e/ou sub-bacia relativos.

Do ponto de vista da hidrologia, a classificação de bacias hidrográficas em grandes e pequenas não é vista somente na sua superfície total, mas considerando os efeitos de certos fatores dominantes na geração do deflúvio, tendo as microbacias como características distintas uma grande sensibilidade tanto às chuvas de alta intensidade (curta duração), como também ao fator uso do solo (cobertura vegetal), sendo assim, as alterações na quantidade e qualidade da água do deflúvio, em função de chuvas intensas e/ ou em função de mudanças no solo, são detectadas com mais sensibilidade nas microbacias do que nas grandes bacias. Portanto, essa explicação contribui na distinção, definição e delimitação espacial de microbacias e bacias hidrográficas, sendo sua compreensão importante no tocante ao monitoramento ambiental, que pode ser realizado por meio de medições de variáveis hidrológicas, liminológicas, da topografia e cartografia e com o auxílio de sistemas de informações geográficas.

Outro conceito importante atribuído a microbacias é o ecológico, que considera a menor unidade do ecossistema onde pode ser observada a delicada

relação de interdependência entre os fatores bióticos e abióticos, sendo que perturbações podem comprometer a dinâmica de seu funcionamento. Esse conceito visa à identificação e o monitoramento de forma orientada dos impactos ambientais (LEONARDO, 2003; MOSCA, 2003; TEODORO et al., 2007).

Uma vez entendido o conceito de bacia hidrográfica e sua importância dentro de um contexto hidrológico, torna-se necessário abordar o conceito do manejo de bacias hidrográficas, o qual, segundo Brooks et al. (1991), é definido como o processo de organizar e orientar o uso da terra e de outros recursos naturais, a fim de produzir bens de serviço, sem destruir ou afetar adversamente o solo e a água.

Outro ponto importante no estudo de bacias hidrográficas é a sua caracterização física, o que faz com que ela seja uma unidade de estudo essencial para conservação do meio ambiente, formada por microbacias, as quais possuem pequenos riachos que constituem a malha de drenagem dessa bacia (ALVES et al., 2008).

Para Pinto et al. (2005), a caracterização do meio físico da bacia, com o intuito de levantar todas as áreas críticas do ponto de vista da manutenção da água, é condição básica para um planejamento bem sucedido da conservação e produção de água. A partir desse ponto de vista, o conhecimento das variáveis físicas, como, por exemplo, a declividade, é importante porque visa a atender a legislação específica quanto ao ordenamento do uso da terra (ROSTAGNO, 1999), além de exercer relação com vários processos hidrológicos, tais como a infiltração, o escoamento superficial, umidade do solo, dentre outros.

O manejo correto de bacias hidrográficas envolve a elaboração de diversos diagnósticos que levantam todos os problemas da bacia, identificam conflitos e indicam as soluções em todos os níveis (SILVA; RAMOS, 2001).

Uma das formas de se avaliar os aspectos aqui citados, tais como, características físicas, ambientais e estratégias de manejo é por meio do uso de um sistema de informações geográficas (SIG).

Por meio do uso do SIG, pode-se identificar os usos atuais, orientar adequadamente a ocupação do solo e subdividir a sub-bacia para facilitar o dimensionamento ambiental, por processos de espacialização da informação, criando mecanismos mais eficazes para a tomada de decisão por parte dos gestores, bem como a identificação do objeto de estudo. Dessa forma, a ferramenta que mais cresce na gestão ambiental está ligada ao geoprocessamento, com a utilização do Sistema de Informação Geográfica (SIG).

2.2 Sistema de Informação Geográfica – SIG

A localização geográfica é de fundamental importância para a solução de alguns problemas das mais variadas áreas de estudo, uma vez que engenheiros, geólogos, hidrólogos necessitam de uma representação da superfície da terra e de ferramentas que auxiliam na interpretação das variáveis. Nesse sentido, o geoprocessamento e os sistemas de informações geográficas (SIG) vêm sendo um importante recurso, permitindo a análise de uma grande quantidade de dados georreferenciados, de diferentes tipos e formatos, gerando informações em um ambiente SIG.

De acordo com Christofolletti (1999), o desenvolvimento do SIG foi fortemente influenciado pela dificuldade de manipulação de dados em grande escala, o que levou ao desenvolvimento de sistemas capazes de observar, modelar, avaliar e simular o comportamento de variáveis ambientais, permitindo apresentar os resultados na forma de mapas.

Considerando o solo como um recurso natural fundamental, a compreensão acerca de sua distribuição espacial, tendo a bacia hidrográfica como unidade de trabalho, é extremamente importante ao que tange a manutenção de atividades econômicas, como por exemplo, produção agrícola.

Dentro do contexto da bacia hidrográfica, encontra-se uma variabilidade de tipos de solos, espacialmente distribuídos, dos mais variados graus de intemperismo causados pelo clima, organismos, material de origem, relevo e o tempo.

Para Genú (2006), o relevo e a geologia locais, são considerados como os fatores mais facilmente avaliados, uma vez que mudanças do perfil do solo e na geologia, influenciam o movimento da água na superfície (MZUKU et al., 2005).

Nesse contexto, os sistemas de informações geográficas (SIG's) inserem-se como uma ferramenta com capacidade de manipular as funções que representam os processos ambientais em diversas regiões, de forma simples e eficiente, uma vez que permite a economia de tempo e recursos.

Para Teixeira, Moretti e Christofolletti (1992), o SIG inclui-se no ambiente tecnológico convencionalmente chamado de geoprocessamento, cuja área de atuação envolve a coleta e o tratamento da informação espacial.

Mattos (1998) define SIG como uma ferramenta de auxílio ao processamento da informação que pode incluir aspectos de superfícies de culturas, demográficos, econômicos, geográficos, sensoriamento remoto, paisagem e outros com as ciências da computação, unindo características de um local, um recurso e ou um aspecto com sua localização espacial.

Para Fitz (2008), o SIG pode ser definido como um sistema constituído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar,

manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecidos.

Sua designação, em geral, refere-se a sistemas que realizam tratamento computacional de dados geográficos, armazenando a geometria e os atributos dos dados georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre em uma projeção cartográfica (CÂMARA; MEDEIROS, 1998).

Apesar das diferentes definições relacionadas com as aplicações dos SIGs é possível identificar uma definição comum como sendo um sistema capaz de gerenciar dados geográficos, ou seja, atribui as capacidades de colecionar, editar, armazenar, integrar e analisar dados georreferenciados (MELO, 2010).

Mendes (1996) fez algumas considerações em relação ao uso em conjunto do SIG e os modelos hidrológicos. A primeira refere-se ao fato de que os modelos hidrológicos lidam com fenômenos contínuos e dinâmicos, enquanto os SIGs disponíveis no mercado atualmente tratam apenas com dados estáticos e discretos. A segunda colocação é que o SIG utiliza conceitos de pontos, linhas, polígonos, grades, redes de triângulos irregulares para representar a realidade, enquanto que na hidrologia, os sistemas a serem representados espacialmente são bacias, aquíferos, rios, canais e lagos entre outros. Por último, referindo ao campo conceitual, ressalta que no SIG a análise é feita através de manipulação e interpretação de dados geográficos, enquanto nos modelos hidrológicos, a análise é realizada por meio de simulação de movimento de água e de seus constituintes, usando equações que representam leis físicas.

Segundo Petersen, Nielsen e Wilding (1991), SIGs podem ser utilizados em estudos envolvendo variabilidade espacial e temporal da cobertura vegetal na bacia hidrográfica, além da caracterização fisiográfica a partir do modelo digital de elevação.

A utilização dos SIGs na modelagem hidrológica permite manipular os dados espaciais e a combinação destas duas ferramentas mostra-se de extrema

importância na tomada de decisões relacionadas com planejamento e ordenamento do território, demonstrando seu importante papel na análise da informação espacial.

Ainda no aspecto de modelagem hidrológica, Viola et al. (2009) mostram que uma das formas de avaliar o comportamento hidrológico de bacias hidrográficas consiste no desenvolvimento e aplicação de modelos fisicamente fundamentados, com auxílio de técnicas de mapeamento. Para esses autores, este tipo de investigação científica é altamente aceita quando são aplicadas técnicas de sensoriamento remoto e SIG para espacializar as variáveis de entrada de um modelo.

As variáveis de entrada em um ambiente SIG compõem-se de dados geográficos, os quais podem ser enquadrados em três categorias (MENDES; CIRILO, 2001):

- a) Dado espacial, que refere à localização, à forma e às relações entre as entidades espaciais;
- b) Dado descritivos (atributos), que se refere às características espaciais;
- c) Dado temporal, que se refere ao período ou época de ocorrência do fenômeno.

Ainda de acordo com esses autores, os dados espaciais têm como características principais a sua posição em relação a um referencial, o aspecto topológico que caracteriza o relacionamento de vizinhança ou de conexão entre os objetos e, por fim, o aspecto amostral que caracteriza valores de grandeza física ou de outras propriedades, obtidas por meio de pontos de amostragem.

Um modelo de dados geográfico corresponde a uma abstração, podendo ser representado de duas formas: matricial ou vetorial.

Eastman (1999) demonstra que existem, basicamente, dois formatos para a representação de dados espaciais em um SIG, quais sejam o vetorial e o raster. No formato vetorial, os limites das feições são definidos por pontos, linhas ou polígonos, sendo os atributos armazenados separadamente. No formato raster, a representação gráfica das feições e atributos é unificada em subunidades denominadas de células ou pixels.

A escolha de um tamanho de pixel apropriado para as simulações não é um trabalho simples. Pequenos tamanhos de pixels são usados, quando a variabilidade espacial dos parâmetros relevantes é conhecida em detalhes. Tamanhos maiores podem ser preferidos, quando a variabilidade espacial das características da bacia hidrográfica não é significativa ou quando a eficiência computacional é uma preocupação (JULIEN et al., 1995). Outros aspectos que também devem ser considerados na definição do tamanho do pixel é a escala dos trabalhos de campo e o orçamento disponível para a sua execução.

Segundo Viola (2008), o modelo digital de elevação (MDE) consiste em uma superfície com valores que variam continuamente no espaço, sendo tradicionalmente obtida por modelagem Triangulated Irregular Network (TIN), a qual permite a geração de um modelo da superfície, no qual os topos de morros e depressões são modelados de acordo com as tendências dos dados mais próximos e, também, na elaboração de modelos tridimensionais que permitem identificar vales, redes de canais, padrão superficial de drenagem, subdividir bacias hidrográficas, verificar comprimento, declividade, orientação das encostas, direção de fluxos hidrológicos superficiais, que oscilam em função da qualidade e resolução do MDE, e do processamento dos algoritmos usados para extrair a informação necessária para a construção do MDE.

Para a definição do tipo de MDE e para evitar problemas em sua geração com base no método de triangulação, é importante definir a maneira mais adequada pela qual o processo de amostragem vai ser utilizado. De acordo com

Coutinho (2003), as amostragens compreendem a aquisição de um conjunto de amostras representativas do fenômeno de interesse.

Com o advento de sensores orbitais, modelos de elevação que permitem a determinação da rede de drenagem puderam ser extraídos por meio da interferometria. Esse processo é o modo de operação de alguns sensores imageadores de microondas, como o exemplo do SRTM - Shuttle Radar Topographic Mission, ou da estereoscopia, por meio de sensores ópticos que adquirem imagens com retrovisada, a exemplo do ASTER/Terra –Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (FUCKNER; FLORENZANO; MORAES, 2009).

Os modelos digitais de elevação ASTER (NASA –National Aeronautics and Space Administration) e SRTM (USGS - United States Geological Survey) são exemplos de produtos obtidos por meio de diferentes técnicas de sensoriamento remoto, em escala compatível para a aplicação no planejamento do uso agrícola, gestão ambiental, manejo de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos, programas de conservação de florestas e de solo, entre outros (LANDAU; GUIMARÃES, 2011).

Inicialmente, os modelos MDE eram gerados, a partir da digitalização de dados topográficos coletados em campo, porém, atualmente, esses modelos podem ser obtidos por métodos como a estereoscopia orbital e interferometria por radar e esse avanço na obtenção representa uma alternativa eficiente para a geração de cartas topográficas padronizadas, cobrindo áreas relativamente extensas em menor tempo (LANDAU; GUIMARÃES, 2011). Ainda, segundo esses autores, a estereoscopia orbital baseia-se na comparação entre pares estereoscópicos de uma mesma área (consiste na extração de informações de duas imagens de um mesmo local, adquiridas em ângulos diferentes de imageamento). Já, a interferometria por radar representa uma técnica de imageamento ativo, em que o radar emite o sinal através de uma antena central e

registra as características do retorno desse sinal através de duas antenas situadas a uma distância conhecida.

O ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), a bordo do satélite Terra, representa um sensor capaz de adquirir pares estereoscópicos para quase todo o globo terrestre (entre as latitudes 83°S e 83°N). Para a América do Sul, os dados obtidos são disponibilizados na resolução espacial de 1 arco de segundo (aproximadamente 30m), no sistema de coordenadas Lat/Long e Datum WGS84 (LANDAU; GUIMARÃES, 2011).

Técnicas sofisticadas para o mapeamento através das imagens ASTER têm surgido, principalmente com o intuito de utilizar sua diversidade espectral (FUCKNER, 2007; SOUSA; BAPTISTA, 2005; TEZA; BAPTISTA, 2005). Para a extração do MDE, o princípio básico aplicado é o efeito da paralaxe, ou seja, a partir de imagens de um mesmo objeto em duas dimensões tomadas em dois ângulos diferentes pode-se obter um modelo tridimensional do objeto (STEINMAYER, 2003).

As diversas aplicações dos MDEs quando oriundas do sensor ASTER foram apresentadas por Toutin (2008), demonstrando as diversas áreas nas quais o sensor pode ser utilizado, dentre elas no uso e ocupação do solo, geomorfologia (STEVENS; GARBEIL; MOUGINIS-MARK, 2004), geleiras (RACOVITEANU et al., 2006), hidrologia (CHRYSOULAKIS et al., 2004), dentre outros.

Outra aplicação bastante prática com o uso do SIG é a possibilidade de espacializar as informações e/ou atributos, contudo, existem diferentes modos de se mapear a variabilidade espacial. Porém, nem todos os modelos inferenciais propostos respondem a questões básicas relacionadas com a forma, tamanho e orientação do domínio a ser considerado na interpolação, além de não fornecer informações sobre incertezas em relação aos valores estimados espacialmente (BURROUGH; MCDONNEL, 1998).

Baena et al. (2004), mostraram que, para ser efetiva, a estimativa da oferta de água superficial deve ser feita em toda a rede de drenagem da bacia, mas, como as vazões são geralmente medidas em alguns pontos específicos, um dos desafios inerentes à hidrologia é espacializar essa informação para toda a área de interesse, ou seja, regionalizar as vazões.

2.3 Regionalização Hidrológica

A disponibilidade de informações hidrológicas suficientemente extensas seja no espaço ou no tempo, e com qualidade adequada, é um dos maiores desafios dos hidrólogos envolvidos no desenvolvimento de projetos de gerenciamento de recursos hídricos. Essas informações são obtidas por meio de redes de monitoramento hidrométrico distribuídas sobre uma determinada região geográfica, na qual, são obtidos registros fluviométricos. Esses registros são associados a uma área específica (bacia hidrográfica) (BRUSA, 2004).

A existência de monitoramento hidrológico consistente é a situação ideal para fins de determinação de vazões em um curso d'água de interesse, visto que nenhuma tecnologia, por mais moderna que seja, substitui os dados provenientes de monitoramento, entretanto, a realidade brasileira é preocupante no tocante à quantidade insuficiente de estações fluviométricas, as quais, frequentemente, apresentam séries com curta extensão (BESKOW et al., 2011). Nesse sentido, o que mais chama a atenção é a carência de dados, especialmente em pequenas bacias hidrográficas (BESKOW; NORTON; MELLO, 2013).

Segundo Tucci (2001), a escassez de dados tem dois parâmetros básicos, a disponibilidade temporal e espacial da informação. Em decorrência dos altos custos de implantação, operação e manutenção de uma rede hidrométrica, torna-se importante a otimização das informações disponíveis. Uma rede hidrométrica dificilmente cobre todos os locais de interesse necessários ao gerenciamento dos

recursos hídricos de uma região, havendo lacunas temporais e espaciais que deverão ser preenchidas com base em metodologias apropriadas.

Visando a minimizar o problema da carência de monitoramento fluviométrico, no Brasil e em vários outros países, algumas metodologias têm sido desenvolvidas no intuito de oportunizar a estimativa de variáveis hidrológicas, em especial em bacias hidrográficas não monitoradas. Já é comum, no Brasil, o emprego de modelos hidrológicos conceituais para essa finalidade (ANDRADE; MELLO; BESKOW, 2013; BESKOW et al., 2011; BESKOW; NORTON; MELLO, 2013; VIOLA et al., 2009, 2012) e, também, da técnica de regionalização hidrológica.

A utilização de métodos de regionalização hidrológica começou a ser empregada há mais de 40 anos (CLARKE, 2001), mais precisamente na década de 60. Inicialmente, foram utilizadas fórmulas empíricas e, na medida em que os pesquisadores adquiriram melhor conhecimento dos fundamentos que regem os processos físicos do ciclo hidrológico, juntamente com o incremento na velocidade dos recursos computacionais e o aumento quantitativo e qualitativo dos dados hidrológicos, foram desenvolvidos métodos mais complexos e confiáveis.

Segundo Novaes et al. (2007) e Silva et al. (2006), a técnica de regionalização hidrológica vem sendo muito utilizada no país com o objetivo de transpor informações de locais com a existência de registros provenientes de monitoramento, sobremaneira de vazões para outros locais cujo monitoramento é inexistente ou apresenta um curto período com dados.

Para Tucci (1997), a regionalização de vazões é definida como conjunto de ferramentas que exploram ao máximo as informações existentes, visando à estimativa das variáveis hidrológicas em locais sem dados ou em que estes sejam insuficientes. Essa técnica pode ser utilizada para melhor explorar as amostras

pontuais e, em consequência, melhorar as estimativas das variáveis, verificar a consistência das séries hidrológicas e identificar a falta de postos de observação.

Nas últimas duas décadas, diversos algoritmos têm sido implementados em módulos específicos dos sistemas de informações geográficas, com a finalidade de automatizar os procedimentos de regionalização de vazões. As vantagens da automação, em relação aos procedimentos manuais, são a maior eficiência e confiabilidade dos dados digitais obtidos (CHAVES, 2002).

A regionalização de vazões tem grande importância no planejamento e na gestão de recursos hídricos, pois gera subsídios para estudos de previsão de riscos de enchentes, disponibilidade hídrica para usos, como geração hidráulica, de energia e de abastecimento, bem como em estudos de concessão de outorga de direito de uso da água. Segundo Vezza et al. (2010), a determinação de vazões mínimas em cursos d'água, apresenta inúmeras aplicações na área de recursos hídricos, tais como: planejamento para abastecimento de água, projeto de reservatórios, manutenção de quantidade e qualidade de água para irrigação, recreação e vazão ecológica para a conservação de espécies animais.

2.4 Gestão de Recursos Hídricos

A Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, foi um marco legal no tratamento dos recursos hídricos no país. Tendo como objetivos assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos; a utilização racional e integrada dos recursos hídricos, incluindo o transporte aquaviário, com vistas ao desenvolvimento sustentável; a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais. Essa lei tem como princípios básicos: a adoção da bacia hidrográfica como unidade de

planejamento; a consideração dos múltiplos usos da água; o reconhecimento da água como um bem finito, vulnerável e dotado de valor econômico e a necessidade da consideração da gestão descentralizada e participativa desse recurso (BRASIL, 1997).

Dentro da Política Nacional de Recursos Hídricos, a outorga do direito de uso da água é um instrumento essencial para o gerenciamento dos recursos hídricos, sendo necessário um suporte técnico-científico para uma correta implementação desse instrumento. A vazão outorgada está condicionada a uma porcentagem da vazão mínima de referência, a qual varia de acordo com o regime e a jurisdição do curso d'água. Por meio da outorga, o poder público concede, por um período preestabelecido, o direito de uso de determinada quantidade de água, condicionado à sua disponibilidade, de tal modo que assegure ao gestor o controle quantitativo e qualitativo do seu uso, ao mesmo tempo que garante ao usuário o direito de uso da água de forma pessoal e intransferível.

É de responsabilidade dos órgãos gestores de recursos hídricos, em níveis federais ou estaduais, a concessão da outorga. Na análise de concessão de outorga, o conhecimento da disponibilidade de água é a informação básica para a tomada de decisão. Para superar a dificuldade encontrada na obtenção de informações hidrológicas para todos os locais de interesse, necessários ao adequado gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, utiliza-se a técnica de regionalização de vazões.

A legislação relativa à outorga para a utilização dos recursos hídricos superficiais em cursos d'água, em alguns estados do Brasil, estabelece como fluxo residual mínimo a ser mantido a jusante das derivações uma porcentagem das vazões como a $Q_{7,10}$ (vazão mínima das médias de 7 dias consecutivos e período de retorno de 10 anos) e a Q_{90} (vazão mínima esperada em 90% do tempo).

A vazão $Q_{7,10}$ representa o valor mínimo da média móvel da vazão de sete dias consecutivos, associado a um período de retorno de dez anos, ou seja, valores menores ou iguais a ele, ocorrem em média, uma vez a cada dez anos. Essa vazão de referência é empregada em várias circunstâncias, tais como: proteção/regularização da qualidade da água contra descargas residuais, situação crítica de escoamento na modelagem da qualidade da água, quantidade mínima de vazão necessária para a proteção de espécies aquáticas e indicador de condições de estiagem, estudos de disponibilidade hídrica e concessão de outorgas para abastecimento de água, entre outros.

A vazão Q_{90} representa a vazão em que 90% do tempo se têm valores iguais ou superiores a ela. Em outras palavras, representa uma garantia de que um determinado valor de vazão esteja presente em 90% do tempo, em uma determinada seção do curso d'água. A vazão Q_{90} tem sido utilizada em estudos de avaliação de impactos ambientais e, principalmente, na concessão de outorgas do uso da água.

Outra vazão de referência é a média de longo termo (Q_{MLT}) que permite caracterizar a capacidade de gerar deflúvio superficial e o potencial da bacia de gerar hidroenergia, pois, ela representa a vazão máxima possível de ser regularizada (RODRIGUEZ, 2004).

A $Q_{7,10}$ indica uma situação de estado mínimo, enquanto a Q_{90} caracteriza uma situação de permanência (EUCLYDES, 2004).

No Brasil, cada unidade federativa tem adotado critérios próprios para o estabelecimento das vazões mínimas de referência para outorga sem, entretanto, apresentar justificativas para a adoção desses valores (CRUZ, 2001). O Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), órgão gestor de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais, por meio da Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548, de 29 de março 2012 (MINAS GERAIS, 2012), estabeleceu como critério para a concessão da outorga a vazão mínima de referência com sete dias de

duração e período de retorno de 10 anos ($Q_{7,10}$), sendo a vazão máxima passível de ser outorgada em condições naturais, correspondente a 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$, ficando garantidos a jusante de cada derivação, fluxos residuais mínimos equivalentes a 50% (cinquenta por cento) da $Q_{7,10}$.

Segundo Moreira (2010), na análise do processo de concessão de outorga, seja nele utilizadas a vazão mínima de referência, para captações a fio d'água, ou a Q_{MLT} , para situações de regularização de corpos hídricos, o conhecimento da disponibilidade hídrica é a informação básica para a tomada de decisão. As limitadas séries históricas de dados fluviométricos disponíveis e a necessidade de se conhecer a vazão ao longo da rede hidrográfica dificultam ou, muitas vezes, impedem, a realização de uma adequada gestão de recursos hídricos.

Para superar a escassez de informações hidrológicas nos locais de interesse, necessárias ao adequado gerenciamento dos recursos hídricos de uma região, utiliza-se a técnica de regionalização de vazões para transferir, espacialmente, as informações, a partir dos dados disponíveis em determinadas localidades.

Em Minas Gerais, o IGAM utiliza o trabalho Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais (SOUZA, 1993) para a estimativa da $Q_{7,10}$ e Q_{MLT} . Segundo Moreira (2010), o estudo permite a estimativa das vazões superficiais médias e extremas para qualquer ponto do Estado de Minas Gerais, bem como a estimativa do potencial de regularização dos cursos d'água, por meio de reservatórios. Apresenta, ainda, um acervo consistido de dados fluviométricos mensais, formado a partir de 252 seções de informações hidrométricas distribuídas por todo Estado.

Outro produto de referência para a gestão dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais é o Atlas Digital das Águas de Minas que é um produto que se encontra alicerçado na tecnologia dos sistemas de informações

geográficas. Neste, as informações hidrológicas se encontram por região hidrográfica e por unidade de planejamento e gestão dos recursos hídricos (EUCLYDES, 2004).

A qualidade das vazões estimadas, utilizando-se os métodos de regionalização, depende do número de estações fluviométricas consideradas e de sua distribuição. É importante que se tenha consciência de que nenhum dado pode ser criado, o que se deve é, da melhor maneira possível, extrair o máximo de informações dos dados existentes (SILVA JÚNIOR et al., 2003).

Para ser efetiva, a estimativa da oferta de água superficial deve ser feita em toda a rede de drenagem da bacia hidrográfica. Entretanto, como as vazões são, geralmente, medidas apenas em alguns pontos específicos (postos fluviométricos), um dos desafios em hidrologia é regionalizar e espacializar essa informação para toda a área de interesse.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Área de Estudo

O Estado de Minas Gerais se encontra na região Sudeste do Brasil, com área aproximada de 586.753 km², onde ocorre importante variabilidade climática prevalecendo, ao Sul/Sudeste e locais de elevada altitude, clima Cwb/Cwa pela classificação proposta por Köppen, com invernos frios e verões brandos e chuvosos, clima Aw nas regiões do Triângulo Mineiro, Leste, Norte e Vale do Jequitinhonha, com invernos brandos e verões quentes e chuvosos, além de clima BSw na região do extremo Norte de Minas, com características semiáridas (ANTUNES, 1986).

3.2 Seleção e Análise de Dados

Para o estudo de regionalização das vazões de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT}) foram utilizados dados de 553 estações fluviométricas do Estado de Minas Gerais e suas proximidades, obtidos por intermédio das séries históricas disponibilizadas pela Agência Nacional de Águas (ANA/HIDROWEB) e processadas através do software SisCAH (Sistema Computacional para Análises Hidrológicas), estando esses dados apresentados em anexo, na Tabela 1A.

A utilização das estações fluviométricas foi baseada na extensão das séries históricas, sendo adotado o critério destacado por Vezza et al. (2010), os quais ressaltam a necessidade da existência de um período mínimo de 10 anos de dados observados de vazões diárias.

Apresenta-se, na figura 1, a distribuição espacial das estações fluviométricas e as bacias hidrográficas utilizadas no estudo, recortadas dentro do estado de Minas Gerais.

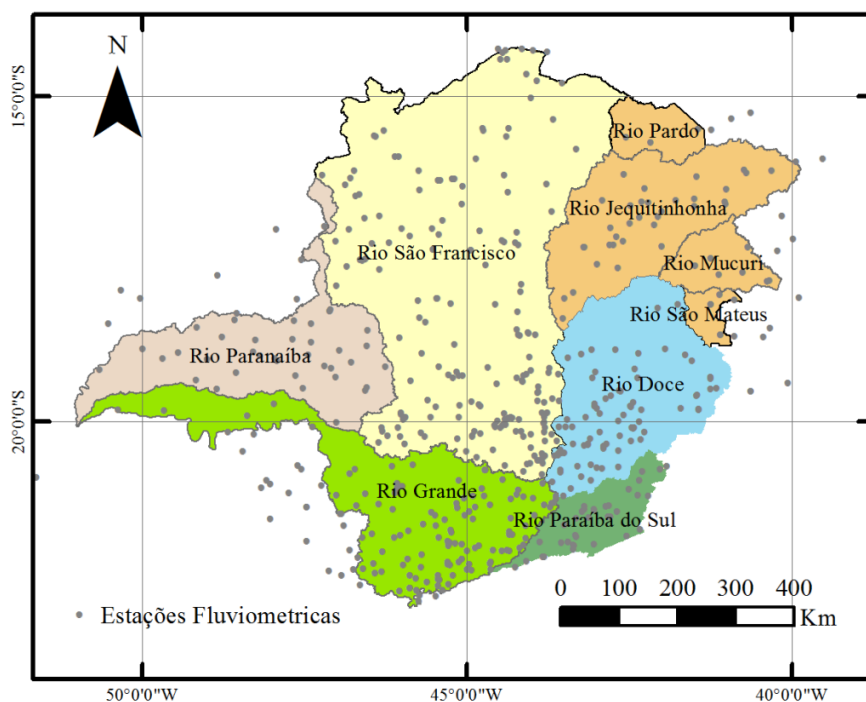


Figura 1 Mapa da distribuição espacial das estações fluviométricas e das bacias hidrográficas utilizadas no estudo, recortadas dentro do Estado de Minas Gerais

Para a determinação da $Q_{7,10}$ foi identificado, para cada ano considerado no estudo e para cada estação fluviométrica, o valor da vazão mínima pertinente à duração de sete dias (Q_7), para, então, estabelecer o modelo probabilístico com melhor ajuste às séries de Q_7 . Os modelos probabilísticos analisados para representar Q_7 foram: log-Normal a dois parâmetros, log-Normal a três parâmetros, Pearson tipo III, log-Pearson tipo III e Weibull.

A seleção da distribuição de probabilidade que melhor se ajustou aos dados da série histórica de Q_7 foi realizada com base no teste de aderência de Kolmogorov-Smirnov, em diferentes níveis de probabilidade, e no coeficiente de

variação. Foi escolhida a distribuição de probabilidade que apresentou melhor aderência pelo teste de Kolmogorov-Smirnov, associada ao menor coeficiente de variação, para posterior estimativa do valor correspondente à recorrência de 10 anos.

Visando a obter a vazão Q_{90} , inicialmente, procedeu-se à obtenção da curva de permanência para cada uma das estações fluviométricas em estudo. Posteriormente, determinou-se a vazão associada a 90% de permanência no tempo, a partir da curva de permanência obtida para as diferentes estações.

A vazão média de longo termo (Q_{MLT}) foi obtida para cada estação fluviométrica, pela média da série anual.

Para a obtenção das vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} , foi utilizado o programa Sistema Computacional para Análises Hidrológicas (SisCAH 1.0), desenvolvido pela rede de pesquisa 2 do SNIRH, a qual é composta pelas seguintes instituições: Universidade Federal de Viçosa (instituição coordenadora), Universidade Federal da Bahia, Universidade Federal Fluminense, Universidade Federal de Pernambuco, Universidade Federal do Espírito Santo, Escola de Engenharia de São Carlos e Instituto de Pesquisas Tecnológicas e supervisionada pela ANA. O programa SisCAH está disponível para download no site <http://www.ufv.br/dea/gprh/software>s.

3.3 Modelo Digital de Elevação

O Modelo Digital de Elevação (MDE), originado do sensor ASTER utilizado no estudo, foi obtido no formato raster com resolução de 30 x 30 metros, em sites próprios com disponibilidade livre (ADVANCED SPACEBORNE THERMAL AND REFLECTION RADIOMETER -ASTER, 2012), estando compreendido entre as coordenadas 51°03'W, 14°14'Se

39°52'W, 22°55'S. Apresenta-se, na figura 2, o Modelo Digital de Elevação para o Estado de Minas Gerais, utilizado no presente estudo.

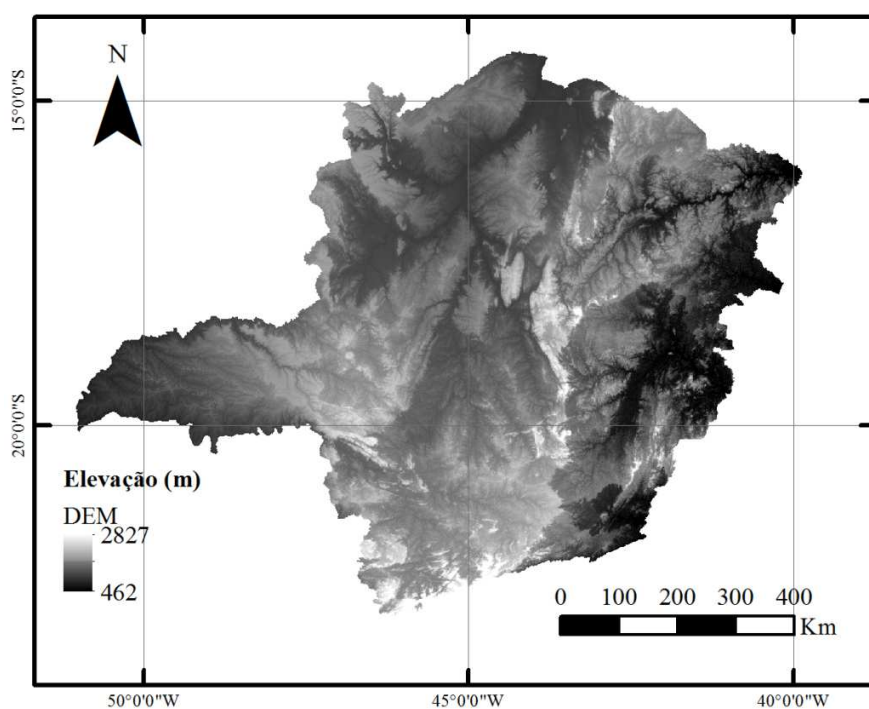


Figura 2 Modelo Digital de Elevação do Estado de Minas Gerais

As terras mineiras estão situadas em altitudes que variam de 462 a 2827 metros. Mais da metade do estado localiza-se no Planalto Atlântico, com relevos de mares de morros ou ondulados e altitude média de 730 m. As altitudes mais baixas estão nas várzeas dos rios, no sudeste, leste e norte do estado. Apresenta dois grandes reservatórios d'água: Três Marias, no Rio São Francisco e Furnas, no Rio Grande. Os pontos mais altos estão nas serras da Mantiqueira, do Espinhaço e da Canastra, com terrenos acima dos 1700 m. O ponto culminante do estado é o Pico da Bandeira, situado na divisa com o estado do Espírito Santo.

Para o estudo, utilizaram-se as bacias hidrográficas dos Rios Doce, Paraíba do Sul, Grande, Paranaíba, São Francisco, Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus, sendo que foi feito um recorte nas áreas dessas bacias, mostrando os resultados apenas para o Estado de Minas Gerais, dentro das UPGRH's das respectivas bacias hidrográficas.

3.4 Mapa de Declividade

As informações sobre a declividade da superfície foram derivadas do Modelo Digital de Elevação (MDE), construído, a partir de dados de altitude em grade de 30 m, originados do sensor ASTER. Com o advento desse projeto de levantamento altimétrico, por meio da estereoscopia realizada no ano 2011 pela NASA, as grandes lacunas em termos de altimetria, no Brasil, puderam ser preenchidas, considerando-se uma escala global.

A partir do MDE originado do sensor ASTER, foi efetuado o recorte dos dados para o Estado de Minas Gerais. O MDE do Estado foi, então, processado em ambiente de sistemas de informações geográficas para a derivação das declividades, usando o comando Slope do programa computacional ESRI ArcGIS 10.1 com a extensão Spatial Analyst Tools. Posteriormente, o mapa com as declividades foi reclassificado nas classes apresentadas na tabela 1 e na figura 3.

Tabela 1 Classes de declividade e respectivas frequências de ocorrência no Estado de Minas Gerais

Nome da Classe	Declividade (%)	Frequência (%)
Plano	< 8	17,17
Ondulado	8 -20	25,51
Forte Ondulado	20 - 45	16,10
Montanhoso	> 45	41,22

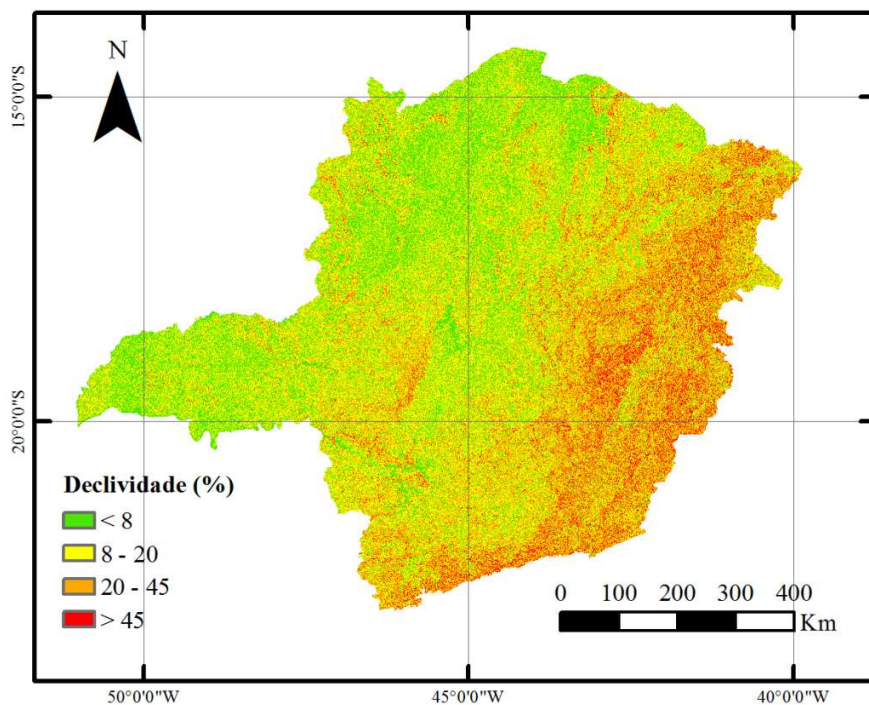


Figura 3 Mapa de Declividade do Estado de Minas Gerais

3.5 Precipitação Média Anual

O Estado de Minas Gerais apresenta vasta extensão territorial, associada a longas cadeias montanhosas, proporcionando-lhe um regime pluvial diversificado. Sendo assim, o estado de Minas Gerais é afetado por precipitações de origem orográfica, precipitações de origem ciclônica, tanto frentes frias de origem polar (sistema atmosférico frontal), com chuvas de longa duração e de baixa a média intensidade, quanto frentes quentes e úmidas oriundas da região equatorial (Amazônia) (MOREIRA, 1999, 2002; VIANELLO; ALVES, 2000).

Na figura 4, é apresentado o mapa de precipitação média anual, estratificado em quatro classes de precipitação, adaptado de Viola et al. (2010), conforme Tabela 2.

Tabela 2 Classes de precipitação média anual e respectivas frequências de ocorrência no Estado de Minas Gerais

Precipitação anual (mm)	Área (%)
< 900	4,69
900 - 1200	33,18
1200 - 1500	43,48
> 1500	18,65

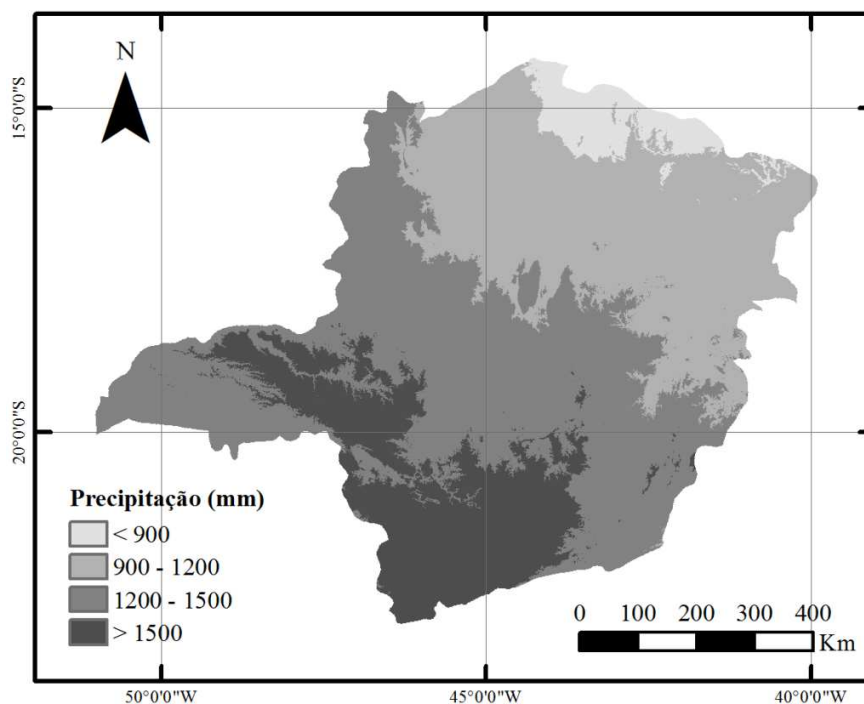


Figura 4 Mapa da distribuição espacial da Precipitação Média Anual do Estado de Minas Gerais

Fonte: Adaptado de Viola et al.(2010)

Da análise do mapa, é possível observar que, no Estado de Minas Gerais, as regiões com maior concentração da precipitação encontram-se nas porções sul e sudoeste do estado e os menores valores observados situam-se na região norte. O mapa de precipitação média anual permite uma visão geral do processo, apresentando a variação espacial da precipitação média anual no estado.

3.6 Ajustes das Equações de Regionalização

Na engenharia de recursos hídricos, algumas questões referem-se ao conhecimento do grau de associação entre duas ou mais variáveis. Nesses estudos, o primeiro objetivo é o de analisar o comportamento simultâneo das variáveis, tomadas duas a duas. Assim, uma primeira abordagem exploratória é a elaboração de um diagrama de dispersão entre as observações simultâneas das variáveis. O diagrama de dispersão permite visualizar o grau de associação entre as variáveis e a tendência de variação conjunta que apresentam.

Assim, criou-se um gráfico, associando as vazões de referência com a área de drenagem referente a cada estação fluviométrica utilizada no trabalho, no intuito de analisar a dispersão dos dados e ajustar equações, conforme metodologia apresentada por Naghettini e Pinto (2007) e descrita na sequência.

3.6.1 Regressão Linear

O diagrama de dispersão, muitas vezes sugere a existência de uma relação funcional entre duas variáveis. Essa observação introduz o problema de se determinar uma função que exprima esse relacionamento. A análise de regressão é uma técnica estatística cujo escopo é investigar e modelar a relação entre variáveis.

Considerando que exista um relacionamento funcional entre os valores X e Y, responsável pelo diagrama, essa função deverá explicar a parcela significativa da variação de Y com X. Contudo, uma parcela da variação permanece inexplicada e deve ser atribuída ao acaso. Assim, admite-se a existência de uma função que explica, em termos médios, a variação de uma das variáveis com a variação da outra. Os pontos observados apresentarão uma variação em torno da linha da função de regressão, em decorrência da existência de uma variação aleatória. Portanto, essa equação de regressão fornece o valor médio de uma das variáveis em função da outra. A forma da linha de regressão fica aparente na própria análise do diagrama de dispersão.

Admitindo ser uma reta a linha de regressão, a função entre X e Y é a seguinte:

$$Y_i = a + b \cdot X_i \quad (1)$$

Em que:

Y: valor estimado da variável dependente;

X: valor observado da variável independente;

a e b: são os coeficientes de ajuste da equação.

3.6.2 Intervalos de confiança para os coeficientes da regressão linear

O modelo de regressão linear será perfeito, se todos os pontos da amostra utilizados na estimativa dos parâmetros estiverem sobre a reta ajustada. Entretanto, a ocorrência de um modelo perfeito dificilmente será observada. A regressão linear possibilita uma estimativa aproximada de um valor de Y para um dado valor de X. Sendo assim, é importante uma medida da variabilidade dos pontos amostrais acima e abaixo da reta de regressão.

Em decorrência da variabilidade amostral, a reta de regressão obtida da amostra extraída da população é uma das muitas retas possíveis. Os valores calculados para a e b são estimativas pontuais dos parâmetros populacionais.

Os intervalos de confiança para os coeficientes a e b da reta de regressão são estimados por:

$$a - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2} \cdot S_a \leq a \leq a + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2} \cdot S_a \quad (2)$$

$$b - t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2} \cdot S_b \leq b \leq b + t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2} \cdot S_b \quad (3)$$

Em que:

$t_{1-\frac{\alpha}{2}, n-2}$: valor do t de Student para $(1-\frac{\alpha}{2})$ e $(n-2)$ graus de liberdade;

a e b : são os estimadores dos parâmetros da reta de regressão;

S_a : desvio-padrão da estimativa do parâmetro a , calculado por:

$$S_a = \sqrt{S_e^2 \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)} \quad (4)$$

S_b : desvio-padrão da estimativa do parâmetro b , calculado por:

$$S_b = \sqrt{\left(\frac{S_e^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right)} \quad (5)$$

No cálculo de S_a e S_b tem-se:

$$S_e = \sqrt{\left(\frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n-2} \right)} \quad (6)$$

Em que:

e_i : diferença entre o valor estimado e observado da variável dependente;

n : tamanho da amostra;

\bar{x} : média da variável independente;

x_i : valor observado da variável independente.

3.6.3 Regressão não-linear com funções linearizáveis

Algumas funções podem ser linearizáveis, mediante o uso de transformações adequadas, permitindo a aplicação da regressão linear. Como exemplo, pode-se citar a função potencial a seguir:

$$Q = a \cdot A_d^b \quad (7)$$

Em que:

Q : vazão;

A_d : área de drenagem;

a e b : são os estimadores dos parâmetros da reta de regressão.

Realizando a transformação logarítmica dessa função, obtém-se:

$$\log(Q) = \log(a) + b \cdot \log(A_d) \quad (8)$$

Alterando as variáveis de forma que $z = \log(Q)$, $k = \log(a)$ e $v = \log(A_d)$, a equação 8 se transforma na equação da reta:

$$z = k + b \cdot v \quad (9)$$

Trabalhando com as variáveis transformadas $z = \log(Q)$ e $v = \log(A_d)$, é possível estimar os parâmetros k e b , a partir do método dos momentos, o qual consiste em minimizar o somatório dos quadrados dos desvios entre o valor observado e o valor estimado. Aplicando o antilogaritmo de k , estima-se o parâmetro a . A estimativa dos parâmetros do modelo de regressão linear é dada a partir dos dados amostrais:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - b \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \bar{y} - b \cdot \bar{x} \quad (10)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \cdot x_i - \sum_{i=1}^n y_i \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2} \quad (11)$$

Em que:

a e b : são os estimadores dos parâmetros da reta de regressão;

x_i : valor observado da variável independente;

y_i : valor observado da variável dependente.

3.6.4 Intervalos de confiança para aplicação da equação de regressão linear

Com as equações de regionalização das vazões em função das áreas de drenagem das bacias hidrográficas e definidos os intervalos de confiança para os coeficientes das equações, calculou-se o intervalo de confiança de área para a aplicação das equações de regionalização, em função da amplitude de variação dos intervalos de confiança dos coeficientes das equações de regionalização. Assim, calculou-se a variação de vazão (vazão inferior e vazão superior) em função dos intervalos de confiança das equações de regionalização (a inferior e a

superior, **b** inferior e **b** superior) para a maior e menor área de drenagem amostrada para cada bacia hidrográfica em estudo. Tendo os intervalos de variação de vazão, fez-se o cálculo inverso, para encontrar o intervalo de confiança de área para a aplicação das equações de regionalização.

3.6.5 Verificação do ajuste das equações de regionalização

Os parâmetros das equações de regionalização das vazões ($Q_{7,10}$; Q_{90} e Q_{MLT}) foram estimados pelo método dos momentos, enquanto a eficiência do ajustamento foi avaliada, aplicando-se o coeficiente de eficiência ajustado (E') (LEGATES; MCCABE JÚNIOR, 1999), dado por:

$$E' = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N |Q_{obs} - Q_{est}|}{\sum_{i=1}^N |Q_{obs} - \bar{Q}_{obs}|} \quad (12)$$

Em que:

Q_{obs} : vazão obtida, a partir da análise da série histórica na estação fluviométrica;

Q_{est} : vazão estimada com base na equação de regionalização;

\bar{Q}_{obs} : corresponde à média da vazão obtida, a partir da análise da série histórica;

N : corresponde ao número de estações fluviométricas utilizadas no estudo.

Na avaliação dos resultados, utilizou-se, além do coeficiente de eficiência ajustado (E'), o coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE) e o índice de confiança (I_c), proposto por Camargo e Sentelhas (1997) e que, segundo Baena (2004), permite analisar, conjuntamente, a precisão e a exatidão dos resultados obtidos, sendo calculado

pelo produto do coeficiente de correlação (r) e do índice de concordância (d), proposto por Willmott (1981), conforme apresentado nas Equações 13 e 14.

$$Ic = r \cdot d \quad (13)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{est} - Q_{obs})^2}{\sum_{i=1}^N (|Q_{est} - \bar{Q}_{obs}| + |Q_{obs} - \bar{Q}_{obs}|)^2} \right] \quad (14)$$

Na tabela 3, são apresentados os critérios de avaliação do desempenho dos modelos para estimativa da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} , quanto ao seu índice de confiança.

Tabela 3 Análise do desempenho do modelo com base no índice de confiança

Valor de Ic	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
≤ 0,40	Péssimo

Fonte: Camargo e Sentelhas (1997).

Segundo Collischonn (2001), o coeficiente COE pode variar, a partir de negativo infinito até 1, sendo 1 um ajuste perfeito. Se o valor de COE é próximo de 1, o modelo apresenta bom ajuste. O desempenho de um modelo é considerado adequado e bom, se o valor de COE supera 0,75, e é considerado aceitável se o valor de COE fica entre 0,36 e 0,75.

3.7 Zoneamento Hidrológico

No processo de zoneamento das variáveis hidrológicas, utilizou-se, como base para a espacialização das informações, o modelo digital de elevação com células de trinta metros (30 m), e as informações foram espacializadas por bacia hidrográfica, sendo que a menor bacia, aquela correspondente à menor área de drenagem constante do intervalo de confiança das equações de regionalização.

A seguir, segue um fluxograma referente ao processo de zoneamento hidrológico, e respectivas ferramentas utilizadas no software ESRI ArcGis 10.1.

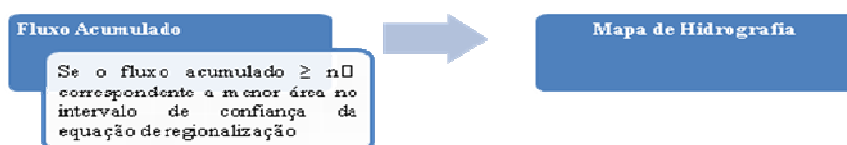
- Ferramentas Spatial Analyst Tools/ Hydrology



- Ferramenta Spatial Analyst Tools/ Map Algebra



- Ferramenta Spatial Analyst Tools/ Map Algebra



- Ferramenta Spatial Analyst Tools/ Map Algebra



- Ferramenta Spatial Analyst Tools/ Map Algebra



3.8 Espacialização do Rendimento Específico

A partir dos modelos ajustados para cada uma das bacias hidrográficas do Estado de Minas Gerais, exceto para as bacias dos Rios Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus que, em função da escassez de dados fluviométricos consistentes, foram agrupadas em uma única região denominada bacia Nordeste, foi feita a espacialização das informações.

De forma a tentar minimizar a influência que o porte da área de drenagem exerce sobre os valores de vazão, a espacialização foi feita sob a forma de rendimento específico (Re), em $L s^{-1} km^2$. Os rendimentos foram estimados em ambiente de sistemas de informações geográficas, tendo sido utilizado o programa computacional ESRI ArcGis 10.1, com a extensão Spatial Analyst.

Para expressar a disponibilidade hídrica, esta foi agrupada, em termos do rendimento específico (Re), em cinco classes que permitem abranger toda a gama de variação dos valores. Adotou-se o critério de classes de rendimento específico (Re) contido no ZEE-MG 2007 (ZONEAMENTO..., 2014), tendo as seguintes classes: $< 1,5$; $1,5$ a $2,5$; $2,5$ a $3,5$; $3,5$ a $5,5$ e $> 5,5 L s^{-1} Km^2$ para o rendimento específico $Re_{7,10}$ e Re_{90} e o critério de classes de rendimento específico (Re) contido em Souza (1993), tendo as seguintes classes: < 2 ; 2 a 10 ; 10 a 20 ; 20 a 30 e $> 30 L s^{-1} Km^2$ para o rendimento Re_{MLT} .

3.9 Interpretação dos Solos do Estado de Minas Gerais sob a forma de Grupos Hidrológicos, prevista no método CN – SCS/USDA-USA

Tendo-se por base o Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2010), apresentado na Figura 5 e sua legenda expandida que descreve as Unidades de Mapeamento contidas no referido mapa, realizou-se uma interpretação das mesmas sob a ótica dos Grupos Hidrológicos, segundo o método CN (Curva Número) desenvolvido pelo Serviço de Conservação do Solo dos Estados Unidos do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (SCS-USDA) que agrupa os solos em quatro categorias (A, B, C e D) correspondentes a graus decrescentes de capacidade de infiltração e, portanto, crescente em geração de escoamento superficial direto.

Nessa atividade, contou-se com a colaboração de um grupo de especialistas¹ em hidrologia do solo. Dessa maneira, foi possível incorporar na interpretação elementos pedológicos e do comportamento hídrico das unidades pedológicas mapeadas.

Essa abordagem é vantajosa, pois não direciona a classificação, tendo por base, principalmente, apenas uma propriedade do solo, como a textura comumente utilizada na classificação hidrológica, como indicadora da capacidade de infiltração do solo, situação que pode ser aplicável para regiões de Clima Temperado, e que deve ser adaptada para as condições dos solos brasileiros que se formaram sob Clima Tropical.

Na figura 5, é apresentado o Mapa de solos do Estado de Minas Gerais, adaptado de Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2010).

¹ Professores: Dr. Carlos Rogério de Mello (DEG-UFLA); Dr. João José Granate de Sá e Melo Marques (DCS-UFLA); Dr. Nilton Curi (DCS-UFLA).

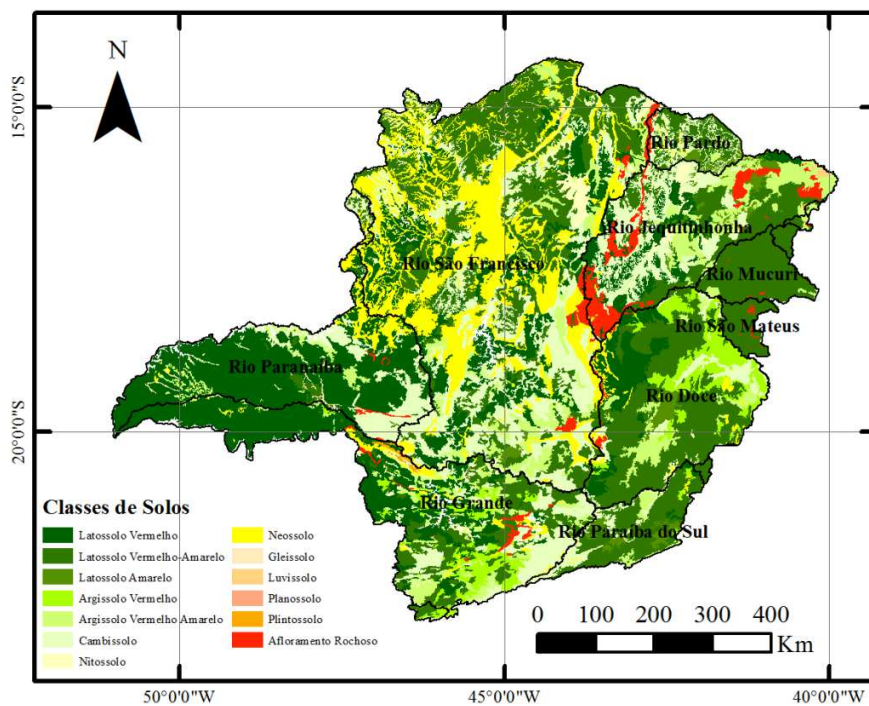


Figura 5 Mapa Pedológico simplificado de Minas Gerais

Fonte: Adaptado de FEAM (2010)

Na tabela 4, é apresentado o percentual das classes de solos presentes no Estado de Minas Gerais, adaptado de Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2010).

Tabela 4 Classes de solos e respectivas frequências de ocorrência no Estado de Minas Gerais

Classes de Solos	Frequência (%)
Latossolo Vermelho	22,76
Latossolo Vermelho-Amarelo	30,05
Latossolo Amarelo	1,64
Argissolo Vermelho	3,55
Argissolo Vermelho Amarelo	7,81
Cambissolo	17,49
Nitossolo	0,99
Neossolo	12,64
Gleissolo	0,40
Luvisolo	0,06
Planossolo	0,01
Plintossolo	0,11
Afloramento Rochoso	2,48

A legenda expandida do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais (FEAM, 2010) contém a descrição de 302 unidades de mapeamento, onde estão relacionadas às classes de solo, a sua participação relativa na unidade de mapeamento, e, de forma sucinta, informações complementares sobre textura e relevo predominante. Na 2ª Tabela, em anexo, segue a listagem das classes de solos presentes na legenda expandida e suas respectivas simbologias.

A associação das classes de solo das unidades de mapeamento aos grupos hidrológicos foi baseada nos critérios descritos na Tabela 5, os quais foram adaptados de Mello e Silva (2013), com a incorporação dos valores de capacidade de infiltração, conforme proposto por McCuen (1998).

Após esse procedimento, cada grupo hidrológico foi representado pelo valor médio do intervalo de capacidade de infiltração correspondente, o qual passou a representar a classe de solo, sendo ponderado pela sua participação

relativa na unidade de mapeamento, de modo a obter-se um valor final ponderado, que foi reinterpretado como o enquadramento da unidade de mapeamento nos grupos hidrológicos.

Tabela 5 Grupos hidrológicos e características do solo

Grupos Hidrológicos	Características do Solo
A	São aqueles que produzem baixo escoamento e alta infiltração, com valores da velocidade de infiltração básica (VIB) maior que $7,62 \text{ mm h}^{-1}$. Tendo em vista a gênese dos solos tropicais e subtropicais, enquadram-se, nesse grupo hidrológico, solos muito profundos ($> 2,0 \text{ m}$), com alta permeabilidade (decorrentes da textura ou estrutura do tipo granular) e baixa erodibilidade. A razão textural entre os horizontes A e B é menor que 1,2 (não há camada natural de impedimento). Os Latossolos Vermelhos e Vermelho-Amarelo podem ser enquadrados neste grupo.
B	Solos menos permeáveis que os da categoria A, portanto, tendem a gerar mais escoamento, com valores de VIB característicos entre $3,81$ e $7,62 \text{ mm h}^{-1}$. Solos profundos ($1,0$ a $2,0 \text{ m}$), com boa permeabilidade, porém menos resistentes à erosão que o grupo A e com razão textural entre 1,2 e 1,5, tais como Argissolos e alguns Latossolos com horizonte A arenoso e B mais adensado, podem ser enquadrados nesse grupo hidrológico.
C	Solos que geram escoamento superficial superior ao solo B, com VIB entre $1,27$ e $3,81 \text{ mm h}^{-1}$, solos profundos a moderadamente profundos ($0,5$ a $2,0 \text{ m}$), com baixa permeabilidade superficial e forte transição textural do horizonte A para o B ($> 1,5$) ou horizonte B incipiente e baixa resistência à erosão, tais como alguns solos com B textural e Cambissolos (B incipiente), são alguns exemplos desse grupo hidrológico.
D	Solos pouco profundos, com baixa capacidade de infiltração e com maior capacidade para geração do escoamento ($\text{VIB} < 1,27 \text{ mm h}^{-1}$). Solos moderadamente profundos a rasos ($0,25$ a $1,0 \text{ m}$), com camada de impedimento próximo ao horizonte A e solos sem horizonte B definido e alta vulnerabilidade à erosão, tais como: os Neossolos Litólicos e alguns Cambissolos, são

exemplos para esse grupo hidrológico.

3.10 Análise do comportamento hidrológico em três UPGRH's

Neste segmento, procurou-se agrupar um conjunto de indicadores que possibilitaram a análise da capacidade de uma região hidrográfica de gerar escoamento superficial (produzir água, deflúvio) e uma sinalização do grau de regularização natural das vazões.

Para esse propósito, utilizaram-se três regiões hidrológicas, representadas por unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos (UPGRH) identificadas a seguir: GD1 – pertencente à bacia do Rio Grande e abrange a região do Alto Rio Grande, no Sul de Minas; SF5 que abrange a bacia do Rio das Velhas e SF10 que abrange a bacia do Rio Verde Grande, ambas pertencentes à bacia hidrográfica do Rio São Francisco, cujas áreas de drenagem são respectivamente: 8781,6; 28005,5 e 26949,1 km². Na Figura 6, é apresentado um mapa de situação, identificando as UPGRH's em comento.

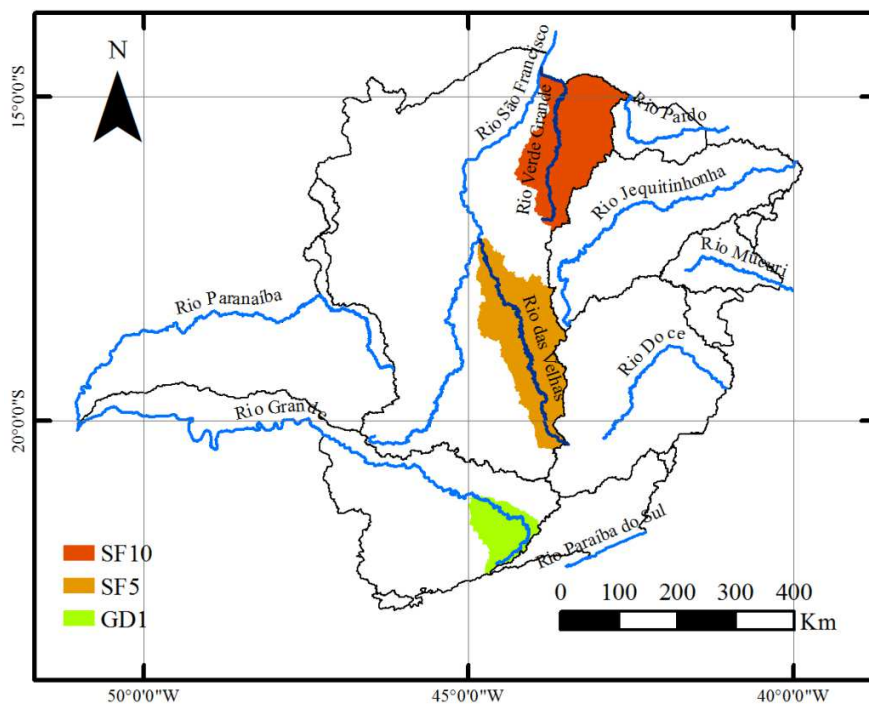


Figura 6 Mapa com a localização espacial das UPGRH's analisadas

O trabalho de Souza (1993), foi referência por muito tempo na estimativa de deflúvios superficiais em Minas Gerais, visando à concessão de Outorga do direito de uso de água, dando, portanto, sustentação numa das atividades mais praticadas na gestão de recursos hídricos. No mesmo, há a sistematização de um índice PDI, que considera a pluviosidade média anual (P) estratificada em 3 níveis (1:<1000mm; 2: entre 1000 e 1500mm; 3:> 1500mm), o relevo (D) também estratificado em 3 níveis de declividade (1:> 20%; 2: entre 8 e 20%; 3:< 8%), e a capacidade de infiltração do solo (I), estratificada em 2 níveis (1: baixa capacidade de infiltração; 2: média e alta capacidade de infiltração). Na figura 7, é apresentado o mapa das tipologias regionais

homogêneas, digitalizado do trabalho Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais (SOUZA,1993).

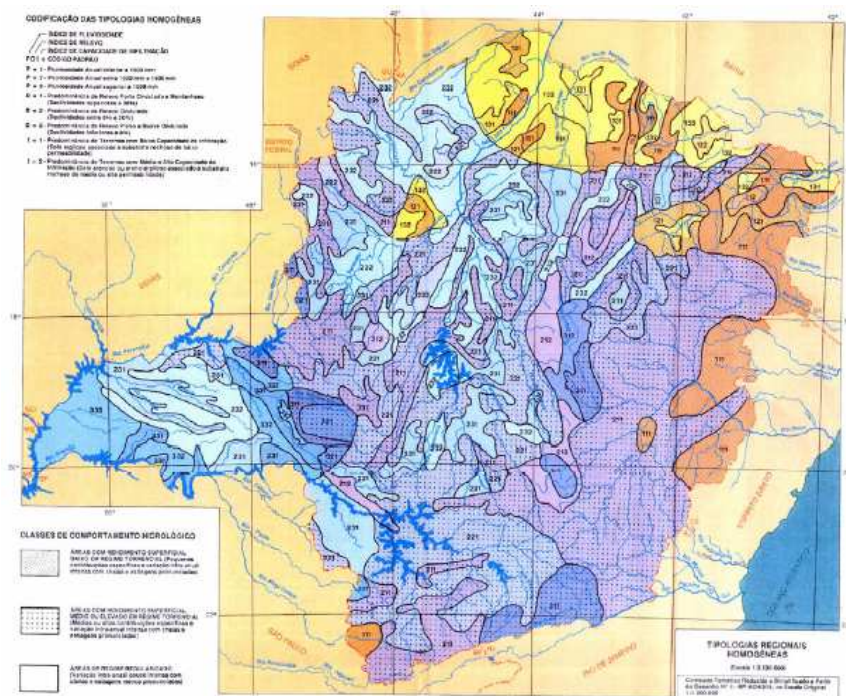


Figura 7 Mapa das tipologias regionais homogêneas, digitalizado do trabalho Deflúvios Superficiais no Estado de Minas Gerais

Segundo esse critério, a tipologia de melhor potencialidade hidrológica corresponde a 332 que associa-se a elevado índice pluviométrico, relevo mais favorável à infiltração e melhor capacidade de infiltração, ou seja, sinaliza regiões com elevados rendimentos específicos. Opostamente, a pior tipologia é a 111, ou seja, baixo índice pluviométrico, relevo montanhoso e baixa capacidade de infiltração, e, portanto, baixos rendimentos específicos.

3.10.1 Análise do regime de escoamento em três UPGRH's

Como uma aplicação para verificação da consistência dos produtos gerados, utilizou-se das informações de três UPGRH's para uma análise qualitativa destas. A UPGRH GD1 (Alto Rio Grande), UPGRH SF5 (Rio das Velhas) e UPGRH SF10 (Rio Verde Grande) e, posteriormente, fez-se uma análise do comportamento do escoamento superficial (índice C) em função dos produtos gerados, conforme Equação 15.

$$C = \frac{\text{Deflúvio Superficial (mm)}}{\text{Precipitação Média em cada UPGRH (mm)}} \quad (15)$$

Em que:

$$\text{Deflúvio Superficial} = 31,536 \cdot Re_{MLT} \quad (16)$$

Sendo:

Re_{MLT} : rendimento específico médio de longo termo ($Ls^{-1}km^{-2}$)

A_d : área de drenagem da UPGRH (km^2).

Para se inferir sobre o grau de regularização do regime de escoamento, foram gerados dois índices $I_{7,10}$ e I_{90} , conforme as equações 17 e 18, respectivamente.

$$I_{7,10} = \frac{Re_{7,10}}{Re_{MLT}} \quad (17)$$

$$I_{90} = \frac{Re_{90}}{Re_{MLT}} \quad (18)$$

Em que todos os rendimentos específicos (Re's) estão em $Ls^{-1} km^{-2}$ e correspondem a:

$Re_{7,10}$: Rendimento específico para a vazão de referência $Q_{7,10}$;

Re_{90} : Rendimento específico para a vazão de referência Q_{90} ;

Re_{MLT} : Rendimento específico para a vazão de referência Q_{MLT} .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Equações de Regionalização

Com vistas à espacialização dos valores de $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} estimados com base no software SisCAH, para todo Estado de Minas Gerais, seguem, na tabela 6, as equações de regionalização com o intervalo de validade de aplicação por área de drenagem.

Tabela 6 Equações de Regionalização das Vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} e Intervalos de área de drenagem para suas aplicações

Bacia	Equação ($L s^{-1}$)	Intervalo da Área para aplicação da equação (Km^2)
Doce	$Q_{7,10}=6,058*Ad^{0,942}$ $Q_{90}=9,932*Ad^{0,932}$ $Q_{MLT}=33,702*Ad^{0,902}$	9 – 115642
Paraíba do Sul	$Q_{7,10}=6,341*Ad^{0,995}$ $Q_{90}=10,395*Ad^{0,981}$ $Q_{MLT}=26,198*Ad^{0,972}$	66 – 11183
Grande	$Q_{7,10}=7,048*Ad^{0,938}$ $Q_{90}=13,898*Ad^{0,911}$ $Q_{MLT}=39,672*Ad^{0,899}$	10 – 619725
Paranaíba	$Q_{7,10}=3,042*Ad^{0,998}$ $Q_{90}=5,337*Ad^{0,999}$ $Q_{MLT}=22,427*Ad^{0,959}$	34 – 71945
São Francisco	$Q_{7,10}=3,099*Ad^{0,968}$ $Q_{90}=6,744*Ad^{0,936}$ $Q_{MLT}=28,896*Ad^{0,911}$	8 – 321586
Rio Pardo, Jequitinhonha,	$Q_{7,10}=1,152*Ad^{0,967}$	77 – 151151

$$\begin{aligned} \text{Mucuri e São Mateus} \quad Q_{90} &= 3,813 * Ad^{0,910} \\ Q_{MLT} &= 8,017 * Ad^{0,988} \end{aligned}$$

Verifica-se que todas as equações de regionalização das vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} apresentaram o valor do expoente superior a 0,899, tendendo a unidade, ou seja, tendendo a uma equação linear.

Na Tabela 7, apresentam-se os coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), coeficientes de determinação (r^2), coeficiente de eficiência ajustado (E'), o índice de confiança (Ic) e o desempenho dos modelos de regionalização de vazões para estimativa da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} nas bacias hidrográficas em estudo.

Tabela 7 Coeficiente de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), coeficiente de determinação (r^2), coeficiente de eficiência ajustado (E'), o índice de confiança (Ic) e o desempenho dos modelos de regionalização de vazões para estimativa da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} nas bacias hidrográficas em estudo

	Rio Doce	Rio Paraíba do Sul	$Q_{7,10}$ Rio Grande	Rio Paranaíba	Rio São Francisco	Rios Nordeste
COE	0,940	0,771	0,607	0,422	0,750	0,969
r^2	0,917	0,855	0,903	0,818	0,892	0,860
E'	0,849	0,621	0,798	0,723	0,723	0,684
Ic	0,975	0,843	0,936	0,921	0,878	0,935
Desempenho	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo

	Rio Doce	Rio Paraíba do Sul	Q_{90} Rio Grande	Rio Paranaíba	Rio São Francisco	Rios Nordeste
COE	0,948	0,872	0,711	0,912	0,850	0,982
r^2	0,931	0,953	0,931	0,897	0,940	0,914
E'	0,860	0,693	0,821	0,833	0,781	0,754
Ic	0,976	0,906	0,948	0,982	0,930	0,967

“Tabela 7, conclusão”

Desempenho	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo
	Rio Doce	Rio Paraíba do Sul	Q_{MLT} Rio Grande	Rio Paranaíba	Rio São Francisco	Rios Nordeste
COE	0,960	0,915	0,962	0,996	0,982	0,985
r²	0,955	0,925	0,949	0,905	0,963	0,903
E'	0,888	0,773	0,997	0,925	0,894	0,808
Ic	0,981	0,935	0,991	0,999	0,988	0,967
Desempenho	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo	Ótimo

Os valores dos coeficientes de eficiência de Nash e Sutcliffe (COE), indicam a acurácia do modelo na estimativa das vazões mínimas, e variaram de 0,422 a 0,996, enquadrando-se nas categorias Aceitável e Adequado e Bom. Dessa forma, como o COE é a estatística de precisão mais aplicada e importante para a simulação hidrológica (VIOLA, 2008), pode-se concluir que os modelos produzirão bons resultados, quando aplicados para estimativa da disponibilidade hídrica, sendo uma ferramenta para o planejamento e a gestão dos recursos hídricos no Estado de Minas Gerais.

Pela análise dos valores do r^2 (Tabela 7), verifica-se que todos os modelos de regionalização apresentaram boa aderência, apresentando valores de r^2 superior a 0,818 e vêm reforçar os resultados anteriores sobre a qualidade do modelo, bem como sua aplicabilidade.

Euclides et al. (2001), na regionalização das vazões mínima e média de longo período para a Bacia do Rio São Francisco, citam que os modelos de vazão propostos podem ser considerados excelentes do ponto de vista dos coeficientes de ajustamento.

Apesar dos modelos terem apresentado valores de r^2 próximos à unidade, indicando que a variação das vazões pode ser explicada por estes, Legates e McCabe (1999), ao analisarem métodos estatísticos para a avaliação de modelos, afirmam que o coeficiente de determinação não deve ser usado unicamente para a avaliação de modelos, uma vez que altos valores de correlações podem ser obtidos por modelos medianos.

Em relação ao coeficiente de eficiência ajustado (E'), verifica-se, pela Tabela 7, que os valores variaram de 0,621 a 0,997, sendo que o modelo ajustado para Q_{MLT} do Rio Grande apresentou o maior valor de E' , e o modelo ajustado para $Q_{7,10}$ do Rio Paraíba do Sul apresentou o menor valor.

Silva et al. (2006) desenvolveram modelos matemáticos para a regionalização de vazões mínimas diárias e mínimas médias de 7 dias na região do Alto Rio Grande, gerados por regressão múltipla linear, ajustados pelo método dos mínimos quadrados. De acordo com os mesmos autores, os modelos de regionalização produziram bons ajustes estatísticos, demonstrando que os modelos gerados para a regionalização de vazões, podem ser implementados.

Em relação ao coeficiente de eficiência ajustado (E'), o qual varia de $-\infty$ a 1, os maiores valores indicam melhor desempenho e valores negativos indicam que a média dos valores observados é melhor estimador da vazão estudada que o modelo em análise. Dessa forma, pela ausência de valores negativos para esse coeficiente, verifica-se que os modelos de regionalização ajustados são bons estimadores das vazões de referência nas bacias hidrográficas em estudos.

Pela Tabela 7, observa-se que os valores dos índices de confiança (I_c) obtidos variaram de 0,843 a 0,999, sendo o modelo ajustado para Q_{MLT} do Rio Paraíba que apresentou o melhor valor. Assim, no desempenho dos modelos (Tabela 7), conforme a classificação do índice de confiança (I_c), todos foram tidos como “Ótimo”, indicando que os modelos são eficientes na estimativa da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} .

Pela análise das estimativas das vazões de referência $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} , no Estado de Minas Gerais, obtidos pelos modelos de regionalização de vazões, evidenciou-se que o modelo potencial apresentou-se eficiente na estimativa dessas vazões, sendo que sua utilização pode auxiliar a gestão e planejamento de recursos hídricos no Estado de Minas Gerais.

Considerando um modelo potencial $Q = a \cdot A_d^b$, o valor do coeficiente a sinaliza a capacidade de geração do escoamento superficial da unidade de área de drenagem, assim, quanto maior o valor maior será essa propriedade. O valor do coeficiente b sinaliza como essa capacidade varia com o aumento da área de drenagem, assim quanto mais próximo de 1 menor é a amplitude de variação, e, quanto mais afastado de 1 maior será a variação dessa capacidade. Na Tabela 8, estão apresentados os valores dos coeficientes a e b para as bacias hidrográficas em estudo, para as vazões de referência Q_{MLT} , Q_{90} e $Q_{7,10}$.

Tabela 8 Coeficientes a e b para as equações de regionalização da $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} para as bacias hidrográficas em estudo

Bacias Hidrográficas	$Q_{7,10}$		Q_{90}		Q_{MLT}	
	a	b	a	b	a	b
Doce	33,702	0,902	9,932	0,932	6,058	0,942
Paraíba do Sul	26,198	0,972	10,395	0,981	6,341	0,995
Grande	39,672	0,899	13,898	0,911	7,048	0,938
Paranaíba	22,427	0,959	5,337	0,999	3,042	0,998
São Francisco	28,896	0,911	6,744	0,936	3,099	0,968
Rio Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus	8,017	0,988	3,813	0,910	1,152	0,860

A análise dos valores do coeficiente a para as diferentes regiões hidrográficas, evidencia a variabilidade na capacidade de gerar escoamento, onde se constata a maior capacidade da bacia do Rio Grande que cobre o Sul e o Sudoeste de Minas e a menor capacidade das bacias do Nordeste do Estado de Minas Gerais, expressão clara da influência do clima, conforme figura 8, que apresenta a classificação climática do Estado de Minas Gerais, tendo como base um balanço hídrico climático (ZEE-MG, 2008).

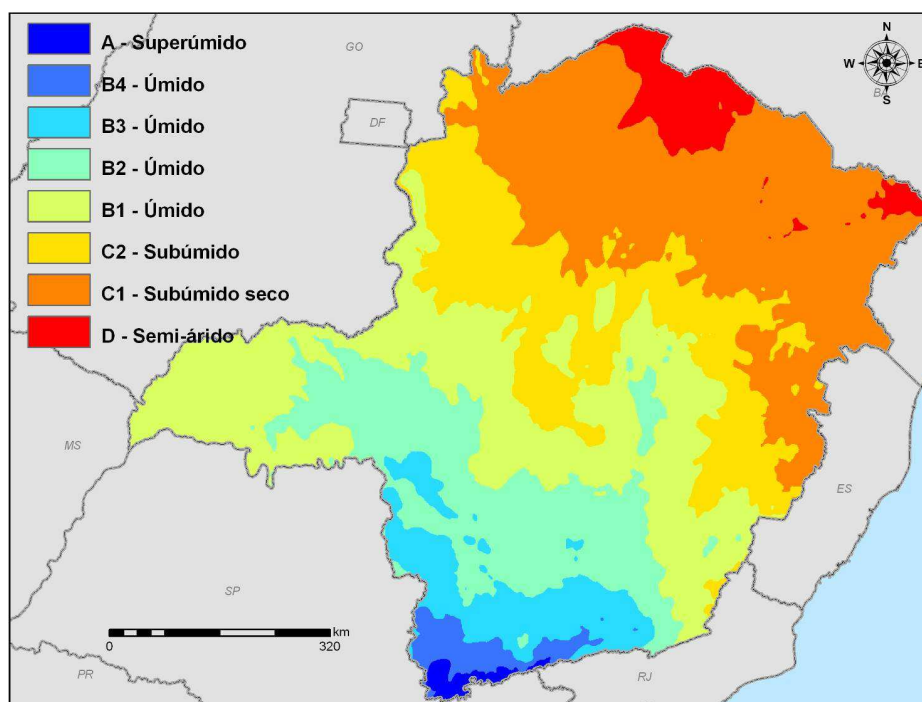


Figura 8 Balanço hídrico climático

Fonte: Zoneamento Ecológico Econômico de Minas Gerais (2008)

Ao se cotejar os valores do coeficiente a das vazões de referência Q_{90} e $Q_{7,10}$ com a Q_{MLT} (Tabela 9) pode-se inferir sobre a redução relativa da

capacidade de gerar escoamento da unidade de área de drenagem. Observa-se, pela tabela 9, que o Rio Paraíba do Sul apresenta os melhores índices, o que, provavelmente, está associado às condições climáticas mais favoráveis e à menor variabilidade espacial, em razão de seu pequeno porte. O Rio Grande segue o mesmo comportamento do Paraíba do Sul, e os Rios do Nordeste apresentam uma singularidade, um maior índice para situação Q_{90} , sinalizando um regime mais regularizado até esse nível, porém uma acentuada queda quando se estende a análise para $Q_{7,10}$. Há que se considerar que, naturalmente, essa região tem menor capacidade de gerar deflúvio superficial e a amplitude de variação está numa faixa bem mais reduzida do que as constatadas para as regiões mais úmidas. Os índices para a bacia do Rio São Francisco mostram os menores valores, refletindo um menor grau de regularização, que pode estar associado entre outros fatores a uma acentuada variação climática espacial ao longo de sua extensão. Não se pode deixar de considerar a presença de reservatórios destinados a geração de hidroenergia como fator que influencia no regime de escoamento, sobretudo os de grande porte.

Tabela 9 Relação entre os coeficiente a das vazões de referência Q_{90} e $Q_{7,10}$ com a Q_{MLT} para as bacias hidrográficas estudadas

Bacias Hidrográficas	a_{90}/a_{MLT}	$a_{7,10}/a_{MLT}$
Doce	0,295	0,180
Paraíba do Sul	0,397	0,242
Grande	0,350	0,178
Paranaíba	0,238	0,136
São Francisco	0,233	0,107
Rio Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus	0,475	0,144

A análise dos valores dos coeficientes b (tabela 08) para as diferentes regiões hidrográficas, tomando-se como referência a Q_{MLT} evidencia que a bacia

do Rio Grande apresenta o menor valor, e, portanto, maior variação na sua capacidade unitária de gerar deflúvio, na medida em que se aumenta a área de drenagem. Essa condição pode se associar ao grande porte de área dessa bacia, que, naturalmente, traz no seu bojo, uma maior variabilidade climática bem como de seus recursos físicos naturais. Por outro lado, as bacias da região nordeste do Estado de Minas Gerais apresentam o parâmetro b com valor maior o que implica numa menor variação da capacidade de gerar deflúvio superficial independentemente do porte da área de drenagem.

Quando a análise dos valores do coeficiente b é feita tendo como referência a $Q_{7,10}$, constata-se que apenas as bacias das regiões Norte e Nordeste apresentam os menores valores que traduzem uma maior variação da capacidade da unidade de área de drenagem gerar deflúvio superficial, com o aumento da área. Essa condição está associada ao Clima da região que não apresenta excedentes hídricos para sustentar o deflúvio superficial.

4.2 Intervalo de confiança das equações de regionalização

A partir do conjunto de informações vazão de referência e área de drenagem, foram gerados modelos de regionalização, trabalhando com uma relação potencial entre vazão e a área de drenagem. A seguir, são apresentados os gráficos das vazões de referência ($Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT}) versus área de drenagem (km^2) em escala logarítmica e seus respectivos intervalos de confiança.

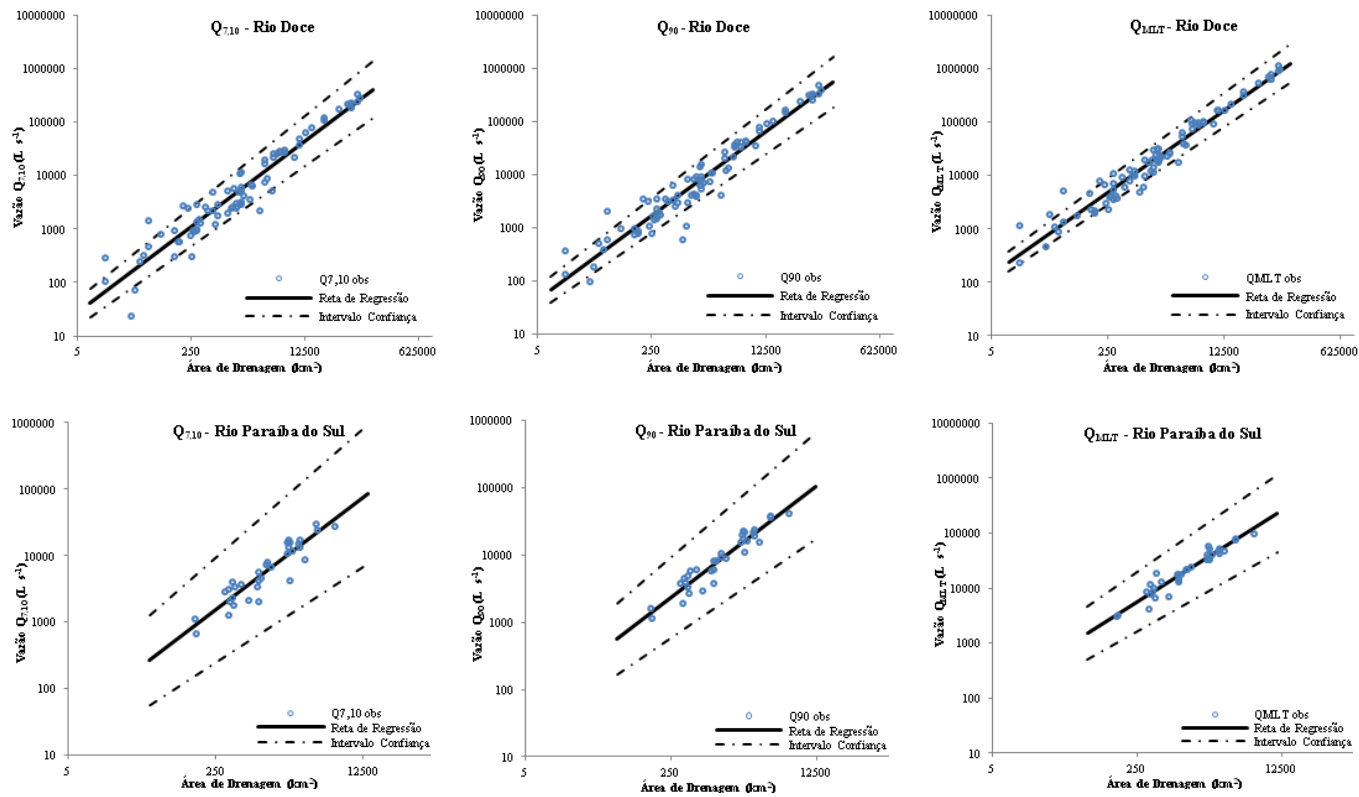


Figura 9 Gráfico vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} para as Bacias hidrográficas do Rio Doce e Rio Paraíba do Sul

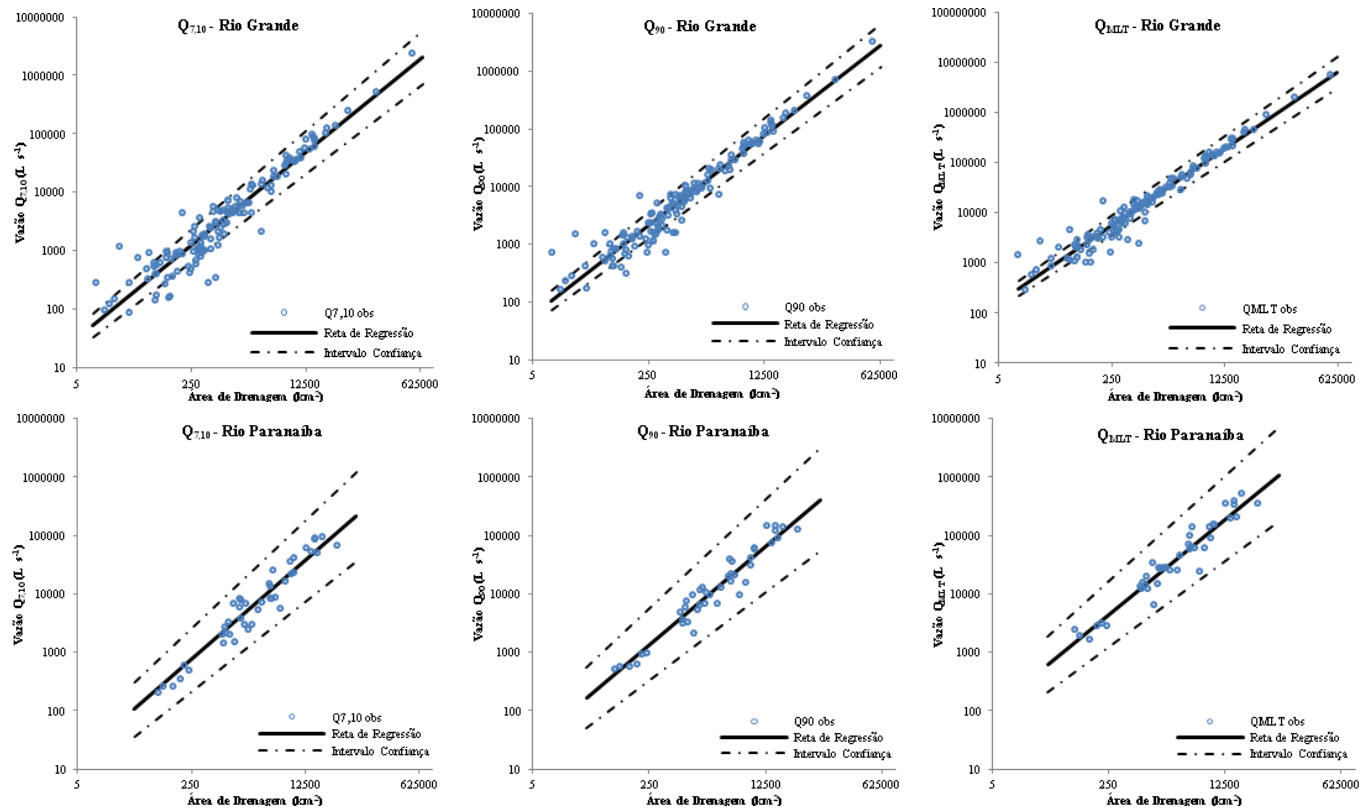


Figura 10 Gráfico vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} para as Bacias Hidrográficas do Rio Grande e Rio Paranaíba

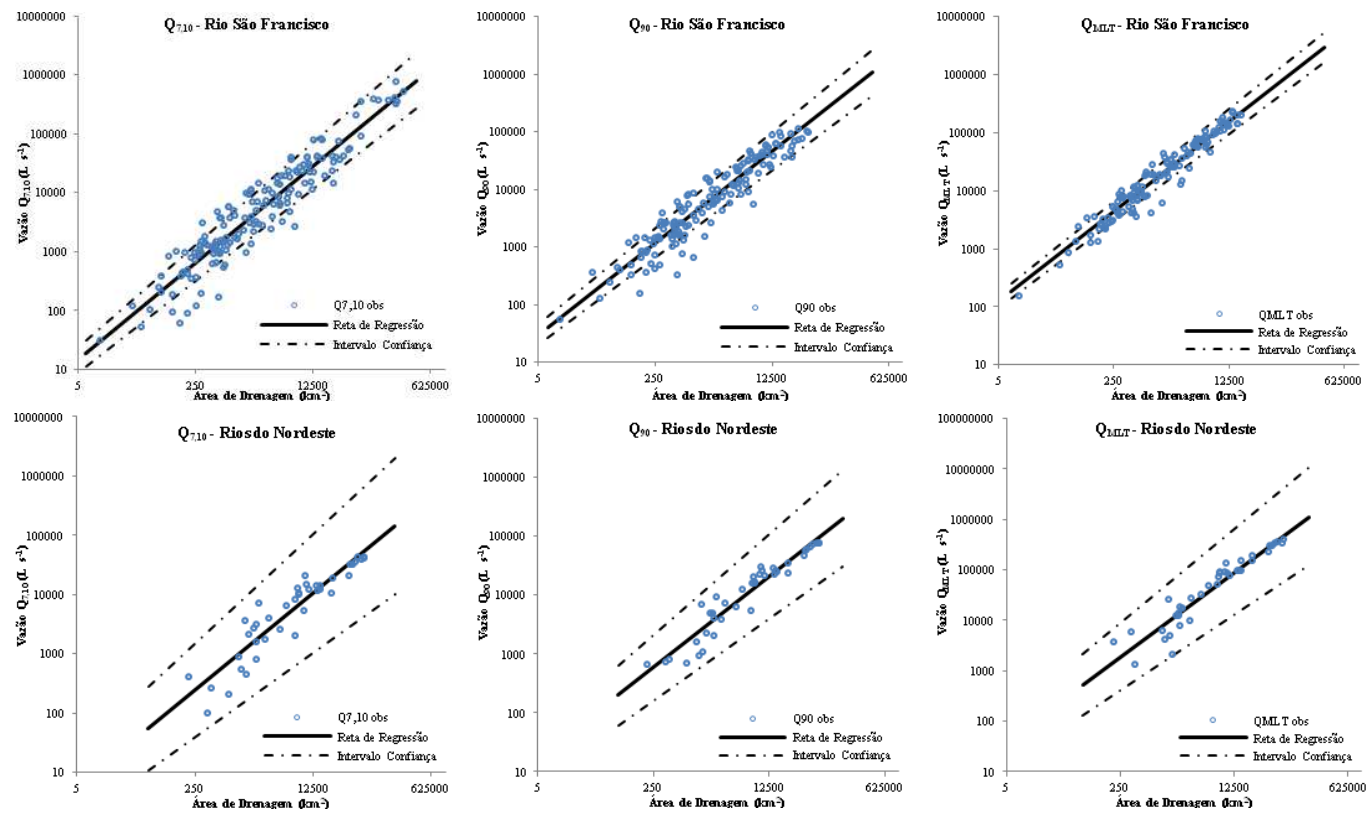


Figura 11 Gráfico vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} para as Bacias Hidrográficas do Rio São Francisco e Rios do Nordeste

Para a bacia hidrográfica do Rio Doce, verifica-se no diagrama que as vazões observadas $Q_{7,10}$, na sua grande maioria, ficaram dentro do intervalo de confiança de ajuste da equação (Figura 9).

Para a vazão Q_{90} , algumas vazões ficaram fora do intervalo de confiança, com tendência a subestimar a equação ajustada. Com relação à vazão Q_{MLT} , pode-se verificar que alguns pontos ficaram fora do intervalo de confiança, com tendência a superestimar o valor de vazão ajustado (Figura 9).

Euclides (2007) cita, no Atlas digital de Minas Gerais, a necessidade de otimização da rede hidrométrica local na bacia do Rio Doce, pelo aumento do número de estações e recuperação daquelas que sejam deficientes. No mesmo documento, o autor destaca a necessidade de disponibilização de séries mais longas das estações e/ou novas estações fluviométricas.

Ribeiro et al. (2005) citam que a grande variabilidade espacial das características físicas e climáticas da bacia do Rio Doce, aliada à escassez de informações da rede hidrométrica para os estudos de planejamento e gerenciamento de recursos hídricos, coloca em evidência os estudos de regionalização de vazões, que por meio de metodologias específicas, otimizam as informações fluviométricas existentes, extrapolando-as por semelhanças das dinâmicas ambientais para os locais que possuem dados insuficientes ou inexistentes.

Para a bacia hidrográfica do Rio Paraíba do Sul, verifica-se que para as vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} todos os pares ordenados ficaram entre as retas referentes aos intervalos de confiança, não tendo, assim, tendência ao modelo ajustado (Figura 9).

Marengo e Alves (2005), em estudos de tendências hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul, salientam que, em geral, as vazões fluviais apresentam grande variabilidade sazonal, entretanto, no Vale do Paraíba, região que usufrui os recursos do rio Paraíba do Sul, as vazões apresentam certa

regularidade, garantida pelos reservatórios de cabeceira (dos rios Paraitinga/Paraibuna e Jaguari). Essa situação é pouco alterada pelos afluentes do Paraíba, a jusante desses reservatórios.

Na bacia hidrográfica do Rio Grande, os intervalos de confiança tiveram menor amplitude, ficando muito próximos ao modelo ajustado. No ajuste das equações para as vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} , verifica-se que houve regiões de sub e superestimativas em relação ao intervalo de confiança (Figura 10).

As bacias brasileiras costumam ter problemas com a disponibilidade temporal e espacial das informações hidrológicas e a bacia do Rio Grande não foge à regra, onde muitas estações fluviométricas não estão mais em operação ou possuem série histórica interrompida, sendo que as estações efetivas estão concentradas, principalmente, na cabeceira da bacia, enquanto que no trecho médio da bacia até a foz do Rio Grande, há pouca ou nenhuma disponibilidade de dados (OLIVEIRA, 2008).

Nesse sentido, com a maior parte dos dados advindos de bacias hidrográficas de cabeceira, nossos resultados apresentaram uma relação com as características fisiográficas de bacia hidrográfica de cabeceira. George (2007) comenta que em bacias hidrográficas com declividades mais acentuadas há uma maior influência topográfica no escoamento, o que, inevitavelmente, produz maior variabilidade das vazões, fazendo com que o intervalo de possíveis valores seja maior.

Na bacia hidrográfica do Rio Paranaíba, verifica-se que todos os dados das vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} observados encontram-se dentro do intervalo de confiança da equação ajustada (Figura 10).

Esses resultados se devem a uma boa rede de estações fluviométricas com dados consistentes e sem falhas para essa bacia hidrográfica. Oliveira (2008) cita que o estabelecimento de uma boa rede hidrológica e a sua manutenção ininterrupta são peças fundamentais na condução de estudos

hidrológicos, já que a precisão das estimativas das variáveis hidrológicas depende da disponibilidade de dados primários confiáveis.

Na bacia hidrográfica do Rio São Francisco, os intervalos de confiança tiveram, assim como na bacia do Rio Grande, menor amplitude para as vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} , ficando muito próximos ao modelo ajustado em relação ao intervalo de confiança (Figura 11).

Oliveira (2008) cita que tanto a rede pluviométrica quanto a fluviométrica brasileira ainda são deficitárias e que a região Sudeste possui a maior densidade de estações fluviométricas do Brasil, mas como mostrado na Figura 1, o norte de Minas Gerais ainda apresenta grandes vazios sem um monitoramento hidrológico adequado, resultando em inconsistência de resultados nas análises de regionalização de vazão.

Nas bacias hidrográficas dos Rios Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus verifica-se que todos os dados observados referente às vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} estão dentro do intervalo de confiança para a equação ajustada (Figura 11).

Os modelos ajustados apresentaram baixa dispersão, o que é reforçado pelos resultados do coeficiente de determinação (r^2). Além desse aspecto, nota-se que o desvio provocado pelo modelo ajustado é de pequena magnitude, verificando-se boa distribuição dos pontos entre os intervalos de confiança, não havendo predominância de pontos acima ou abaixo da reta, especialmente para as bacias dos Rios Paraíba do Sul, Paranaíba, Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus.

4.3 Espacialização do Rendimento Específico

A seguir, são apresentados os produtos referentes à espacialização dos rendimentos específicos referentes a cada vazão de referência estudada.

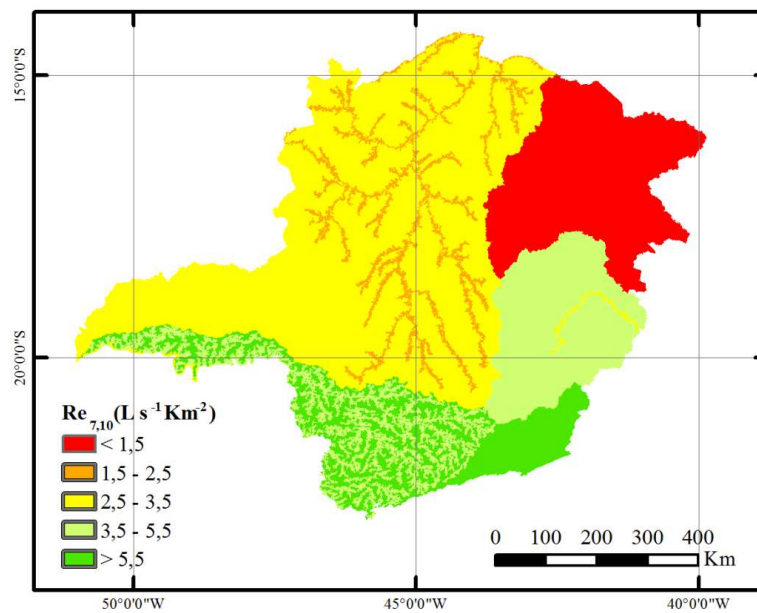


Figura 12 Rendimento Específico $Re_{7,10}$ para o Estado de Minas Gerais

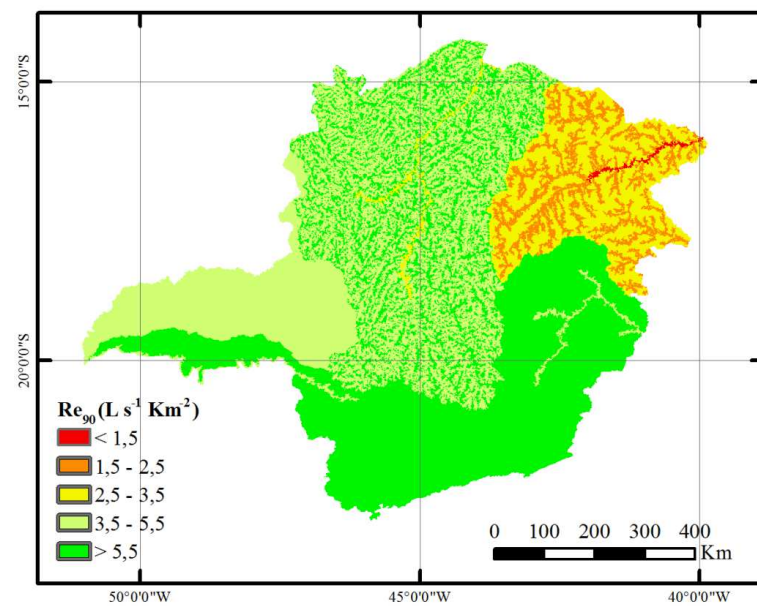


Figura 13 Rendimento Específico Re_{90} para o Estado de Minas Gerais

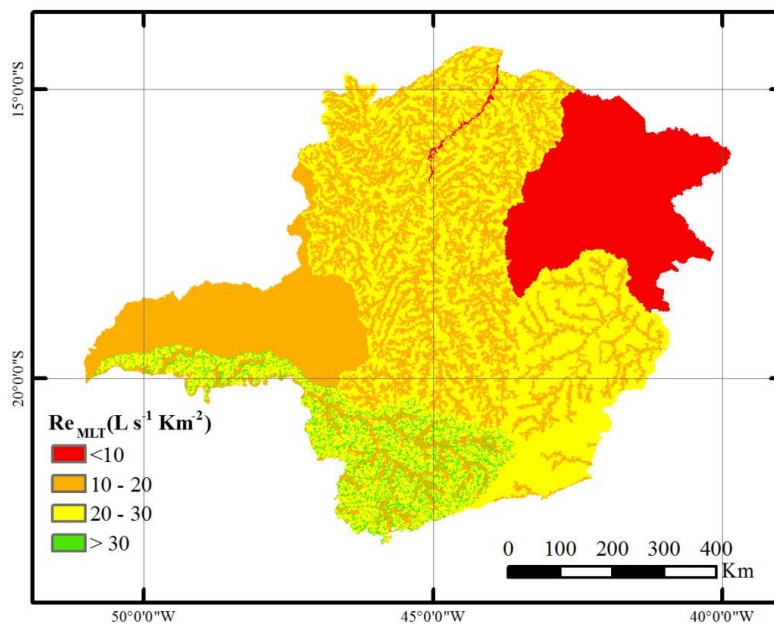


Figura 14 Rendimento Específico Re_{MLT} para o Estado de Minas Gerais

Na Tabela 10, são apresentados os rendimentos específicos para as vazões $Q_{7,10}$, Q_{90} e Q_{MLT} referentes às bacias hidrográficas em estudo. Os valores dos rendimentos específicos apresentados foram retirados do modelo digital de rendimento específico, em que os maiores valores correspondem aos rendimentos observados nas regiões de cabeceira da bacia hidrográfica e o menor valor corresponde ao rendimento observado na região da foz da bacia hidrográfica. As áreas de cabeceira e de foz correspondem aos intervalos de área de drenagem indicados para a aplicação das equações de regionalização.

Tabela 10 Rendimento específico nas regiões de cabeceira e foz das bacias hidrográficas em estudo

Bacias Hidrográficas	Rendimentos Específicos ($L s^{-1} Km^{-2}$)*								
	Re _{7,10}			Re ₉₀			Re _{MLT}		
	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo	Máximo	Médio	Mínimo
Doce	5,39	4,79	3,16	8,62	7,54	4,63	27,20	22,70	11,24
Paraíba do Sul	6,21	6,14	5,96	9,61	9,22	8,23	23,29	21,94	18,58
Grande	6,16	5,43	3,33	11,40	9,59	4,73	31,54	24,72	10,80
Paranaíba	3,02	3,00	2,95	5,32	5,30	5,26	19,46	17,13	12,24
São Francisco	2,92	2,71	2,09	5,96	5,18	3,06	24,05	20,05	9,61
Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus	1,01	0,98	0,80	2,59	2,42	1,40	7,62	7,54	7,02

*média espacial extraída do modelo digital de rendimento específico

O Rio Doce apresentou as seguintes variações de rendimento específico, para o $Re_{7,10}$ variação de 3,16 a 5,39L s⁻¹ Km⁻², Re_{90} variação de 4,63 a 8,62L s⁻¹ Km⁻² e Re_{MLT} variação de 11,24 a 27,10L s⁻¹ Km⁻². A variação dos rendimentos específicos, conforme o Atlas Digital das Águas de Minas, foram as seguintes: para o $Re_{7,10}$ 2,95 a 4,40L s⁻¹ Km⁻² na cabeceira e 1,45 a 2,95L s⁻¹ Km⁻² nas demais regiões, Re_{90} 4,95 a 7,30L s⁻¹ Km⁻² na cabeceira e 2,60 a 4,95L s⁻¹ Km⁻² nas demais regiões e Re_{MLT} 15,45 a 22,15L s⁻¹ Km⁻² na cabeceira e 8,75 a 15,45L s⁻¹ Km⁻² na demais regiões.

Já, no Rio Paraíba do Sul, os rendimentos se apresentam da seguinte forma: $Re_{7,10}$ variação de 5,95 a 6,21L s⁻¹ Km⁻², Re_{90} variação de 8,23 a 9,61L s⁻¹ Km⁻² e o Re_{MLT} variação de 18,58 a 23,29L s⁻¹ Km⁻². Para a bacia do Rio Paraíba do Sul, o Atlas Digital das Águas de Minas apresenta os seguintes rendimentos: $Re_{7,10}$, variando de 5,85 a 7,34L s⁻¹ Km⁻² na cabeceira e 4,40 a 5,85L s⁻¹ Km⁻² na sua foz, Re_{90} , variando de 9,65 a 12,00L s⁻¹ Km⁻² na cabeceira e 7,30 a 9,65L s⁻¹ Km⁻² na sua foz e Re_{MLT} , variando de 15,45 a 22,15L s⁻¹ Km⁻² em toda bacia.

A Bacia do Rio Grande apresenta $Re_{7,10}$, variando de 3,33 a 6,16L s⁻¹ Km⁻², Re_{90} , variando de 4,73 a 11,40L s⁻¹ Km⁻² e Re_{MLT} , variando de 10,80 a 31,54L s⁻¹ Km⁻², apresentando, assim, expressiva disponibilidade hídrica. É possível observar que as regiões de cabeceira da bacia do Rio Grande, com relação ao Re_{MLT} , apresenta rendimento específico menor, se comparado à região da foz do Rio Grande.

Menezes et al. (2009) citam que, na região de cabeceira da Bacia do Rio Grande, predominam solos rasos e pouco profundos (Cambissolos), com pouca capacidade de infiltração de água, gerando valores de rendimento específico menores se comparados à região do baixo Rio Grande com relevo e classes de solos diferentes.

Fernandes et al. (2013) citam a ocorrência de superfícies tabulares onduladas na região da bacia do baixo Rio Grande (Triângulo Mineiro). Os autores

descrevem essa parte da região com superfícies planas, com ocorrência de solos profundos (Latossolos e Neossolos Quartzarênicos), sob vegetação de Cerrado “*stricto sensu*”, constituindo-se como áreas de recarga de aquíferos em meio granular.

O Atlas Digital das Águas de Minas apresenta rendimento específico $Re_{7,10}$, variando de 4,40 a 5,85L s⁻¹ Km⁻² para o alto Rio Grande, 2,95 a 4,40L s⁻¹ Km⁻² para o médio Rio Grande e 1,45 a 2,95L s⁻¹ Km⁻² para o baixo Rio Grande. Para o rendimento específico Re_{90} apresenta variação de 7,30 a 9,65L s⁻¹ Km⁻² para o alto Rio Grande, uma pequena faixa de 2,60 a 4,95 no norte do médio Rio Grande e demais regiões deste e do baixo Rio Grande, variando entre 4,95 e 7,30L s⁻¹ Km⁻². O rendimento específico Re_{MLT} apresenta a seguinte variação na cabeceira do Rio Grande, variação de rendimento específico Re_{MLT} de 22,15 a 28,85L s⁻¹ Km⁻² e, no restante da bacia, variação de 15,45 a 22,15L s⁻¹ Km⁻².

Na Bacia do Rio Paranaíba, o $Re_{7,10}$ encontra-se no intervalo entre 2,95 e 3,02L s⁻¹ Km⁻², o Re_{90} , variando entre 5,26 e 5,32L s⁻¹ Km⁻² e o Re_{MLT} , variando entre 12,24 e 19,46L s⁻¹ Km⁻². Comparativamente, o Atlas Digital das Águas de Minas apresenta as seguintes variações: $Re_{7,10}$ encontra-se no intervalo entre 1,45 a 2,95L s⁻¹ Km⁻², o Re_{90} , variando entre 4,95 a 7,30L s⁻¹ Km⁻² no baixo e médio Paranaíba e 2,60 a 4,95L s⁻¹ Km⁻² no alto Paranaíba. O Re_{MLT} encontra-se variando entre 15,45 e 22,15L s⁻¹ Km⁻².

Na Bacia do Rio São Francisco, os rendimentos específicos variam conforme os seguintes intervalos: para o $Re_{7,10}$ variação de 2,09 a 2,92L s⁻¹ Km⁻², para o Re_{90} variação de 3,06 a 5,96L s⁻¹ Km⁻² e para o Re_{MLT} variação de menos de 9,61 a 24,05L s⁻¹ Km⁻². No Atlas Digital das Águas de Minas, são apresentados os seguintes intervalos de variação dos rendimentos específicos para a bacia do Rio São Francisco: $Re_{7,10}$ variação de 1,45 a 2,95L s⁻¹ Km⁻² no alto São Francisco, 0,02 a 1,45L s⁻¹ Km⁻² no médio São Francisco e 2,95 a 4,40L s⁻¹ Km⁻² no baixo São Francisco. Para o Re_{90} variação de 4,95 a 7,30L s⁻¹ Km⁻² no

alto São Francisco, 0,23 a 2,60L s⁻¹ Km⁻² no médio São Francisco e 2,60 a 4,95L s⁻¹ Km⁻² no baixo São Francisco. O Re_{MLT} variou de 15,45 a 22,15L s⁻¹ Km⁻² no alto São Francisco, 8,75 a 15,45L s⁻¹ Km⁻² no médio São Francisco e 2,04 a 8,75L s⁻¹ Km⁻² no baixo São Francisco.

Nas bacias dos Rios do Nordeste (Rio Pardo, Rio Jequitinhonha, Rio Mucuri e Rio São Mateus) apresentaram os menores rendimentos específicos estando estes nos seguintes intervalos: Re_{7,10}, variando de 0,80 a 1,01L s⁻¹ Km⁻², Re₉₀, variando de 1,40 a 2,59L s⁻¹ Km⁻² e quanto ao Re_{MLT} variação de 7,02 a 7,62L s⁻¹ Km⁻². O Atlas Digital das Águas de Minas traz as seguintes variações de rendimento específico: Re_{7,10} 1,45 a 2,95L s⁻¹ Km⁻² na região do alto e médio Jequitinhonha e 0,02 a 1,45L s⁻¹ Km⁻² nas demais regiões. Para o rendimento específico, Re₉₀ apresenta a seguinte variação 4,95 a 7,30L s⁻¹ Km⁻² na região do alto Jequitinhonha, 2,60 a 4,95L s⁻¹ Km⁻² na região media das bacias e 0,23 a 2,60L s⁻¹ Km⁻² nas demais regiões. E, com relação ao rendimento específico, Re_{MLT} apresenta variação de 22,15 a 28,85L s⁻¹ Km⁻² na região do alto Jequitinhonha e 2,04 a 8,75L s⁻¹ Km⁻² nas demais regiões.

A análise dos rendimentos específicos apresentados na tabela 10 evidencia a redução do rendimento específico com o aumento da área de contribuição. Em um estudo Pruski et al. (2004), evidenciaram o mesmo comportamento para a bacia do São Francisco, ou seja, redução do rendimento específico quando do deslocamento das posições próximas à nascente em direção à foz.

pelos Argissolos. O grupo C é representado, principalmente, pelos Cambissolos e o grupo D pelos Neossolos e afloramentos de rocha.

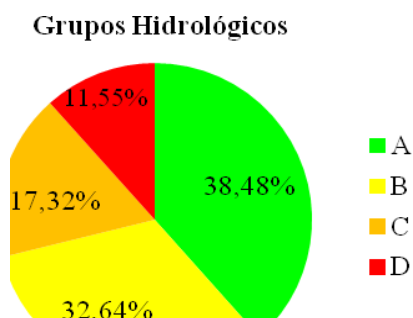


Figura 16 Representatividade percentual dos grupos hidrológicos para o Estado de Minas Gerais

O mapa de Grupos Hidrológicos (GH), para o Estado de Minas Gerais, (Figura 15) mostra que a maior parte do estado pertence ao grupo A (38,48%), seguido pelo grupo B (32,64%). Esses dois grupos são marcados pelo baixo escoamento superficial e elevadas taxas de infiltração de água no solo. Os grupos C e D ocupam 17,32 e 11,55% da área do estado, respectivamente, e são responsáveis pelo maior escoamento superficial, em decorrência das menores taxas de infiltração de água no perfil do solo.

As áreas do Grupo Hidrológico A estão concentradas, principalmente, na região do Triângulo Mineiro (bacias hidrográficas do baixo Rio Grande e Paranaíba), boa parte da região norte e nordeste do estado, abrangendo as bacias dos Rios São Francisco, Pardo, Jequitinhonha, Mucuri e São Mateus.

A Bacia do Rio Grande apresenta um mosaico com os grupos hidrológicos A, B e C. Este último está associado, principalmente, às formações da Serra da Mantiqueira e aos Cambissolos existentes entre os municípios de

Poços de Caldas e Pouso Alegre. O grupo hidrológico B aparece concentrado na porção sul dessa bacia, onde há um domínio de Argissolos sob relevo, ondulado a forte ondulado. Assim, na região do Alto Rio Grande, há predomínio de áreas enquadradas nos Grupos Hidrológicos B e C, em razão da presença de Latossolos Vermelho Amarelo, com estrutura em blocos e Cambissolos, que são solos menos desenvolvidos, ou seja, solos apresentando características que restringem, de certa forma, a infiltração de água no solo (RESENDE et al., 2014).

Na região do baixo Rio Grande, predominam solos do grupo A, a qual apresenta ocorrência de Latossolos Vermelhos, que são solos bem desenvolvidos com estrutura granular (RESENDE et al., 2014), apresentando uma alta taxa de infiltração natural de água no perfil de solo.

No Triângulo Mineiro, está a Bacia do Rio Paranaíba, onde observa-se, na sua parte oeste, um predomínio do Grupo Hidrológico A, em decorrência dos Latossolos Vermelhos oriundos do intemperismo das rochas sedimentares-magmáticas da unidade geológica da Bacia do Paraná (SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL- CPRM, 2010), com ocorrência de faixas de área enquadradas no Grupo Hidrológico C, acompanhando os principais cursos d'água, restringindo a infiltração de água no solo, pela ocorrência de solos de várzea (RESENDE et al., 2014). Já, na porção leste, nas proximidades do município de Araxá, encontra-se uma concentração de solos do grupo hidrológico B, relacionados à presença da unidade pedológica CXbd (Cambissolo Háptico distrófico) sob relevo suave ondulado a ondulado.

Na porção norte da Bacia do Rio Paranaíba, há uma estreita faixa com predomínio de solos do grupo D, associada aos Neossolos Litólicos, relevo forte ondulado a montanhoso.

A declividade do terreno é um atributo topográfico muito utilizado em estudos ambientais, por exercer grande influência sobre o fluxo da água, ou seja,

sobre a velocidade com que se dá o escoamento superficial e sub-superficial (FLAUZINO et al., 2010). Os mesmos autores, em uma caracterização da bacia do Rio Paranaíba, citam que as áreas dentro da bacia encontram-se em terrenos com menos de 8% de declividade, ou seja, 66,63% da área de estudo se localiza em áreas com terreno relativamente plano e pouco acidentado, associadas à ocorrência de solos bem desenvolvidos (Latosolos) que promovem uma maior permeabilidade de água no perfil do solo e, conseqüentemente, um decréscimo na taxa de escoamento superficial.

Na Bacia do Rio São Francisco, concentra-se a maior parte dos solos classificados como Grupo Hidrológico D, em Minas Gerais, o que está relacionado à diversidade litológica encontrada no Cráton do São Francisco. No sul dessa bacia, encontra-se o quadrilátero ferrífero formado por rochas metamórficas diversas e relevo ondulado a montanhoso, dos quais derivam os Neossolos Litólicos e Afloramentos de Rocha. Essas áreas associadas a relevos movimentados e solos pouco desenvolvidos, restringem a taxa de infiltração de água no solo. No oeste, as unidades mapeadas como Grupo Hidrológico D estão relacionadas aos Neossolos Litólicos e Neossolos Quartzarênicos com fase de relevo ondulado e montanhoso.

O relevo acidentado com predominância de solos rasos limita a percolação de água no perfil, ficando esses solos expostos aos efeitos das enxurradas (FERNANDES et al., 2013).

Ao norte da Bacia do São Francisco, há ocorrência do Grupo Hidrológico A, em razão da presença de Latossolos e Neossolos Quartzarênicos nessa região, facilitando a percolação de água no perfil do solo. Fernandes et al. (2013) citam a predominância de Neossolos Flúvicos nas planícies fluviais (ou terraços aluviais mais baixos) nessa parte do estado e são caracterizados na Figura 15, nos Grupos Hidrológicos B e C.

Nas bacias dos Rios do Nordeste (Rio Pardo, Rio Jequitinhonha, Rio Mucuri e Rio São Mateus), há grande heterogeneidade dos grupos hidrológicos. O grupo B aparece concentrado na Bacia do Rio São Mateus, e ao longo do Rio Jequitinhonha. Na cabeceira da bacia desse rio, ocorrem também solos do grupo D, por causa da Serra do Espinhaço, com solos rasos e elevada declividade. Segundo Fernandes et al. (2013), a região do Alto Jequitinhonha apresenta afloramentos rochosos com rampas arenosas associadas com solos orgânicos e vegetação de campo rupestre e campo cerrado. Há predominância de Neossolos Quartzarênicos, que são solos pouco evoluídos, com séria limitação em relação à capacidade de armazenamento de água e, portanto, propensos à geração de escoamento superficial.

Os Rios Doce e Paraíba do Sul apresentam grande concentração de solos do grupo B, fato associado à expressão de Argissolos em relevo ondulado e forte ondulado, típica da parte leste dessas bacias em combinação com os Latossolos Vermelho-Amarelos em relevo montanhoso. Uma característica marcante dessas duas bacias hidrográficas é a ocorrência de enchentes em diversos municípios, sobretudo daqueles localizados em solos do grupo hidrológico B.

O método da Curva Número é um modelo empírico desenvolvido com informações de escoamento de diversas bacias hidrográficas norte-americanas (PONCE; HAWKINS, 1996). A sua adaptação para uso em regiões tropicais requer uma boa calibração para obter resultados consistentes (MELLO; SILVA, 2013). Uma etapa importante da calibração é a classificação do solo em grupos hidrológicos, porém, há grande divergência entre os métodos utilizados nessa classificação que, geralmente, baseiam-se em intervalos de condutividade hidráulica dos solos, capacidade de infiltração ou na textura do solo. Assim, uma metodologia alternativa ou complementar como a apresentada neste trabalho é importante para auxiliar na separação dos grupos hidrológicos.

Nesse sentido, Sartori (2004) propôs uma classificação dos grupos hidrológicos para os solos do Estado de São Paulo, com resultados semelhantes aos encontrados na presente pesquisa e destacou o comportamento diferenciado entre os solos paulistas e os solos para onde sua classificação hidrológica foi desenvolvida. Além disso, o autor supracitado calculou valores de CN para solos argilosos, o que permitiu confirmar essa diferença no comportamento hidrológico e validar a atual proposta de classificação hidrológica dos solos.

A metodologia apresentada não restringe a classificação em apenas uma propriedade do solo, comumente utilizada na classificação hidrológica e abrange o conjunto atual de conhecimento a respeito do comportamento hídrico dos solos, o que permite melhor ajuste dos modelos hidrológicos.

4.5 Análise do regime de escoamento em três UPGRH's

Neste tópico, procurou-se avaliar os resultados gerados, utilizando-se três regiões hidrográficas distintas, para as quais procurou-se identificar a consistência das informações, tomando-se como base as características de precipitação, relevo e solo, na mesma linha adotada por Souza (1993).

Inicialmente, são apresentadas as características do regime pluvial, do relevo e solo e, por último, os rendimentos referenciais para uma análise conjunta dessas informações.

As regiões hidrográficas utilizadas são: a UPGRH GD1 (Bacia hidrográfica do Alto Rio Grande), UPGRH SF5 (Bacia hidrográfica do Rio das Velhas) e UPGRH SF10 (Bacia hidrográfica do Rio Verde Grande).

Ressalta-se que os resultados apresentados seguem o mesmo referencial dos intervalos de classes adotados para o estado como um todo, o que resulta numa abordagem mais geral, porém necessária, para não mudar o referencial que permitirá uma comparação entre as regiões hidrográficas analisadas. Numa

circunstância de análise específica para uma determinada região hidrográfica, pode-se optar por um maior detalhamento da distribuição espacial dos seus atributos.

4.5.1 Regime Pluvial

O regime pluvial das três regiões hidrológicas, aqui representado pela precipitação anual média, pode ser analisado com base nas informações contidas nas Figuras 17, 18 e 19, que permitem visualizar a distribuição espacial e a frequência das classes de precipitação. Conforme já destacado, os intervalos de classe não permitem uma maior diferenciação do regime pluvial dentro de uma mesma região hidrográfica, cada UPGRH tem sua área caracterizada por apenas duas classes de precipitação anual, porém, a análise comparativa permite distingui-las.

Verifica-se, na Figura 17, que a UPGRH GD1 é caracterizada por regime pluvial elevado com uma predominância da classe entre 1200 a 1500 mm, tendo complementarmente, a presença significativa da classe >1500 mm, o que, na média, eleva o seu índice pluvial.

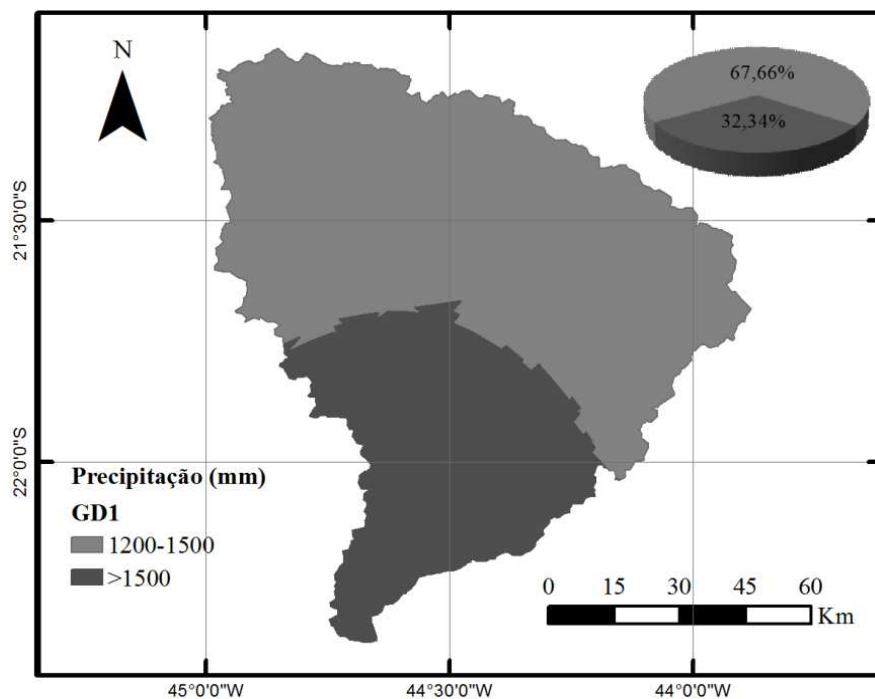


Figura 17 Distribuição espacial das classes de precipitação anual e respectivas frequências (%) para a UGRH GD1

De acordo com a Figura 18, a UGRH SF5 apresenta uma predominância acentuada da classe de precipitação entre 1200-1500 mm.

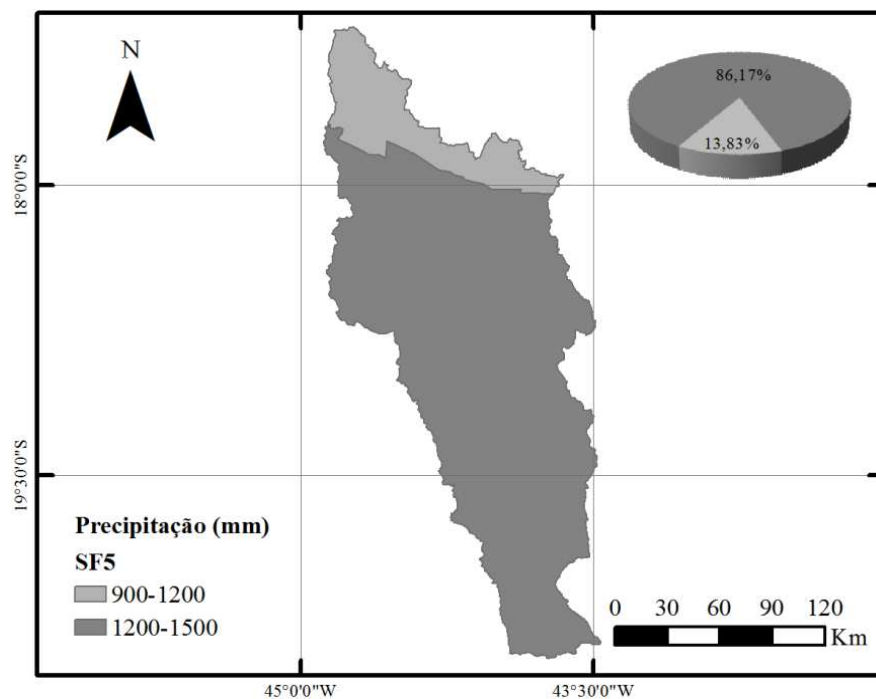


Figura 18 Distribuição espacial das classes de precipitação anual e respectivas frequências (%) para a UPRH SF5

O regime pluvial da UPRH SF10 está caracterizado na Figura 19, onde se verifica elevada frequência na classe de precipitação <900 mm, o que a torna com os menores totais anuais.

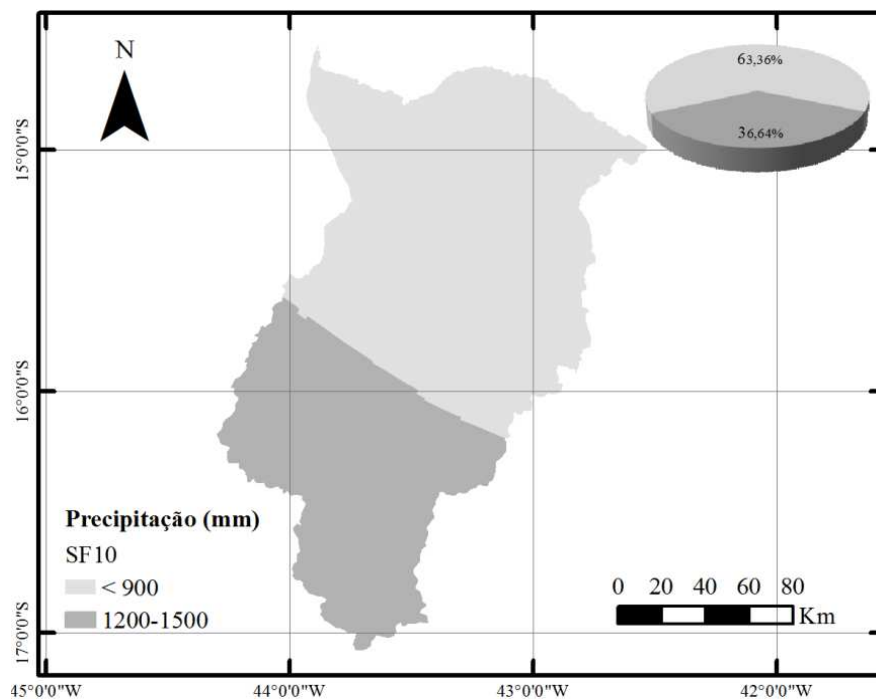


Figura 19 Distribuição espacial das classes de precipitação anual e respectivas frequências (%) para a UPGRH SF10

Essa caracterização permite constatar que as regiões apresentam gradiente decrescente nos seus índices pluviiais, bem evidentes, dentro do seu espaço territorial onde os maiores valores ocorrem nas suas cabeceiras, e entre as regiões, o que sinaliza a potencialidade de diferenciação na capacidade de gerar deflúvio superficial.

De acordo com Euclides e Ferreira (2002), a bacia do Verde Grande se insere em uma área submetida a um regime hidroclimatológico irregular, com ocorrência de estiagens prolongadas e, conseqüentemente, elevada variabilidade anual das disponibilidades hídricas.

4.5.2 Relevo

O relevo das UPGRHs representado por classes de declividades está apresentado nas Figuras 20, 21 e 22.

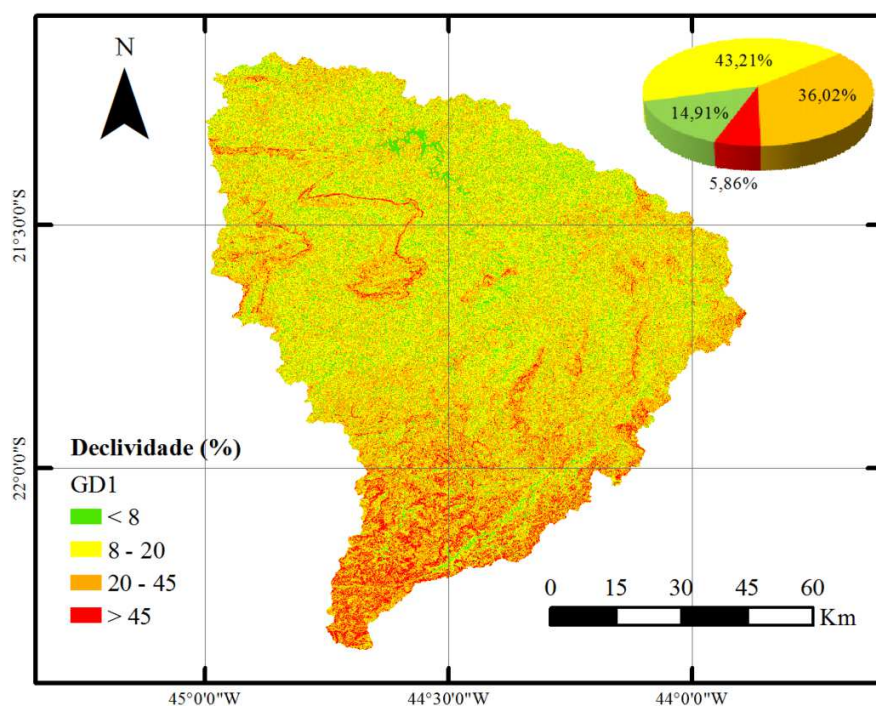


Figura 20 Distribuição espacial das classes de declividade e respectivas frequências (%) para a UPGRH GD1

Observa-se que a UPGRH GD1 apresenta uma participação expressiva de duas classes de declividade, 8 – 20 % e 20 – 45%, o que resulta numa declividade média elevada.

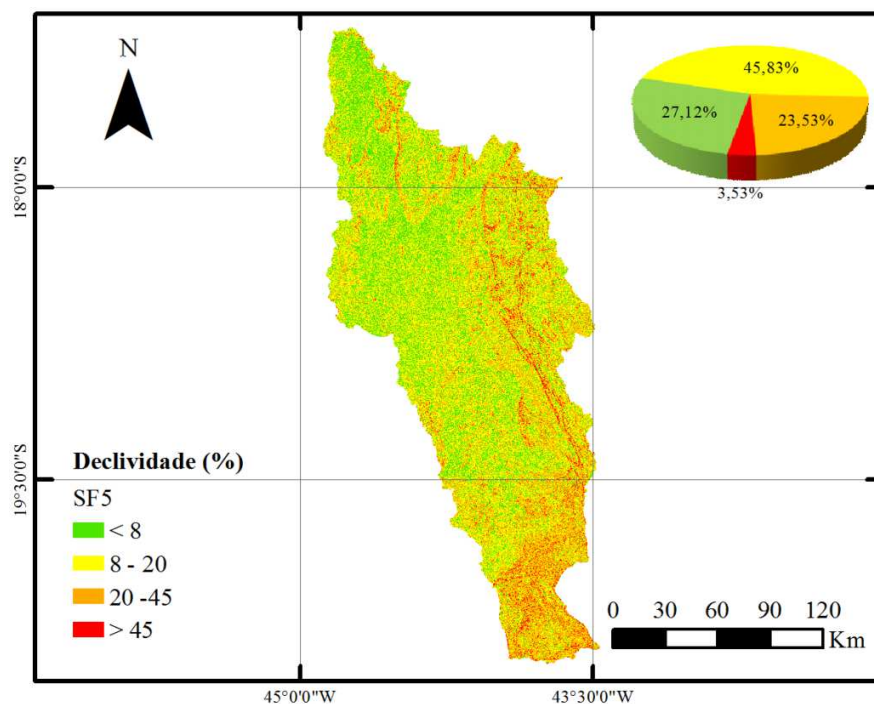


Figura 21 Distribuição espacial das classes de declividade e respectivas frequências (%) para a UPGRH SF5

Verifica-se, pela Figura 21, que os maiores percentuais de declividade se encontram na classe de 8-20%, havendo, entretanto, uma participação significativa e com frequências próximas, de duas outras classes de declividades, uma inferior e outra superior, o que sinaliza um valor médio dentro da classe de maior frequência.

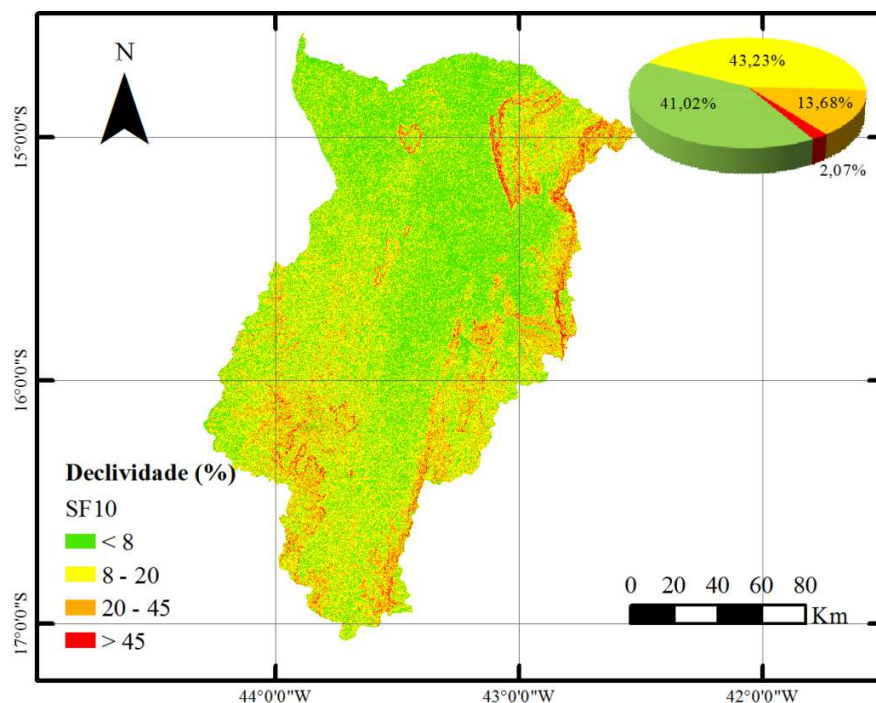


Figura 22 Distribuição espacial das classes de declividade e respectivas frequências (%) para a UPGRH SF10.

Pela Figura 22, constata-se que a UPGRH SF10 apresenta predominância de duas classes de declividades 8 – 20% e < 8% fato que leva a uma declividade média bem inferior as outras UPGRH, o que, de certa forma, contribui para uma menor taxa de escoamento superficial e maior taxa de infiltração de água no solo.

O conjunto de informações sobre o relevo permitiu constatar que a UPGRH GD1 apresenta declividades maiores que as demais e, que também nesse contexto, temos gradientes de declividades dentro das unidades da cabeceira para o exutório, e entre as unidades.

Verifica-se que a UPGRH GD1 apresenta os maiores percentuais de declividade na classe de > 45% em relação as demais UPGRH's. De acordo com

a Figura 20, os maiores percentuais de declividade nessa Bacia Hidrográfica se encontram na parte sul da região onde se encontra a nascente do Rio Grande. Nesse tipo de análise, verifica-se que os maiores percentuais de declividade na UPGRH GD1 potencializam o processo de geração do deflúvio superficial direto.

4.5.3 Solos

Objetivando apresentar uma visualização espacial dos resultados relativos aos solos, procedeu-se a um mapeamento do percentual dos Grupos Hidrológicos para cada UPGRH em análise.

Na Figura 23, é apresentado o mapa da distribuição espacial dos Grupos Hidrológicos e da frequência (%) de suas classes a UPGRH GD1.

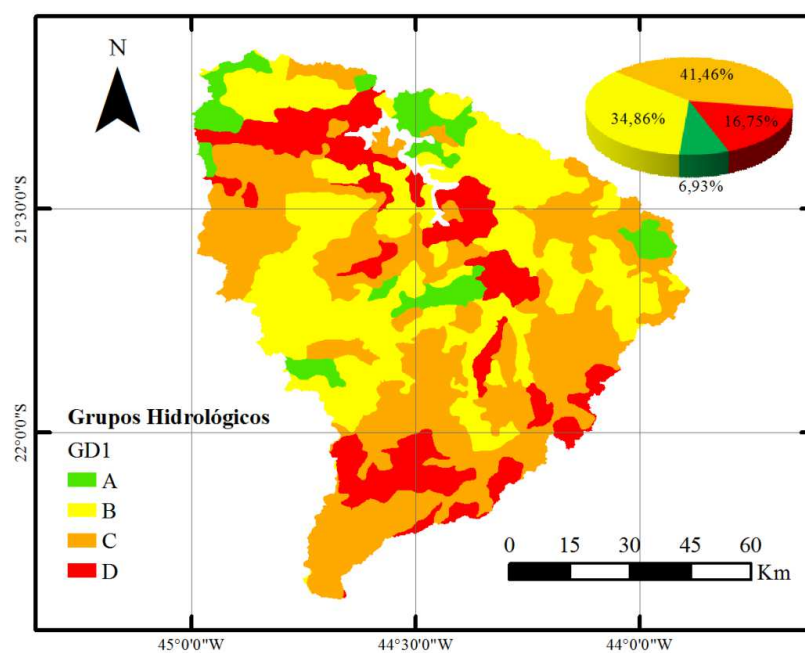


Figura 23 Distribuição espacial e frequência (%) dos Grupos Hidrológicos para a UPGRH GD1

De acordo com a Figura 23, o maior percentual do Grupo Hidrológico C na UPGRH GD1 está associado à Cambissolos que são solos de maior ocorrência nessa UPGRH (ARAÚJO, 2006; BESKOW, 2009).

Alvarenga et al. (2011), em análise da condutividade hidráulica nessa região, verificaram valores elevados de duas regiões distintas dentro da UPGRH GD1, na região da Serra da Mantiqueira e nas áreas de Latossolos na porção mais setentrional da bacia. Os autores destacaram para esse comportamento a hipótese levantada por Menezes et al. (2009), onde na região de relevo mais movimentado dentro da UPGRH GD1 os solos são basicamente Cambissolos, porém apresentam uso do solo predominante em Mata Atlântica, o que proporciona maiores conteúdos de matéria orgânica na superfície do solo, favorecendo o processo de infiltração. Outra hipótese levantada por Gomes et al. (2007), é a de que, na região com relevo menos movimentado e predomínio de Latossolos, estes, por apresentarem características pedológicas importantes no contexto da infiltração de água, especialmente estrutura granular, constituem áreas expressivas para recarga de água subterrânea, no entanto muito suscetível ao manejo do solo.

A presença de planícies fluviais na região é caracterizada pela inexpressiva capacidade de infiltração, em razão da presença de Neossolo Flúvico com a proximidade das camadas desse solo com o lençol freático, há presença de inundações e de encharcamentos nessa classe de solo (FERNANDES et al., 2013).

Há também a presença de terraços fluviais em relevo plano, com predominância de Cambissolos. Como já citado, a supressão da vegetação na presença desse tipo de solo leva à ocorrência de encrostamento (BRANDÃO et

al., 2006) e erosão “voçorocas”, o que limita a infiltração de água no perfil do solo.

Na Figura 24, é apresentado o mapa do percentual dos Grupos Hidrológicos para a UPGRH SF5.

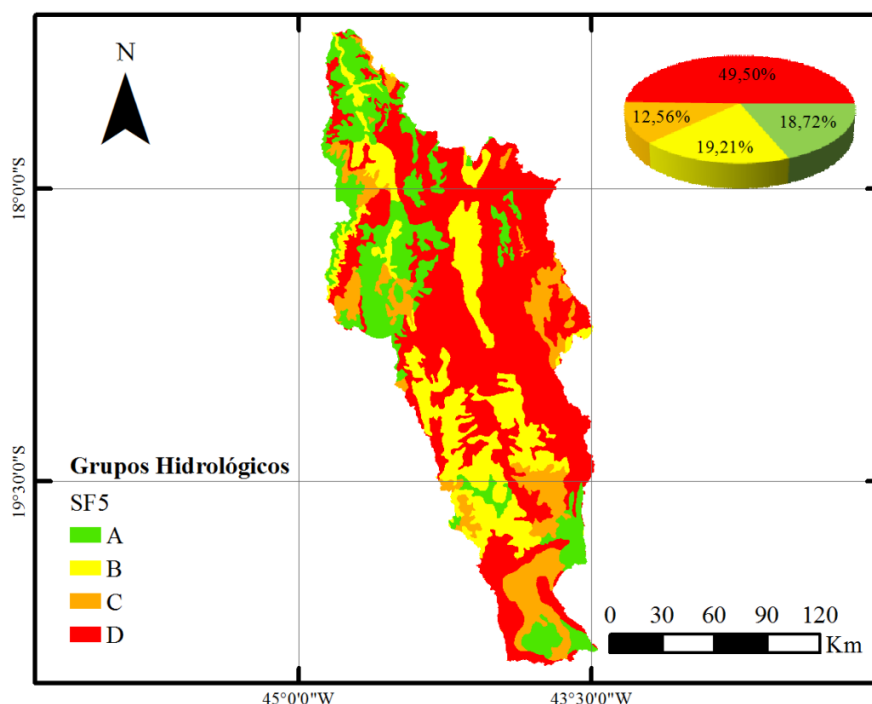


Figura 24 Distribuição espacial e frequência (%) dos Grupos Hidrológicos de solos para a UPGRH SF5

De acordo com a Figura 24, o maior percentual do Grupo Hidrológico D na UPGRH SF5 está associado à Cambissolos que são solos de maior ocorrência nessa UPGRH. Silva et al. (2012), em análise da paisagem nessa região, citam a ocorrência de Cambissolos, Neossolos Litólitos e afloramentos de quartzitos, associados a campos rupestres. Aos xistos, onde se localizam mantos de alteração com maior profundidade, estão associados campo limpo, campo sujo,

além de matas de galeria no entorno dos cursos d'água. Os mesmos autores destacam, ainda, a ocorrência de dolomitos, os quais produzem grande quantidade de material friável, favorecendo o desenvolvimento de um perfil de solo mais espesso, o que permite a instalação de uma vegetação de maior porte (vegetação de Floresta Estacional Semidecidual ou Mata Atlântica) desenvolvida sobre cambissolos, os quais apresentam maior espessura quando comparados aos neossolos litólicos.

Na Figura 25, é apresentado o mapa dos Grupos Hidrológicos para a UPGRH SF10.

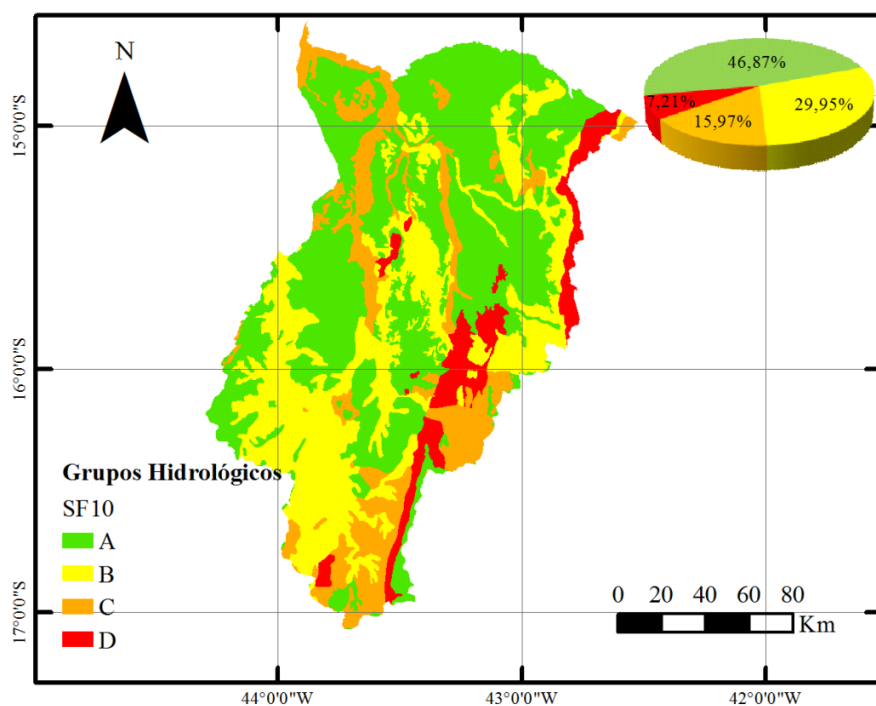


Figura 25 Distribuição espacial e frequência (%) dos Grupos Hidrológicos de solos para UPGRH SF10

De acordo com a Figura 25, o maior percentual do Grupo Hidrológico A na UPGRH SF10 está associado a solos com características de maior permeabilidade como Latossolos e Neossolos Quartzarênicos, portanto são regiões com menor taxa de escoamento superficial.

4.5.4 Análise conjunta dos atributos das UPGRH em associação com os valores de rendimentos específicos e suas relações

Para permitir uma avaliação conjunta, as Tabelas 11, 12 e 13, sintetizam as informações sobre regime pluvial, relevo e solos para as UPGRHs analisadas, e também uma tipologia simbólica, a qual, para cada atributo, assume valores de 1 a 4, sendo 1 a pior situação e 4 a melhor situação no contexto de formação de deflúvio superficial.

Tabela 11 Frequência (%) das classes de precipitação para as três UPGRH's analisadas

UPGRH's	Precipitação (mm)				Média*	Tipologia
	< 900	900 - 1200	1200-1500	>1500		
GD1			67,66	32,34	1491,1	3
SF5		13,83	86,17		1280,9	3
SF10	63,36	36,64			888,1	1

*média espacial extraída do modelo digital de precipitação.

Os valores médios estimados sinalizam a UPGRH GD1 com o maior índice pluvial e, portanto, com maior potencialidade para ter excedente hídrico, para gerar deflúvio superficial e a SF10 com menor potencialidade. Já, no processo de associação com a tipologia, a estratificação das classes, não permitiu diferenciar UPGRH GD1 de SF5, embora seja evidente que as condições são mais favoráveis para a GD1.

Tabela 12 Frequência (%) das classes de declividade para as três UPGRH's analisadas

UPGRH's	Declividade (%)				Média*	Tipologia
	< 8	8 - 20	20 - 45	> 45		
GD1	14,91	43,21	36,02	5,86	20,39	2
SF5	27,12	45,83	23,53	3,53	16,10	3
SF10	41,02	43,23	13,68	2,07	12,48	3

*média espacial extraída do modelo digital de declividade.

Observa-se que a região UPGRH GD1 apresenta relevo mais acidentado, e a UPGRH SF10 o mais plano, no processo de associação com a tipologia não há diferenciação entre SF5 e SF10, embora seja evidente que as condições de relevo são mais favoráveis à última unidade de gestão, no tocante à potencialidade de infiltração.

Tabela 13 Frequência (%) dos Grupos Hidrológicos dos Solos para as três UPGRH's analisadas

UPGRH's	Grupos Hidrológicos				Tipologia
	A	B	C	D	
GD1	6,93	34,86	41,46	16,75	2
SF5	18,72	19,21	12,56	49,50	2
SF10	46,87	29,95	15,97	7,21	3

Nesta síntese, fica evidente que a unidade UPGRH SF10 apresenta maior potencialidade para o processo de infiltração, e a SF5 a menor potencialidade, fato não retratado no processo de associação com a tipologia numérica.

A bacia do Rio das Velhas (UPGRH SF5) apresentou valores intermediários de grupos hidrológicos em relação às demais bacias analisadas. Fernandes et al. (2013) citam a ocorrência de terraços fluviais com presença de Neossolo Quartzarênico nessa região. Segundo os mesmos autores, estas são

áreas com relevo plano e sem risco de inundações e alta permeabilidade do solo, portanto menos propensas ao escoamento superficial direto.

A UPGRH SF5 apresenta o maior percentual representado pelo grupo hidrológico D, seguida da UPGRH GD1, com maiores propensões à ocorrência de escoamento superficial direto. A UPGRH GD1 apresenta os maiores percentuais de enquadramento no grupo hidrológico C, em razão, principalmente, das suas características fisiográficas.

Assim, as três unidades analisadas seriam representadas pelas seguintes tipologias: GD1 (3,2,2); SF5 (3,3,2); SF10 (1,3,3) que, em termos comparativos, podem ser, assim, resumidas:

UPGRH GD1 (3,2,2) - região com elevado índice pluvial, que potencializa a geração de deflúvio superficial, apresentando relevo movimentado, sendo que, embora esteja enquadrado na classes 2, está no limiar da 3, fato a ser considerado num cotejo com outras áreas. Quanto aos solos, o grupo hidrológico 2, resulta de uma participação expressiva de cambissolos que, em geral, por si só, têm menor capacidade de infiltração, porém, como o solo é raso, e há mais facilidade de ocorrer a recarga do lençol superficial, o que se acentua quando associado a um bom manejo e/ou cobertura vegetal sob forma de mata, pode oferecer boas condições para gerar deflúvio superficial.

UPGRH SF5 (3,3,2) - apresenta índice pluvial favorável com menor potencial que o GD1, embora apresente a mesma tipologia. O relevo apresenta-se montanhoso nas cabeceiras, porém há compensação na parte baixa da bacia, o que leva ao enquadramento de relevo menos restritivo. Seus solos apresentam média a baixa capacidade de infiltração, sendo a participação expressiva de Neossolos Litólicos um fator muito desfavorável para a geração de deflúvio superficial com bom grau de regularização.

UPGRH SF10 (1,3,3) – caracteriza-se por um regime pluvial com baixos valores, o que reduz a potencialidade de gerar deflúvio superficial. Por outro

lado, apresenta, tanto pelo relevo como pelos grupos de solo presente, condições favoráveis para gerar deflúvio superficial, e, com bom grau de regularização.

Na Tabela 14, estão apresentados os valores dos rendimentos específicos para as três referências, dos deflúvios e dos coeficientes de escoamento superficial, para as três UPGRH's analisadas.

No intuito de verificar a consistência dos produtos gerados, realizou-se uma análise qualitativa da UPGRH GD1 (Bacia hidrográfica do Alto Rio Grande), UPGRH SF5 (Bacia hidrográfica do Rio das Velhas) e UPGRH SF10 (Bacia hidrográfica do Rio Verde Grande).

Tabela 14 Rendimento específico de referência, deflúvio e coeficiente de escoamento superficial (C) para as três UPGRH's analisadas

UPGRH's	Rendimento ($Ls^{-1}km^{-2}$)			Deflúvio (mm)	C
	Re ₇₋₁₀	Re ₉₀	Re _{MLT}		
GD1	4,08	6,34	15,08	475,6	0,319
SF5	2,23	3,50	11,62	366,4	0,286
SF10	2,08	3,05	9,61	303,1	0,341

A análise dos rendimentos específicos permite constatar que a UPGRH GD1 apresentou os melhores valores para todos os três rendimentos de referências analisadas, seguida da UPGRH SF5 e UPGRH SF10, respectivamente. O mesmo comportamento foi constatado em relação ao deflúvio superficial, fruto, principalmente, dos índices pluviais que seguem essa mesma ordem de grandeza.

Entretanto, a avaliação do coeficiente de escoamento superficial, que representa a capacidade da bacia hidrográfica de transformar precipitação em escoamento, mostra que a região UPGRH SF10 apresenta melhor desempenho. Esse resultado, pode ser respaldado pela diferença desta unidade, em relação às

outras duas, do seu relevo mais suave e pelas características de seus solos mais favoráveis à infiltração.

Silva (2006), em uma caracterização do escoamento superficial na sub-bacia hidrográfica do ribeirão Marcela, Alto Rio Grande, concluiu que a sub-bacia apresentou, ao longo do período de estudo, escoamento subterrâneo de elevada magnitude, mostrando ser a sub-bacia hidrográfica de alto potencial para recarga do aquífero.

Pereira et al. (2007) conduziram um estudo na bacia do Rio São Francisco e mostraram que em algumas sub-bacias, como a do Rio Pandeiros que tem uma precipitação média de aproximadamente 1100 mm, somente 17% da precipitação é convertida em vazão.

Menezes (2011) avaliou o potencial de recarga das águas subterrâneas em duas sub-bacias hidrográficas da região do Alto Rio Grande, uma com predominância de relevo montanhoso e presença de Mata Atlântica e a outra com predominância de um relevo mais suave. Diferentemente do que as características fisiográficas apontavam no contexto do escoamento superficial e recarga de água, o uso do solo e o regime de chuvas teve um papel preponderante no processo de infiltração de água no solo. A autora concluiu que, apesar da sub-bacia com relevo mais suave apresentar características geomorfológicas favoráveis para a infiltração de água, o uso do solo sem técnicas de conservação e manejo adequado e, juntamente, com o regime de precipitação, foram responsáveis pela menor potencialidade de infiltração de água no perfil do solo nessa região, se comparado à sub-bacia em relevo mais movimentado e cobertura do tipo floresta Atlântica.

De acordo com a Tabela 13, a UPGRH SF5 apresenta o maior percentual do Grupo Hidrológico D, seguida da UPGRH GD1, com maiores propensões à ocorrência de escoamento superficial. A UPGRH GD1 apresenta

os maiores percentuais de enquadramento no Grupo Hidrológico C, em razão principalmente, das suas características fisiográficas.

Na Tabela 15, são apresentados resultados dos Indicadores de regularização nas três UPGRH analisadas.

A relação entre a disponibilidade hídrica máxima, representada pelo rendimento específico médio de longo termo (Re_{MLT}) e o rendimento específico mínimo de sete dias de duração e período de retorno de 10 anos ($Re_{7,10}$) ou rendimento específico mínimo esperado em 90% do tempo (Re_{90}), são indicadores do grau de regularização de um curso d'água.

Quanto menor esse índice maior a variação de vazão, durante os períodos de estiagens, com baixa capacidade de regularização.

Tabela 15 Indicador de regularização nas três UPGRH's em análise

UPGRH's	$I_{7,10}$	I_{90}
GD1	0,28	0,43
SF5	0,21	0,31
SF10	0,22	0,32

De acordo com a Tabela 15, a UPGRH GD1 apresentou os maiores valores de $I_{7,10}$ e I_{90} , o que confere a essa UPGRH um melhor grau de regularização dos cursos d'água em relação às demais UPGRH's em análise.

Alvarenga et al. (2012), propondo um índice de qualidade do solo, associado à recarga de água subterrânea na bacia hidrográfica do Alto Rio Grande, concluíram que as áreas, cuja ocupação predominante do solo é de Mata Atlântica, apresentaram valores elevados do índice, evidenciando que os fatores uso e manejo do solo são determinantes para o processo de recarga subterrânea na região da Serra da Mantiqueira. Os autores verificaram, também, que esta região apresentou os maiores valores do índice, apesar de serem as características pedológicas menos favoráveis à infiltração de água do que na

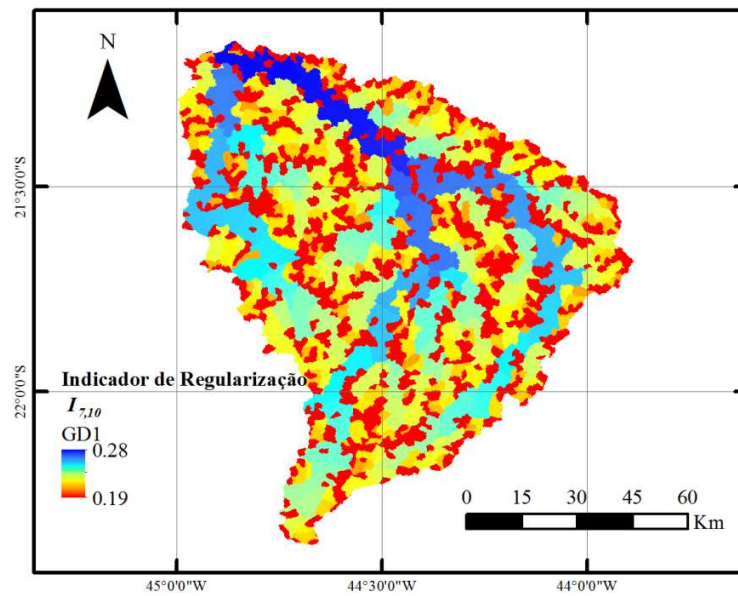
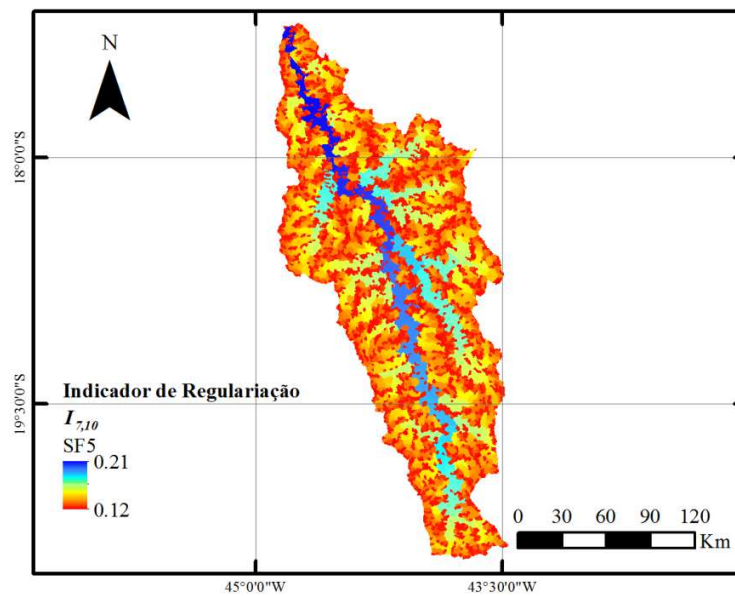
região Campos das Vertentes, uma região com predominância de Latossolos e que, teoricamente, teriam maiores propensões à recarga de água, de acordo com suas características estruturais (FERREIRA; FERNANDES; CURI, 1999; RESENDE et al., 2014).

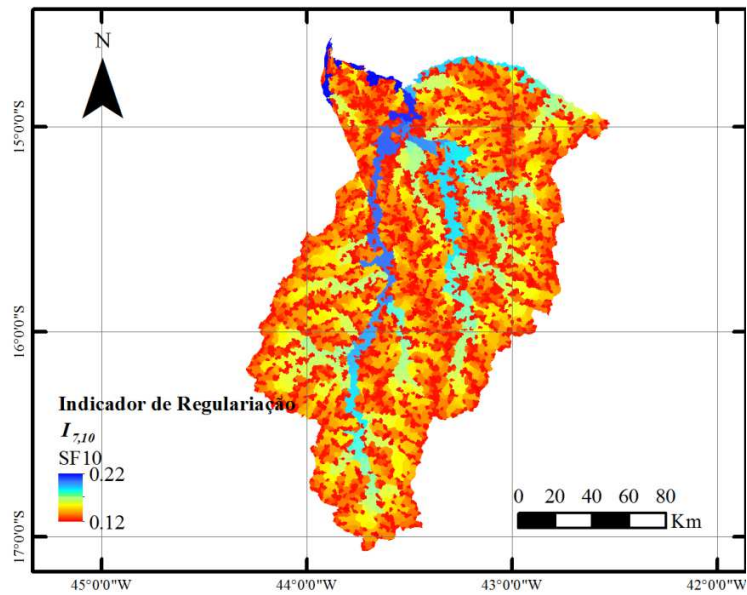
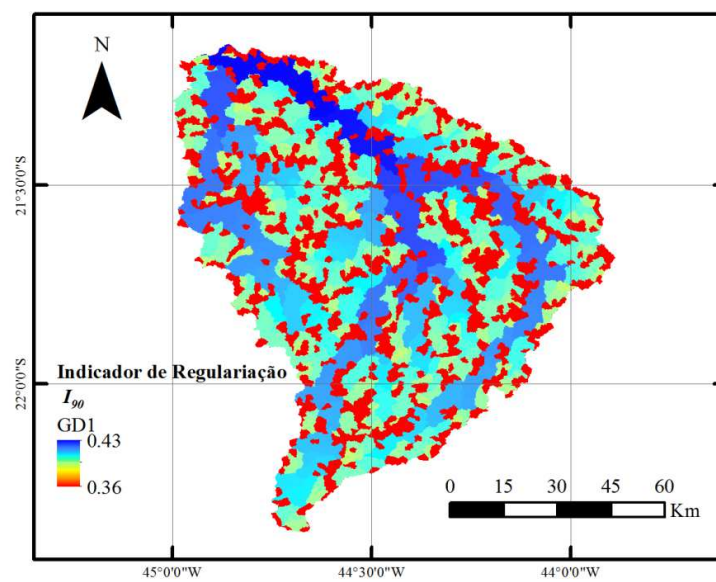
Por outro lado, os menores valores de $I_{7,10}$ e I_{90} foram identificados na UPGRH SF5, consequência provável do seu relevo e natureza de seus solos, além das interferências antrópicas significativas nessa UPGRH.

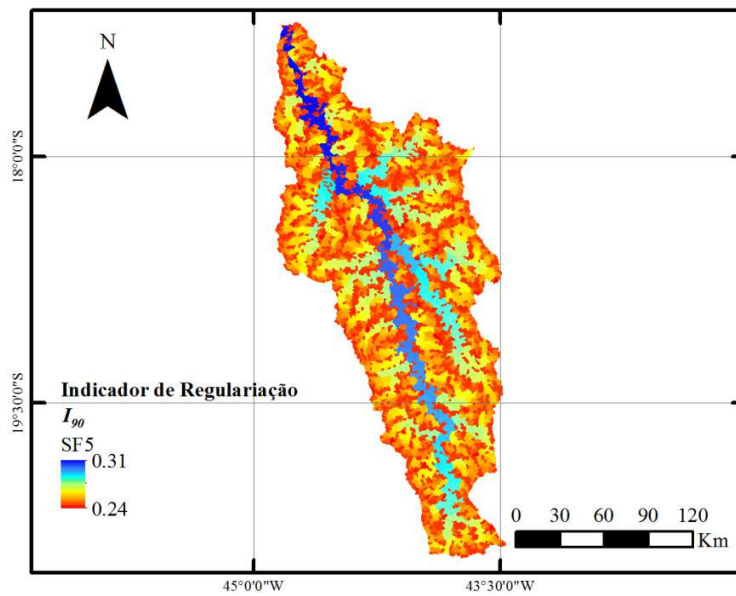
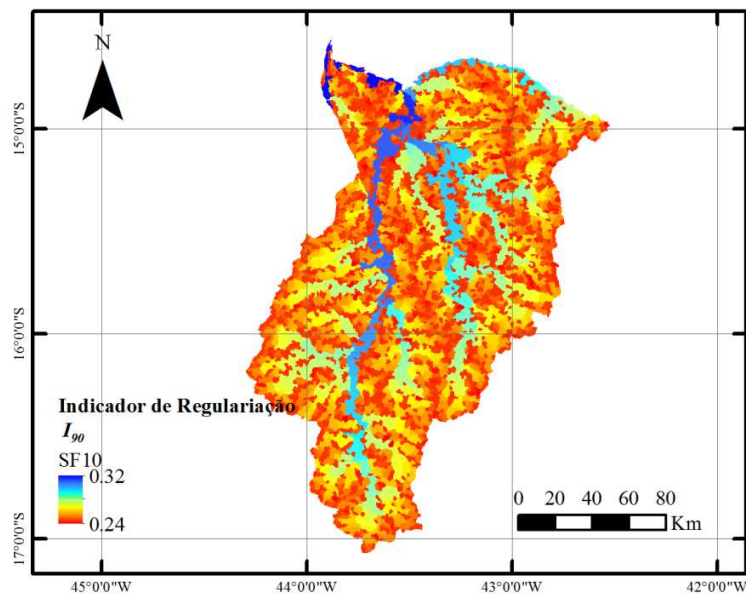
Ressalta-se que os índices para a UPGRH SF10 foram próximos aos encontrados para a UPGRH SF5.

No Atlas Digital das Águas de Minas, Euclides (2008) encontrou baixos índices de vazões mínimas para a sub-bacia do rio Verde Grande. O pesquisador relata que essa região hidrográfica, sofre a influência do aquífero Bambuí, apresentando áreas de intensa exploração de água subterrânea, principalmente para irrigação. No mesmo documento, o autor cita, como exemplo, o ano de 1996, em que no Estado de Minas Gerais, 74% das outorgas concedidas foram para captações subterrâneas, sendo que, aproximadamente 85% dessas tinham por finalidade o uso para irrigação na bacia do rio Verde Grande.

Nas Figuras 26, 27, 28, 29, 30 e 31 estão apresentados os mapas da distribuição espacial dos Indicadores de Regularização $I_{7,10}$ e I_{90} para as três UPGRH's em estudo.

Figura 26 Indicador de Regularização $I_{7,10}$ para UPGRH GD1Figura 27 Indicador de Regularização $I_{7,10}$ para UPGRH SF5

Figura 28 Indicador de Regularização $I_{7,10}$ para UPRH SF10Figura 29 Indicador de Regularização I_{90} para UPRH GD1

Figura 30 Indicador de Regularização I_{90} para UPGRH SF5Figura 31 Indicador de Regularização I_{90} para UPGRH SF10

O comportamento espacial do Indicador de Regularização evidencia o aumento deste com o aumento da área de drenagem.

Em termos de gestão dos recursos hídricos, os órgãos gestores devem estar atentos ao gerenciar esses recursos onde os cursos d'água apresentam menor capacidade de regularização natural, principalmente com relação ao lançamento de efluentes e conservação de ecossistemas.

Nesse sentido, Euclides et al. (2008) recomendam que, em bacias hidrográficas com menor capacidade de regularização natural, que a outorga de uso dos recursos hídricos seja associada à regularização de vazão, por meio da construção de reservatório e sejam adotados critérios de outorga com a utilização de vazões de referência diferenciadas, de acordo com as especificidades de cada bacia hidrográfica.

5 CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido e os resultados obtidos permitem concluir que:

- a) O método dos momentos e o modelo potencial mostraram-se eficientes para ajuste das equações de regionalização de vazões por bacias hidrográficas no Estado de Minas Gerais;
- b) A sistemática de aplicação do processo de espacialização em ambiente SIG mostrou-se de grande potencialidade, permitindo estimativas com elevado grau de precisão dos rendimentos específicos, mesmo para bacias hidrográficas de pequeno porte de área de drenagem;
- c) A interpretação das unidades de mapeamento dos solos, sob a ótica dos Grupos Hidrológicos, segundo metodologia do método CN, porém com a incorporação de elementos pedológicos e do comportamento hídrico das unidades mapeadas, próprios da realidade do clima tropical, mostrou-se promissora como suporte para a compreensão do regime de escoamento das regiões hidrológicas analisadas;
- d) Os índices utilizados para avaliar o grau de regularização do regime de escoamento, permitiram identificar regiões que possam vir a ocasionar potenciais conflitos pelo uso da água em bacias hidrográficas;
- e) A análise dos indicadores do regime hidrológico das três UPGRH's, situadas em ambientes fisiográficos distintos, permitiu verificar a potencialidade dos produtos gerados para subsidiar a gestão e o planejamento dos recursos hídricos.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste trabalho, desenvolveu-se um extensivo e abrangente estudo sobre os deflúvios superficiais de Minas Gerais. Notou-se, na sua apresentação, de forma frequente, a citação de trabalhos já desenvolvidos com o mesmo propósito. O diferencial oferecido, neste trabalho, além da abrangência e atualização das bases de dados empregadas, foi a sistemática empregada no processo de espacialização das informações em ambiente SIG. O produto gerado permite obter informações sobre os Rendimentos Específicos, para pequenas bacias hidrográficas, com elevado grau de precisão, conforme se demonstrou na discussão dos resultados.

Na avaliação do desempenho hídrico das três UPGRHs, ficou-se limitado ao mesmo nível de estratificação dos atributos empregados para o espaço territorial do estado, porém, quando se estiver tratando de uma unidade específica, pode-se detalhar mais, para permitir a identificação das diferenças existentes no seu espaço territorial com maior precisão.

Outro ponto a ressaltar foi o processo de atualização na caracterização do espaço territorial das bacias hidrográficas, seguindo a linha da tipologia, apresentada por Souza (1993), graças aos avanços tecnológicos ocorridos desde então, como também à qualidade da base de dados que sustenta o desenvolvimento do processo, com ênfase para as informações sobre os solos de Minas Gerais, com um nível de detalhamento ainda não empregado em trabalhos dessa abrangência, além da iniciativa de interpretá-los sob a ótica dos Grupos Hidrológicos de Solo.

Espera-se que, na continuidade deste trabalho, sobretudo com a incorporação de sugestões e de correções que venham a ser apresentadas, possa-se também disponibilizar esse produto aos órgãos gestores de recursos hídricos.

REFERÊNCIAS

- ADVANCED SPACEBORNE THERMAL AND REFLECTION RADIOMETER. Disponível em: <<http://asterweb.jpl.nasa.gov/>>. Acesso em: 24maio 2014.
- ALVES, M. C. et al. Variabilidade espacial das variáveis geofísicas nas nascentes da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 12, n. 5, p. 527-535, 2008.
- ANDRADE, M. A.; MELLO, C. R. de; BESKOW, S. Simulação hidrológica em uma bacia hidrográfica representativa dos Latossolos na região Alto Rio Grande, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.17, n. 1, p.69-76, 2013.
- ANTUNES, F.Z. Caracterização climática do Estado de Minas Gerais. **Informe Agropecuária**, Belo Horizonte, v. 12, p. 9-17, 1986.
- ARAÚJO, A. R. de. **Solos da bacia do Alto Rio Grande, MG: base para estudos hidrológicos e aptidão agrícola**. 2006. 345 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2006.
- BAENA, L. G. N. **Modelo para geração de séries sintéticas de dados climáticos**. 2004. 154 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.
- BAENA, L. G. N. et al. Espacialização da Q7,10, Q90% e Q95% visando à gestão dos recursos hídricos: estudo de caso para a bacia do rio Paraíba do Sul. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 12, n. 1, p. 24-31, 2004.
- BARRELLA, W. et al. As relações entre as matas ciliares os rios e os peixes. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: EDUSP, 2001. p. 1-30.

BESKOW, S. **LASH model**: a hydrological simulation toll in gis framework. 2009. 118 f. Thesis (Doctor in Engineering Agricultural) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

BESKOW, S.et al. Performance of a distributed semi-conceptual hydrological model under tropical watershed conditions. **Catena**, Amsterdam, v.86, n. 3, p.160-171, Sept. 2011.

BESKOW, S.; NORTON,L. D.; MELLO, C. R. de. Hydrological prediction in a tropical watershed dominated by Oxisols using a distributed hydrological model. **Water Resources Management**, Oxford, v.27, n. 2, p.341-363, Jan. 2013.

BRASIL. **Lei nº 9.433**, de 8 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. Brasília, 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.htm>. Acesso em: 10 mar. 2014.

BROOKS, K.N. et al. **Hydrology and the management of watersheds**. Ames: Iowa StateUniversity,1991. 391p.

BRUSA,L. C. **Aprimoramento estatístico da regionalização de vazões máximas e médias**: aplicação a bacias hidrográficas do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 2004. 309 p. Tese (Doutorado Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

BURROUGH, P. A.; MCDONNELL, R. A. **Principles of geographical information systems**. New York: Oxford University, 1998. 333 p.

CÂMARA, G.; MEDEIROS, J. S. Princípios básicos em geoprocessamento. In: ASSAD, E. D.; SANO, E. E. (Ed.). **Sistemas de informações geográficas**: aplicações na agricultura. 2.ed. Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1998. p. 3-11.

CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P.C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n. 1, p.89-97, 1997.

CHAVES, M.A. **Modelos digitais de elevação hidrológicamente consistentes para a bacia Amazônica**. 2002. 111 p. Dissertação (Mestrado em Manejo Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2002.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de sistemas ambientais**. São Paulo: E. Blücher, 1999. 236 p.

CHRYSOULAKIS, N. et al. Analysis of ASTER multispectral stereo imagery to produce DEM and Land cover databases for Greek Islands: the REALDEMS project. In: PRASTACOS, P. et al. (Ed.). **Proceedings of e-environment: progress and challenge**. Victoria: American Scientific Research, 2004. p. 411-424.

CLARKE, R. T. Separation of year and site effects by generalized linear models in regionalization of annual floods. **Water Resources Research**, Oxford, v. 37, n. 4, p. 979-986, Apr. 2001.

COLLISCHONN, W. **Simulação hidrológica em grandes bacias**. 2001. 194 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

COUTINHO, B. B. S. **Um modelo digital de terreno baseado em triangulação retangular adaptativa**. Petrópolis: Laboratório Nacional de Computação Científica, 2003. 44 p.

CRUZ, J. C. **Disponibilidade hídrica para outorga: avaliação de aspectos técnicos e conceituais**. 2001. 189 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

EASTMANN, J.R. **Guide to GIS and image processing**. Worcester: Clark University, 1999. 193 p.

EUCLYDES, H.P. (Coord.). **Atlas digital das águas de Minas: uma ferramenta para o planejamento e gestão dos recursos hídricos**. Belo Horizonte: RURALMINAS/UFV, 2004. 78p.

EUCLYDES, H. P. et al. Regionalização hidrológica na bacia do Alto São Francisco a montante da barragem de Três Marias, MG. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 6, n. 2, p. 81-105, 2001.

FAUSTINO, J. **Planificación y gestión de manejo de cuencas**. Turrialba: CATIE, 1996. 90p.

FERNANDES, M. R. et al. **Minas Gerais: caracterização de unidades de paisagem**. Belo Horizonte: EMATER, 2013. 92 p.

FERREIRA, M. M.; FERNANDES, B.; CURI, N. Influência da mineralogia da fração argila nas propriedades físicas de Latossolos da região sudeste do Brasil. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 23, n. 3, p. 515-524, 1999.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicação**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. 160p.

FUCKNER, M. A. **Aplicação de imagens ASTER no estudo do ambiente urbano de São Paulo e Rio de Janeiro**. 2007. 218 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

FUCKNER, M. A.; FLORENZANO, T. G.; MORAES, E. C. Avaliação altimétrica de modelos digitais de elevação extraídos de imagens ASTER em áreas com configuração topográfica distinta. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: INPE, 2009. p. 683-690.

FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte, 2010. 49 p.

GENÚ, A. M. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento na caracterização e avaliação pontual e espacial de solos e seus atributos**. 2006. 120 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2006.

GEORGE, S. St. Streamflow in the Winnipeg River Basin, Canada: trends, extremes and climate Linkages. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v.332, n.3/4, p.396-411, 2007.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2011. p.4003-4010.

LEGATES, D. R.; MCCABE JÚNIOR, G. J. Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. **Water Resources Research**, Oxford, v. 35, n. 1, p.233-241, Jan. 1999.

LEONARDO, H.C.L. **Indicadores de qualidade de solo e água para avaliação do uso sustentável da microbacia hidrográfica do rio Passo CUE, região oeste do Estado do Paraná**. 2003. 121p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2003.

LIMA, A. G. A bacia hidrográfica como recorte de estudos em geografia humana. **Geografia**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 173-183, 2005.

LIMA, W.P.; ZAKIA, M.J.B. Hidrologia de matas ciliares. In: RODRIGUES, R.R.; LEITÃO FILHO, H.F. (Ed.). **Matas ciliares: conservação e recuperação**. 2.ed. São Paulo: EDUSP, 2000. p.33-43.

MAPA de solos do Estado de Minas Gerais. Belo Horizonte: FEAM, 2010. Escala 1:650.000. Disponível em: <file:///C:/Users/M%C3%A1rcio/Downloads/Folha%203.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2014.

MARENGO, J. A.; ALVES, L. M. Tendências hidrológicas da Bacia do Rio Paraíba do Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São José dos Campos, v.20, n.2, p. 215-226, 2005.

MATTOS, L. M. **Uso dos índices AF (*Attenuation factor*) e RF (*Retardation factor*) como metodologia de estudo de contaminação por pesticidas de solo e água subterrânea**. 1998. 189 f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MCCUEN, R. H. *Hydrologic analysis and design*. New Jersey: Prentice Hall, 1989. 867 p.

MCCUEN, R. H. **Hydrologic analysis and design**. 2nd ed. Michigan: Prentice Hall, 1998. 814 p.

MELLO, C. R. de; SILVA, A. M. da. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícola**. Lavras: UFLA, 2013. 455 p.

MELLO, H. A. **Integração entre modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: uma avaliação metodológica**. 2010. 106p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

MENDES, C. A. Integração de modelos hidrológicos e sistemas de informações geográficas: fundamentos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 1, n. 1, p. 47-66, jan./jun. 1996.

MENDES, C. A. B.; CIRILO, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 111 p.

MENEZES, M.D. et al. Dinâmica hidrológica de duas nascentes, associada ao uso do solo, características pedológicas e atributos físico-hídricos na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Lavrinha, Serra da Mantiqueira, MG. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 37, n. 82, p. 175-184, jun. 2009.

MINAS GERAIS. **Resolução Conjunta SEMAD-IGAM nº 1548**, de 29 de março 2012. Dispõe sobre a vazão de referência para o cálculo da disponibilidade hídrica superficial nas bacias hidrográficas do Estado. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <file:///C:/Users/M%C3%A1rcio/Downloads/resolucao%20semad-igam-no-1548-versao-publicada.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2014.

MIRANDA, E. E. de (Coord.). **Brasil em relevo**. Campinas: EMBRAPA Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 10 maio 2014.

MOREIRA, A. A. M. **A influência da circulação de macro-escala sobre o clima de Belo Horizonte**: estudo sobre as possíveis influências do fenômeno El Niño sobre o clima local. 1999. 186 p. Dissertação (Mestrado em Geografia e Análise Ambiental) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 1999.

MOREIRA, J.L. B. **Estudo da distribuição espacial das chuvas em Belo Horizonte e em seu entorno**. 2002. 186 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2002.

MOREIRA, M. C. **Gestão e planejamento dos recursos hídricos**: regionalização de vazões e proposição de índices para identificação de conflitos pelo uso da água. 2010. 85 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2010.

MOSCA, A.A.O. **Caracterização hidrológica de duas microbacias visando a identificação de indicadores hidrológicos para o monitoramento ambiental de manejo de florestas plantadas**. 2003. 96p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

MZUKU, M. et al. Spatial variability of measured soil properties across Site-Specific Management Zones. **Soil Science of American Journal**, Chicago, v. 69, n. 5, p. 1572-1579, Sept. 2005.

NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte:Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, 2007. 561 p.

NOVAES, L. F. et al. Avaliação de desempenho de cinco metodologias de regionalização de vazões. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v.12, n. 2, p.51-61, abr./jun. 2007.

OLIVEIRA, F. A. **Procedimentos para aprimorar a regionalização de vazões: estudo de caso da bacia do Rio Grande**. 2008. 173 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2008.

PETERSEN, G.W.; NIELSEN, G.A.; WILDING, L.P. Geographic information systems and remote sensing in Land resources analysis and management. **Suelo y Planta**, Madrid, v.1, p. 531-543, 1991.

PINTO, L. V. A. et al. Caracterização física da bacia hidrográfica do ribeirão Santa Cruz, Lavras, MG e uso conflitante da terra em suas áreas de preservação permanente. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 49-60, 2005.

PONCE, V. M.; HAWKINS, R. H. Runoff curve number: has it reached maturity? **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v. 1, n. 1, p. 11-19, 1996.

RACOVITEANU, A.E. et al. Evaluating digital elevation models for glaciological applications: an example from Nevado Coropuna, Peruvian Andes. **Global and Planetary Change**, New York, v. 59, n. 1/4, p. 110-125, Oct. 2006.

RESENDE, M. et al. **Pedologia: base para distinção de ambientes**. 6. ed. Lavras: UFLA, 2014. 404 p.

RIBEIRO, C. B. de et al. Estimativa e regionalização de vazões mínimas de referência para a bacia do Rio Doce. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 13, n. 2, p.103-117, 2005.

RODRIGUEZ, R. del G. **Metodologia para estimativa das demandas e das disponibilidades hídricas na bacia do rio Paracatu**. 2004. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2004.

ROSTAGNO, L. S. C. da. **Caracterização de uma paisagem na área de influência do Reservatório da Usina Hidrelétrica do Funil, Ijaci, MG**. 1999. 66 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de plantas) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.

SANTANA, D.P. **Manejo integrado de bacias hidrográficas**. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Documentos, 30).

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. **Geodiversidade do Estado de Minas Gerais**: programa geologia do Brasil: Levantamento da geodiversidade. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/Geodiversidade_MG.pdf>. Acesso em: 10 ago. 2014.

SILVA, A. M. et al. Vazões mínimas e de referência para outorga na região Alto do Rio Grande, Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.10, n. 2, p.374-380, 2006.

SILVA, D. D.; RAMOS, M. M. **Planejamento e gestão integrada dos recursos hídricos**. Brasília: ABEAS; Viçosa, MG: UFV/DEA, 2001. 89 p.

SILVA JÚNIOR, O. B. da et al. Extrapolção espacial na regionalização da vazão. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, Porto Alegre, v. 8, n. 1, p. 21-37, 2003.

SOUSA, D. O.; BAPTISTA, G. M. M. Análise da influência da resolução espacial na determinação das ilhas urbanas de calor em São Paulo, por meio dos sensores ASTER e MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005.p. 4525-4530.

SOUZA, S.M.T. **Deflúvios superficiais no Estado de Minas Gerais**. Belo Horizonte: Hidrossistemas, 1993. 264p.

STEINMAYER, M. Extração de modelos digitais de terreno com o sensor ASTER. **InfoGeo**, Curitiba, ano 5, n. 30, p. 38-39, 2003.

STEVENS, N.F.; GARBEIL, H.; MOUGINIS-MARK, J.P. NASA EOS ASTER: volcanic topographic mapping and capability. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 90, n. 3, p. 405-414, Apr. 2004.

TEIXEIRA, A.L. de A.; MORETTI, E.; CHRISTOFOLETTI, A. **Introdução aos sistemas de informação geográfica**. Rio Claro: Edição do Autor, 1992. 80p.

TEODORO, V.L. I et al. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica local. **Revista UNIARA**, Araraquara, n. 20, p. 137-155, 2007.

TEZA, C. T. V.; BAPTISTA, G. M. M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on-demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005. p. 3911-3918.

TOUTIN, T. ASTER DEMs for geomatic and geoscientific applications: a review. **International Journal of Remote Sensing**, Basingstoke, v. 29, n. 7, p. 1855-1875, 2008.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 1997. 943 p. (Coleção ABRH de Recursos Hídricos, 4).

TUCCI, C. E. M. Introdução à regionalização. In: _____. **Regionalização de vazões**. Porto Alegre: UFRGS, 2002. p. 13-22.

TUCCI, C. E. M. Regionalização de vazões. In: _____. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2.ed. Porto Alegre: UFRGS, 2001. p. 573-620.

VERONEZ, A. H. **Gestão de recursos hídricos na bacia hidrográfica do Ribeirão do Jardim, extremo Nordeste do Estado de São Paulo**. 2005. 66 p. Monografia (Especialização em Gestão e Manejo Ambiental na Agroindústria) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2005.

VEZZA, P. et al. Low flows regionalization in North-Western Italy. **Water Resources Management**, Oxford, v.24, n. 14, p.4049-4074, Nov. 2010.

VIANELLO, R.L.; ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa, MG: UFV, 2000. 448p.

VIOLA, M. R. **Simulação hidrológica na região alto rio Grande a montante do reservatório de Camargos/CEMIG**. 2008. 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

VIOLA, M. R. et al. Applicability of the LASH model for hydrological simulation of the Grande river basin, Brazil. **Journal of Hydrologic Engineering**, Reston, v. 18, n. 12, p. 1639-1652, Dec. 2012.

VIOLA, M. R. et al. Métodos de interpolação espacial para o mapeamento da precipitação pluvial. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, p. 970-978, 2010.

VIOLA, M. R. et al. Modelagem hidrológica na bacia hidrográfica do rio Aiuruoca, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 5, p. 581-590, 2009.

WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, Norwich, v.2, p.184-194, 1981.

ZONEAMENTO ecológico econômico do Estado de Minas Gerais. Disponível em: <<http://www.zee.mg.gov.br/>>. Acesso em: 12 maio 2014.

ANEXOS

ANEXO A – Tabelas

Tabela 1A –16 Estações Fluviométricas e vazões de referências utilizadas no estudo

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 4 (Rio São Francisco)							
40025000	301,0	1,50	2,77	8,55	51	-20,3272	-46,3661
40030000	725,0	5,76	7,76	17,90	14	-20,1000	-46,3167
40032000	754,0	5,93	8,15	19,12	30	-20,1508	-46,3033
40037000	757,0	3,84	5,52	21,28	32	-20,2156	-46,2322
40040000	244,0	0,95	1,48	5,24	40	-20,0958	-46,0642
40043001	502,0	0,97	2,13	11,51	22	-20,2333	-46,0333
40046000	4330,0	19,17	25,70	77,64	14	-20,3500	-45,9667
40050000	5560,0	23,69	32,70	106,40	62	-20,1700	-45,7158
40053000	296,0	0,19	0,50	3,77	37	-20,2369	-45,6606
40056002	481,0	1,13	1,93	6,94	23	-19,9333	-45,9500
40056200	336,0	1,39	2,11	7,39	14	-19,9500	-45,9667
40056500	331,0	1,42	2,62	9,97	19	-19,9667	-45,9833
40060000	560,0	3,82	5,06	12,10	26	-19,8667	-46,0167
40060001	569,0	3,81	5,16	12,09	30	-19,8881	-46,0181
40067000	9120,0	30,26	43,90	160,70	16	-19,9333	-45,5667
40070000	10000,0	40,73	56,20	178,92	28	-19,7761	-45,4792
40080000	650,0	0,59	1,29	9,83	36	-19,6706	-45,6100
40100000	14000,0	42,04	63,40	221,44	46	-19,2786	-45,2858
40102000	14300,0	39,55	62,90	229,76	26	-19,2333	-45,1667
40105000	361,0	1,31	2,62	8,03	23	-20,6833	-44,4167
40130000	1650,0	7,06	10,20	27,09	20	-20,4333	-44,6000
40150000	2500,0	11,06	16,38	36,07	63	-20,1811	-44,7939
40160000	157,0	0,45	0,85	2,73	24	-20,4667	-45,0167
40170000	1040,0	2,04	4,63	14,66	36	-20,2161	-44,9183
40180000	188,0	0,50	0,88	2,60	35	-20,5500	-44,8500
40185000	913,0	4,09	8,63	27,96	32	-20,2358	-44,9275

40190002 1960,0 6,88 10,30 30,30 27 -20,1500 -44,8833
 “Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 4 (Rio São Francisco)							
40269900	338,0	1,83	2,66	4,45	27	-20,0664	-44,5814
40270000	288,0	1,30	2,45	6,58	10	-20,0833	-44,5667
40300000	1490,0	3,09	5,11	19,60	33	-19,7667	-44,8000
40300001	1560,0	3,98	7,60	21,31	24	-19,7436	-44,8183
40330000	7350,0	22,76	36,88	107,09	67	-19,6939	-44,9308
40350000	274,0	0,87	1,43	4,94	39	-20,2667	-45,1500
40380000	1250,0	3,71	5,84	18,11	39	-19,9333	-45,1333
40400000	1820,0	4,90	8,16	25,78	48	-19,7531	-45,1175
40450000	11200,0	22,76	52,91	146,33	67	-19,3000	-45,0667
40500000	769,0	1,40	2,42	8,35	32	-19,3317	-45,2214
40505000	887,0	-5,03	0,67	-4,14	19	-19,3000	-45,1333
40530000	471,0	0,19	0,73	7,30	30	-19,1628	-45,4419
40535000	29400,0	74,87	114,00	408,36	14	-18,8167	-45,2000
40540000	61,6	1,92	2,87	6,62	10	-20,8167	-43,8500
40549998	462,0	1,38	2,62	7,68	22	-20,6039	-43,9086
40570000	77,4	0,21	0,39	1,16	10	-20,6500	-43,8333
40573000	284,0	1,13	1,51	4,21	20	-20,5667	-43,8333
40577000	130,0	1,03	1,43	3,67	23	-20,5333	-43,8000
40579995	569,0	1,59	2,60	8,69	14	-20,5186	-43,8356
40580000	626,0	2,85	4,12	9,78	33	-20,5000	-43,8500
40585000	31,0	0,02	0,10	0,48	22	-20,0833	-43,3833
40665000	293,0	0,95	1,38	4,17	38	-20,6500	-44,0333
40675000	187,0	0,41	0,82	2,18	12	-20,7667	-44,1333
40680000	487,0	1,46	2,77	9,32	65	-20,6603	-44,0719
40700002	1340,0	9,96	15,70	43,03	14	-20,5333	-43,9667
40710000	2770,0	11,44	18,53	52,52	38	-20,4081	-44,0211
40720002	3817,0	14,37	23,10	60,02	28	-20,2000	-44,0167
40740000	4120,0	13,59	21,62	59,54	36	-20,1569	-44,1667
40770000	670,0	1,71	4,67	11,65	18	-20,1500	-44,2500

40790000 187,0 0,09 0,37 2,30 25 -19,9667 -44,2000
 40800001 5690,0 18,55 30,80 86,60 67 -19,9489 -44,3053
 “Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km²)	Q_{7,10}	Q₉₀	Q_{MLT}	N[□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 4 (Rio São Francisco)							
40810350	10,2	0,03	0,06	0,15	19	-20,0942	-44,4936
40810800	54,7	0,10	0,25	0,86	16	-20,0606	-44,4522
40811100	113,0	0,19	0,50	1,71	17	-20,0475	-44,4089
40818000	449,0	0,92	1,42	4,26	23	-19,9333	-44,3333
40821998	39,8	0,05	0,13	0,52	13	-19,9953	-44,5306
40822995	113,0	0,09	0,34	1,30	12	-19,9694	-44,4219
40823500	154,0	0,38	0,65	2,22	15	-19,9614	-44,3661
40824000	164,0	0,44	0,86	2,50	22	-19,9500	-44,3667
40830000	70,6	0,25	0,44	1,34	16	-19,8833	-44,4333
40850000	8750,0	24,12	40,97	125,25	35	-19,4231	-44,5478
40865002	10200,0	41,17	59,40	160,64	10	-19,1667	-44,6833
40930000	897,0	1,69	3,53	19,01	55	-19,3789	-45,8694
40960000	1730,0	2,89	5,69	33,98	21	-18,9500	-45,7000
40975000	970,0	1,63	2,90	18,82	27	-18,4672	-45,6458
41020002	50816,4	205,60	354,00	691,74	34	-18,1869	-45,2528
41050000	1200,0	2,31	4,00	19,41	37	-18,7064	-46,0397
41075001	4130,0	6,83	14,02	75,94	17	-18,4031	-45,7344
41090000	5190,0	8,16	14,90	78,81	10	-18,1000	-45,4667
41090002	5186,2	6,59	12,10	74,71	40	-18,1086	-45,4614
41135000	62200,0	351,02	474,63	843,80	37	-17,3594	-44,9478
41135003	62200,0	93,21	195,00	810,05	14	-17,3667	-44,9500
41150000	175,0	0,97	1,46	3,27	36	-20,3053	-43,6164
41160000	307,0	0,71	1,54	6,01	22	-20,2000	-43,7000
41180000	315,0	3,10	3,96	7,88	42	-20,3011	-43,7981
41190000	514,0	4,83	6,17	11,02	12	-20,1667	-43,8167
41195000	1420,0	9,64	15,90	38,08	19	-20,1000	-43,8000
41199998	1550,0	10,87	14,06	30,43	31	-20,0239	-43,8228
41200000	1550,0	11,26	13,50	31,88	10	-20,0167	-43,8167

41220000	102,0	0,84	1,22	3,43	13	-19,8667	-43,7667
41230000	1970,0	14,27	20,20	41,00	22	-19,9333	-43,8167
41242100	215,0	0,35	0,51	2,87	10	-19,8667	-43,8500

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 4 (Rio São Francisco)							
41250000	709,0	1,27	2,25	7,78	51	-19,6872	-43,9206
41260000	3730,0	17,62	25,10	61,90	30	-19,7050	-43,8147
41295000	269,0	0,96	1,45	4,84	25	-19,6833	-43,5833
41300000	618,0	1,47	2,58	9,66	59	-19,6528	-43,6869
41340000	4860,0	19,53	28,10	75,30	64	-19,5597	-43,9111
41380000	564,0	0,91	1,67	6,95	63	-19,4619	-43,9036
41410000	7080,0	23,36	33,20	93,14	39	-19,2172	-44,0247
41440000	224,0	0,08	0,49	1,90	11	-19,3833	-44,1500
41440005	238,0	0,71	1,14	3,01	25	-19,3714	-44,1528
41500000	58,2	0,02	0,09	1,10	12	-19,3333	-44,2333
41539998	469,0	1,07	1,64	4,85	18	-19,2917	-44,1300
41540000	498,0	0,64	1,12	4,19	17	-19,2667	-44,0833
41600000	8050,0	26,85	38,70	103,20	46	-19,0111	-44,0383
41650000	10700,0	28,11	39,56	113,70	30	-18,6667	-44,2167
41650002	10700,0	32,35	47,29	134,71	27	-18,6728	-44,1939
41685000	826,0	0,07	0,26	3,29	36	-18,5875	-44,2319
41700001	1730,0	2,21	6,10	33,99	40	-18,6667	-43,9500
41708000	77,0	0,38	0,15	2,45	11	-19,2667	-43,6000
41715000	30,0	0,12	0,36	3,38	19	-19,1833	-43,7333
41720000	434,0	0,63	1,01	8,09	24	-19,2500	-43,7500
41780000	4010,0	6,13	10,70	63,83	13	-18,6333	-44,0667
41780002	3980,0	8,45	13,04	73,07	26	-18,6450	-44,0506
41818000	16600,0	38,30	56,70	202,23	56	-18,3061	-44,2258
41880000	146,0	0,06	0,16	1,36	21	-17,8833	-44,1667
41890000	1420,0	0,87	1,50	17,45	32	-17,9964	-44,1775
41940000	2070,0	0,16	0,96	18,67	25	-18,1961	-44,5700
41990000	26500,0	40,10	68,95	314,22	68	-17,5947	-44,7139

42030000	91000,0	385,92	514,00	1071,56	22	-17,0669	-44,8119
42089998	4350,0	0,68	1,62	22,00	17	-17,2803	-44,2169
42090000	4430,0	0,92	2,40	32,86	19	-17,2503	-44,2547
42100000	532,0	0,17	0,33	3,65	30	-17,0911	-44,2414

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 4 (Rio São Francisco)							
42145000	6620,0	2,63	5,46	45,60	10	-17,2383	-44,4364
42145498	6910,0	0,74	2,78	39,07	12	-17,2094	-44,4600
42187000	1310,0	0,95	1,53	6,21	34	-16,4669	-44,3761
42210000	107000,0	372,30	547,00	1175,72	47	-16,6542	-45,0808
42250000	464,0	1,23	2,35	8,28	28	-17,9150	-47,0108
42251000	1870,0	3,31	6,81	29,24	22	-17,6133	-46,8586
42255000	248,0	0,37	0,72	3,07	26	-17,2292	-47,0222
42257000	2000,0	2,91	6,32	25,64	25	-17,5125	-46,6461
42290000	7750,0	9,28	19,34	96,90	39	-17,5025	-46,5711
42365000	3350,0	6,34	11,49	44,57	17	-17,6619	-46,3550
42395000	12800,0	22,21	38,34	164,33	42	-17,2550	-46,4728
42435000	1590,0	1,36	2,63	17,69	31	-16,8744	-46,5867
42440000	551,0	0,97	1,88	8,78	30	-17,0417	-46,8186
42460000	3890,0	8,60	20,80	60,94	24	-16,2089	-47,2325
42490000	5360,0	9,98	19,71	72,21	36	-16,3494	-46,8800
42540000	5910,0	11,41	21,30	81,80	39	-16,5292	-46,7231
42545002	424,0	1,16	1,59	5,24	16	-16,2489	-46,8003
42545500	680,0	1,04	1,58	8,41	20	-16,5006	-46,6647
42546000	553,0	1,23	1,64	7,30	30	-16,1347	-46,7456
42600000	9400,0	14,48	27,60	108,97	35	-16,8397	-46,3572
42645000	914,0	0,68	1,04	7,21	10	-17,2500	-46,2000
42690001	30100,0	36,83	74,20	315,58	44	-17,0303	-46,0136
42750000	33500,0	42,24	77,67	347,25	41	-17,1433	-45,8803
42840000	210,0	0,79	1,30	3,37	32	-18,1392	-45,7589
42850000	4390,0	3,19	8,22	55,55	25	-17,3506	-45,5325
42860000	5700,0	4,89	9,30	57,12	29	-17,1211	-45,4356

42930000	40900,0	52,72	103,94	464,02	22	-17,0306	-45,5394
42980000	41300,0	55,18	99,10	425,00	36	-16,9067	-45,3825
43010001	142,0	55,80	100,81	437,19	40	-16,2000	-44,4333
43200000	154000,0	365,74	564,80	1587,39	52	-16,3725	-45,0700
43250002	3020,0	2,41	5,75	39,70	24	-15,6097	-46,4122

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 4 (Rio São Francisco)							
43300000	3160,0	3,95	8,23	45,41	33	-15,5217	-46,2828
43429998	11800,0	11,20	25,10	138,91	24	-15,9239	-46,1094
43430000	11700,0	14,99	26,85	144,06	19	-15,9167	-46,0500
43670000	18600,0	19,44	36,10	204,65	38	-16,1331	-45,7417
43675000	2300,0	2,74	4,36	26,52	20	-16,4289	-45,7403
43880000	23800,0	23,87	46,60	243,44	38	-16,2811	-45,4142
43920000	23600,0	43,12	95,30	360,34	10	-16,2833	-45,4500
43980000	24658,0	32,45	56,00	278,03	24	-16,2667	-45,2000
43980002	24600,0	14,83	36,21	223,08	15	-16,2681	-45,2369
44200000	184000,0	416,62	653,71	1946,47	69	-15,9494	-44,8678
44250000	3230,0	9,78	12,47	23,90	31	-15,4831	-44,7681
44260000	3630,0	0,07	0,62	30,08	11	-15,5167	-44,7500
44290002	194000,0	762,77	946,44	2062,25	31	-15,6103	-44,3953
44300000	195000,0	328,96	569,00	2188,39	36	-15,4833	-44,3667
44500000	202000,0	357,40	620,02	1963,65	65	-14,7572	-43,9322
44540000	624,0	0,55	0,76	1,84	31	-14,6514	-44,0925
44600000	1040,0	0,10	0,17	2,24	10	-16,7667	-43,7000
44630000	3570,0	0,17	0,35	7,81	10	-16,3406	-43,7831
44670000	12200,0	0,15	0,90	17,01	42	-15,3431	-43,6756
44750000	246,0	0,12	0,42	5,45	10	-15,8000	-43,3167
44950000	29400,0	0,14	1,10	31,75	26	-14,7828	-43,5378
45131000	6020,0	35,99	42,28	67,72	49	-14,3136	-44,4594
45170001	5850,0	40,81	45,80	62,71	29	-14,2642	-44,5225
45210000	12600,0	79,24	91,17	132,59	30	-14,2831	-44,4094
45220000	2380,0	6,14	7,61	12,94	52	-14,4236	-44,4831

45240000	2560,0	7,21	8,94	15,26	19	-14,4167	-44,3833
45260000	16300,0	84,40	97,56	146,62	41	-14,2600	-44,1522
45280000	16900,0	79,68	85,00	144,30	34	-14,2833	-43,9833
45298000	254000,0	526,06	783,40	2210,54	68	-14,3044	-43,7633

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km²)	Q_{7,10}	Q₉₀	Q_{MLT}	N[□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 5 (Atlântico, TrechoLeste)							
53460000	2760,0	0,07	0,90	10,02	10	-15,6167	-42,5500
53490000	5520,0	0,00	1,21	17,93	29	-15,6981	-42,1719
53540001	10800,0	0,51	1,20	14,47	24	-15,4936	-41,4503
53620000	13000,0	0,50	2,16	20,80	48	-15,5133	-41,2367
53630000	16400,0	0,56	2,24	19,23	35	-15,3397	-40,9328
53650000	18500,0	0,59	2,59	21,03	44	-15,2483	-40,6311
54001000	371,0	0,10	0,75	5,81	10	-18,4172	-43,5256
54002990	1290,0	3,63	7,10	25,83	10	-18,1000	-43,5000
54010000	7720,0	10,52	17,00	92,67	20	-17,3167	-43,2000
54010005	7720,0	9,92	15,87	88,84	26	-17,3128	-43,2078
54060000	9580,0	20,68	30,30	137,89	10	-17,0167	-42,8000
54110002	4050,0	0,03	1,75	32,36	28	-16,5900	-42,9167
54150000	16100,0	12,53	24,60	155,56	54	-16,6789	-42,4856
54165000	2290,0	0,10	0,60	7,58	29	-16,1933	-42,5850
54193000	3020,0	0,06	0,43	5,40	10	-16,4081	-42,2653
54195000	23400,0	10,75	24,07	154,08	25	-16,6178	-42,3089
54200000	23600,0	18,93	35,20	193,60	37	-16,6333	-42,2167
54220000	202,0	0,42	0,68	3,77	10	-18,0089	-43,3717
54230000	2850,0	4,05	7,48	27,78	29	-17,5792	-42,9953
54235000	1720,0	2,72	4,96	12,71	10	-17,6397	-42,6789
54250000	7030,0	0,07	0,24	0,84	14	-17,2833	-42,7500
54260000	6950,0	8,21	16,30	52,49	16	-17,2825	-42,8078
54270000	7380,0	13,05	20,80	71,30	29	-17,1500	-42,7000
54300000	1070,0	0,91	1,63	6,33	62	-17,2197	-42,5969

54360000	9940,0	15,15	26,50	86,85	25	-16,9500	-42,5000
54390000	10800,0	12,04	21,32	75,74	52	-16,8600	-42,3483
54480000	1150,0	0,55	0,94	4,28	30	-17,3000	-42,0000
54485000	1180,0	0,01	0,38	2,76	19	-16,9711	-42,1156
54500000	16000,0	14,39	26,10	98,93	72	-16,8503	-42,0631
54530000	40600,0	20,79	48,00	228,43	22	-16,7608	-42,0028
54550000	42600,0	33,00	58,00	300,31	33	-16,6000	-41,7833

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km²)	Q_{7,10}	Q₉₀	Q_{MLT}	N[□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 5 (Atlântico, TrechoLeste)							
54580000	45600,0	33,20	60,00	299,76	57	-16,5683	-41,5031
54590000	1350,0	0,46	1,11	4,88	30	-16,6894	-41,4986
54660000	420,0	0,04	0,17	1,37	16	-16,2333	-41,4667
54710000	50500,0	36,52	65,00	333,44	54	-16,4275	-41,0136
54730000	1890,0	3,16	5,03	13,79	10	-16,6500	-41,0167
54730005	1900,0	0,82	2,05	8,09	18	-16,6222	-41,0281
54760000	55500,0	43,11	74,50	368,20	26	-16,1667	-40,7000
54770000	2820,0	0,05	0,58	6,46	27	-16,1200	-40,7392
54780000	62700,0	40,13	76,00	387,51	60	-16,1386	-40,3069
54810000	66700,0	44,38	77,20	351,42	14	-16,0000	-39,9333
54950000	68100,0	40,53	78,62	409,89	56	-15,9483	-39,5236
55330000	936,0	1,22	2,55	6,97	24	-16,8381	-40,1572
55360000	878,0	2,69	5,53	15,07	40	-17,1875	-39,9822
55460000	3230,0	2,42	5,34	19,57	45	-17,3758	-40,2214
55520000	2080,0	7,14	9,43	17,49	10	-17,5961	-41,4914
55560000	5100,0	6,64	12,79	47,89	28	-17,4864	-41,2486
55610000	1850,0	0,93	2,42	12,36	58	-17,7375	-41,1208
55630000	9160,0	5,28	22,60	89,64	62	-17,7042	-40,7619
55660000	1940,0	1,59	4,19	18,61	35	-17,3206	-40,6764
55699998	13700,0	1,45	22,62	129,17	26	-17,8419	-40,3822
55700000	14200,0	14,52	28,80	95,98	32	-17,8333	-40,3500
55740000	14800,0	11,44	22,91	989,36	18	-18,0989	-39,8933
55779000	781,0	0,05	0,26	3,53	10	-18,1936	-41,2486

55780000	781,0	0,21	0,69	4,54	16	-18,2000	-41,2500
55780002	839,0	0,24	1,06	6,03	10	-18,2000	-41,7500
55790000	424,0	0,27	0,82	5,09	39	-18,0453	-41,1122
55800005	4170,0	0,92	2,85	23,21	29	-18,1231	-40,8831
55850000	6930,0	2,03	5,37	39,33	33	-18,5639	-40,3361
55884998	1490,0	2,09	3,24	11,02	10	-18,6667	-41,1000
55895000	2500,0	1,72	3,93	19,20	42	-18,6936	-40,8819
55920000	4190,0	2,56	6,51	32,18	30	-18,7006	-40,4419

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km²)	Q_{7,10}	Q₉₀	Q_{MLT}	N[□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 5 (Atlântico, TrechoLeste)							
56005000	87,0	0,81	1,00	1,74	15	-20,9333	-43,6833
56010000	558,0	1,25	2,60	9,78	22	-20,7833	-43,5667
56012000	161,0	0,59	0,78	1,94	10	-20,7500	-43,5667
56028000	1400,0	5,91	9,46	24,41	60	-20,6906	-43,2994
56040000	42,0	0,24	0,51	1,12	10	-21,1500	-43,5167
56050000	222,0	2,44	3,10	6,90	23	-21,0333	-43,4000
56055000	1090,0	5,61	8,15	19,31	54	-20,8475	-43,2419
56065000	297,0	1,35	2,34	5,54	53	-20,9117	-43,0972
56075000	4260,0	21,69	33,00	74,74	60	-20,6703	-43,0881
56085000	342,0	1,26	1,78	3,83	15	-20,7261	-42,9172
56090000	328,0	1,52	2,00	4,20	60	-20,7144	-42,9997
56110000	6210,0	30,60	43,20	99,78	36	-20,4167	-42,9000
56110005	6230,0	27,56	42,49	101,95	29	-20,3839	-42,9028
56130000	256,0	0,30	0,77	2,37	10	-20,3500	-42,8500
56145000	138,0	0,30	0,75	4,61	33	-20,3500	-43,3667
56148000	305,0	2,86	3,45	10,92	21	-20,3667	-43,2000
56150000	56,0	0,46	0,60	1,39	10	-20,5167	-43,6000
56152000	13,0	0,10	0,14	0,24	10	-20,5000	-43,6000
56155000	13,0	0,29	0,38	1,19	11	-20,5333	-43,6500
56170000	56,0	1,42	2,08	5,07	13	-20,4833	-43,5500
56182000	48,0	0,32	0,39	0,91	23	-20,4333	-43,5667
56240000	855,0	5,28	8,54	19,94	73	-20,4833	-43,5000

56335000	1330,0	10,72	14,60	31,43	35	-20,3500	-43,1333
56335001	1370,0	11,45	15,60	31,39	27	-20,3614	-43,1394
56337000	529,0	4,81	6,32	12,97	65	-20,2672	-43,1008
56340000	269,0	0,92	1,65	3,91	15	-20,1667	-42,9500
56385000	523,0	2,25	3,40	8,08	34	-20,6997	-42,6731
56400000	1370,0	3,27	6,27	19,77	24	-20,4500	-42,6667
56415000	2030,0	6,49	10,82	26,43	58	-20,2261	-42,6500
56425000	10100,0	49,59	76,80	164,73	25	-19,9944	-42,6744
56430000	12800,0	64,12	90,70	170,80	11	-19,9000	-42,5833

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km²)	Q_{7,10}	Q₉₀	Q_{MLT}	N[□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 5 (Atlântico, TrechoLeste)							
56460000	616,0	1,76	3,06	9,91	30	-20,2772	-42,3256
56470000	238,0	0,75	1,06	3,07	12	-20,1667	-42,2667
56484998	1350,0	3,01	6,30	19,96	28	-20,1036	-42,4400
56485000	1390,0	2,83	5,50	17,88	38	-20,1000	-42,4333
56500000	273,0	0,89	1,43	4,14	50	-20,2989	-42,4781
56510000	1870,0	3,56	7,66	22,77	17	-20,0975	-42,4592
56520000	163,0	0,58	0,89	2,23	59	-19,9989	-42,3486
56539000	15900,0	79,21	105,00	222,15	32	-19,7769	-42,4764
56565000	304,0	1,00	1,51	3,62	39	-19,8167	-42,3167
56570000	855,0	1,97	3,04	9,97	23	-19,7086	-42,4456
56610000	1160,0	3,00	9,34	30,94	64	-19,9317	-43,1731
56631000	186,0	2,79	3,48	7,79	19	-20,0833	-43,5833
56632000	35,0	0,07	0,18	1,86	19	-20,0833	-43,4833
56640000	609,0	2,92	4,24	12,30	45	-19,9711	-43,4567
56659998	3060,0	16,72	21,20	54,87	14	-19,7656	-43,0328
56660000	3060,0	19,38	27,50	64,20	35	-19,7667	-43,0333
56665000	139,0	0,92	1,00	2,27	10	-19,8833	-42,9500
56667000	439,0	2,25	3,25	6,09	10	-19,8000	-43,0000
56670000	399,0	2,56	3,46	9,37	24	-19,7333	-43,0333
56681000	4250,0	26,19	36,70	94,67	21	-19,6500	-42,8667
56690000	4690,0	26,25	42,00	96,33	12	-19,6000	-42,7833

56695000	5270,0	27,90	41,11	97,29	10	-19,5333	-42,6333
56696000	5270,0	27,26	34,09	87,11	16	-19,5244	-42,6550
56719998	24200,0	109,04	146,60	322,12	20	-19,3331	-42,3708
56720000	24200,0	119,88	163,00	384,02	46	-19,3333	-42,3667
56750000	302,0	0,92	1,76	7,25	55	-19,0144	-43,4461
56765000	976,0	2,48	4,20	18,23	57	-18,9661	-43,2431
56775000	4090,0	5,21	22,40	110,56	41	-19,2322	-43,0200
56787000	1260,0	4,94	8,36	24,31	36	-19,3319	-43,0703
56800000	1520,0	4,16	7,05	21,79	58	-18,8947	-43,0825
56825000	10200,0	36,25	66,83	170,43	28	-19,1881	-42,4228

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 5 (Atlântico, TrechoLeste)							
56845000	1050,0	2,63	4,28	12,30	48	-18,8947	-42,7125
56846000	1970,0	6,74	10,65	26,89	24	-18,9517	-42,3592
56850000	40500,0	172,43	244,00	558,53	38	-18,8831	-41,9508
56880000	2670,0	2,19	4,05	18,24	18	-18,2500	-42,0667
56920000	55100,0	217,42	311,10	706,35	32	-18,9711	-41,6417
56941000	59500,0	211,95	315,00	656,07	10	-19,0667	-41,5333
56948000	61200,0	228,60	339,08	795,45	45	-19,3167	-41,2500
56948005	61200,0	180,84	251,13	633,76	21	-19,3431	-41,2461
56988500	1410,0	5,27	7,87	20,52	64	-19,7989	-41,7061
56989000	1180,0	2,57	4,03	11,85	28	-19,8167	-41,4333
56989001	1180,0	2,44	4,18	14,11	31	-19,8111	-41,4378
56989400	3190,0	7,46	12,41	38,88	27	-19,5947	-41,4581
56989500	3470,0	8,69	13,30	37,65	32	-19,6000	-41,4667
56990000	8720,0	21,49	35,80	95,62	60	-19,4925	-41,1617
56990500	726,0	0,03	0,61	4,96	17	-19,5000	-41,2500
56994500	76400,0	237,12	336,14	910,94	62	-19,5333	-40,6297
56994502	76400,0	331,79	484,49	1178,67	10	-19,5333	-40,6333
56998000	82100,0	0,80	399,70	982,86	27	-19,4075	-40,0639
57700000	406,0	1,78	2,66	6,59	64	-20,6939	-41,9219
58470000	360,0	2,04	3,95	7,96	51	-21,5942	-43,5053

58480000	956,0	7,25	9,30	21,62	32	-21,7500	-43,3333
58480500	969,0	8,14	10,70	21,44	29	-21,7783	-43,3253
58500000	144,0	1,14	1,60	3,04	41	-21,8556	-43,8864
58512000	1720,0	13,22	17,98	37,30	54	-21,8692	-43,5556
58516000	2340,0	16,98	23,80	52,21	40	-21,9000	-43,3667
58516500	2240,0	15,49	21,98	47,83	26	-21,8583	-43,4442
58519000	3610,0	29,72	38,20	80,04	11	-21,9167	-43,3500
58520000	3640,0	24,44	36,02	75,11	51	-21,9664	-43,3725
58535000	418,0	3,43	5,86	18,27	73	-22,2431	-44,2636
58542000	355,0	3,17	4,59	11,82	66	-22,1506	-44,0900
58550000	1740,0	17,34	22,90	57,72	37	-22,0833	-43,8333

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 5 (Atlântico, TrechoLeste)							
58550001	1800,0	15,57	21,56	53,90	33	-22,0864	-43,8178
58610000	783,0	4,17	6,19	14,42	60	-21,8964	-43,0414
58658000	348,0	1,28	1,91	4,17	19	-21,7675	-42,5397
58670002	590,0	2,10	2,94	7,04	23	-21,6581	-42,3428
58710000	784,0	5,58	8,09	17,44	20	-21,3050	-43,1992
58720000	322,0	2,86	3,82	8,55	32	-21,3836	-43,2353
58725000	387,0	4,02	4,85	8,58	27	-21,3500	-43,2000
58730000	1660,0	16,14	19,90	40,39	11	-21,3667	-43,0500
58730001	1650,0	10,95	15,60	32,59	52	-21,3556	-43,0503
58735000	2350,0	13,26	19,49	42,61	64	-21,3069	-42,8619
58736000	1280,0	0,78	2,06	9,82	15	-21,2983	-42,8194
58750000	490,0	3,75	5,98	13,09	30	-21,4967	-43,3172
58755000	835,0	4,61	8,05	17,62	58	-21,4739	-43,1289
58765000	1910,0	11,86	16,50	39,70	30	-21,4667	-42,8000
58765001	1770,0	4,18	10,90	32,28	35	-21,4714	-42,8297
58770000	5880,0	27,62	41,88	100,03	64	-21,3894	-42,6964
58910000	151,0	0,68	1,15	3,28	59	-21,0500	-42,5139
58915000	1080,0	6,66	8,90	23,59	20	-21,1333	-42,3667
58916000	393,0	2,28	3,29	9,92	42	-20,7725	-42,3006

58917000	744,0	3,38	5,75	17,69	26	-20,9131	-42,3494
58920000	2660,0	8,87	15,40	47,38	60	-21,1486	-42,2156
58930000	773,0	2,03	3,74	12,88	56	-20,7400	-42,0239

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N□ eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 6 (Rio Paraná)							
60005000	169,0	0,36	0,63	2,87	20	-19,1522	-46,2658
60010000	2730,0	7,25	12,89	46,93	49	-18,8411	-46,5508
60011000	3800,0	8,54	16,80	64,46	30	-18,6017	-46,5394
60012000	7620,0	22,57	36,60	138,70	28	-18,2983	-47,1219
60020000	4420,0	9,05	19,82	72,89	26	-17,0000	-47,2000
60030000	8370,0	23,49	42,51	144,55	28	-17,5042	-47,5567
60050000	922,0	2,08	4,15	15,89	30	-18,1167	-47,6203
60100000	78,0	0,21	0,53	2,47	42	-18,9011	-46,9658
60110000	1950,0	3,09	7,05	28,23	52	-18,4911	-47,4064
60130000	131,0	0,26	0,59	1,92	28	-18,7808	-47,4081
60135000	1110,0	1,54	3,21	15,92	27	-18,4500	-47,6667
60145000	93,0	0,27	0,57	1,65	41	-18,9781	-47,4564
60150000	868,0	3,27	5,90	14,18	60	-18,7381	-47,6900
60210000	36800,0	66,85	142,00	524,94	26	-18,3333	-48,5500
60220000	1070,0	6,94	10,73	28,48	44	-20,0139	-47,0178
60230000	3580,0	15,35	29,20	67,84	11	-19,4833	-47,5333
60235005	4070,0	25,25	39,30	101,40	10	-19,3000	-47,6500
60250000	1300,0	8,46	12,91	28,82	47	-19,5175	-46,5700

60265000	1370,0	7,82	11,60	28,54	28	-19,4750	-46,5419
60285000	232,0	0,51	0,92	3,10	15	-19,0833	-46,7833
60300000	1270,0	5,88	9,61	25,29	31	-19,3167	-47,0333
60305000	7460,0	35,89	57,70	154,84	14	-19,1833	-47,1000
60320000	8530,0	42,74	61,60	157,76	13	-19,1500	-47,2000
60340000	17100,0	91,61	148,00	353,68	14	-19,0686	-47,9342
60350000	17200,0	88,82	130,00	354,24	24	-19,0333	-47,9667
60360000	18700,0	51,63	121,10	337,02	10	-18,7500	-48,2667
60381000	777,0	2,69	4,92	13,81	27	-18,9883	-48,1903
60381005	716,0	2,05	3,70	12,65	13	-18,9333	-48,3000
60400000	21900,0	95,48	147,00	392,48	10	-18,4333	-48,5833
60510010	15200,0	53,56	74,11	194,63	10	-17,0361	-47,9408
60615000	195,0	0,59	0,98	2,82	41	-18,6983	-48,7806

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 6 (Rio Paraná)							
60620000	1710,0	2,43	5,39	15,15	16	-18,5500	-49,1667
60798000	12800,0	62,81	91,96	211,66	27	-17,9742	-50,3372
60810000	1360,0	3,92	7,60	20,09	33	-18,1047	-50,0314
60835000	1510,0	3,10	7,09	25,34	35	-19,2442	-48,5622
60842000	3760,0	13,95	22,18	59,80	11	-19,0394	-49,0092
60845000	6310,0	16,40	31,10	90,82	37	-18,9408	-49,4497
60848000	830,0	2,11	3,39	12,20	10	-19,5019	-48,8586
60850000	2460,0	5,36	9,91	34,62	46	-19,3597	-49,1803
60855000	5230,0	5,83	15,48	61,98	54	-19,0353	-49,6967
60856000	756,0	1,47	2,14	6,74	10	-18,8847	-50,0050
60870000	1630,0	6,85	9,79	24,22	25	-18,4983	-50,5286
60925001	3520,0	2,29	6,66	27,64	26	-19,2081	-50,6628
61004000	783,0	1,93	2,63	7,14	30	-21,8000	-44,1000
61006000	69,1	0,63	1,05	2,29	20	-21,9000	-44,1333
61009000	529,0	4,78	6,51	14,67	68	-21,9472	-44,1947
61011000	1180,0	8,16	11,30	25,71	15	-21,6000	-44,1000
61012000	2070,0	13,38	20,10	48,33	68	-21,4922	-44,3269

61014000	282,0	2,61	3,48	7,43	58	-22,1700	-44,6369
61016000	39,2	0,77	1,05	2,10	19	-22,1833	-44,6500
61024000	532,0	5,79	7,50	18,29	66	-21,9800	-44,6014
61031000	104,0	0,97	1,43	3,38	58	-21,9983	-44,4639
61041000	68,5	0,55	0,63	1,13	21	-21,9833	-44,3833
61043000	30,1	0,09	0,18	0,86	27	-22,0000	-44,3500
61045000	383,0	1,93	3,32	8,03	62	-21,7450	-44,3542
61052000	274,0	1,69	2,37	5,36	63	-21,7381	-44,3053
61060000	1960,0	14,25	20,31	47,98	67	-21,6925	-44,3483
61065001	6260,0	43,61	58,43	135,53	23	-21,2811	-44,6453
61075000	1010,0	5,13	7,41	19,35	66	-21,5061	-44,9156
61078000	1820,0	6,62	12,80	33,41	67	-21,3206	-44,8717
61080000	18,2	0,16	0,28	0,75	25	-21,1833	-43,6333
61081000	146,0	0,93	1,40	3,24	22	-21,2500	-43,6667

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km²)	Q_{7,10}	Q₉₀	Q_{MLT}	N[□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 6 (Rio Paraná)							
61085000	569,0	3,18	5,22	13,29	63	-21,2794	-43,8144
61087000	57,7	0,92	1,59	4,67	19	-21,3167	-43,7167
61088000	183,0	4,58	7,09	17,17	20	-21,2667	-43,7000
61090000	1040,0	4,96	8,39	20,81	59	-21,1858	-43,9797
61093000	20,8	1,18	1,51	2,85	18	-21,1500	-43,6333
61100000	186,0	0,90	1,40	3,36	56	-21,4444	-43,9633
61105000	828,0	4,77	6,92	16,35	55	-21,1647	-44,1358
61107000	2720,0	13,81	20,76	50,73	64	-21,1217	-44,2333
61110000	129,0	0,36	0,62	1,86	16	-20,9500	-43,8333
61115000	643,0	1,71	3,40	12,28	58	-21,0525	-44,2111
61122000	272,0	0,97	1,71	5,79	60	-21,1956	-44,3286
61125000	123,0	0,75	1,34	3,37	13	-20,9000	-44,4500
61135000	6070,0	29,15	45,44	120,63	72	-21,1431	-44,7383
61140000	348,0	0,81	1,77	6,14	57	-21,0342	-44,7714
61145000	15400,0	97,07	141,20	297,29	30	-21,1447	-44,9139
61150000	15800,0	92,16	126,00	307,66	33	-21,1833	-45,0500

61170000	238,0	0,42	0,72	1,61	20	-21,4500	-45,0333
61173000	390,0	1,81	2,70	6,08	68	-21,3342	-45,1550
61175000	1020,0	4,43	6,37	16,13	68	-21,2572	-45,1672
61195000	313,0	1,12	2,41	7,12	10	-20,7500	-44,7167
61197000	329,0	3,73	5,32	11,28	10	-20,7500	-44,7333
61202000	1506,0	4,40	9,54	29,98	71	-20,9031	-45,1319
61230000	25400,0	128,62	191,00	459,10	32	-20,6667	-45,8333
61250000	109,0	0,92	1,65	3,68	58	-22,6878	-45,4797
61255000	29,8	0,29	0,43	1,24	20	-22,6000	-45,3833
61266000	12,5	0,10	0,16	0,29	20	-22,5333	-45,4500
61267000	112,0	0,36	0,70	1,58	43	-22,5083	-45,2869
61271000	860,0	7,44	10,23	21,22	20	-22,4428	-45,4272
61272000	870,0	7,49	10,40	21,67	36	-22,4333	-45,4500
61280000	268,0	2,12	3,40	7,17	31	-22,3706	-45,2158
61285000	560,0	3,01	5,05	12,79	60	-22,3772	-45,4475

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 6 (Rio Paraná)							
61295000	156,0	0,46	0,92	3,16	58	-22,4697	-45,6219
61305000	2810,0	16,27	23,70	56,92	61	-22,2514	-45,7089
61317000	323,0	1,04	1,52	3,33	14	-22,7667	-45,7500
61320000	475,0	2,55	4,31	10,55	44	-22,6858	-45,7353
61320000	475,0	2,49	4,14	10,37	46	-22,6858	-45,7353
61323000	15,2	0,13	0,23	0,60	17	-22,6000	-45,7833
61335000	244,0	0,51	1,00	3,24	16	-22,5667	-45,8833
61343000	247,0	1,37	2,40	6,35	30	-22,5650	-45,8836
61350000	1310,0	4,53	8,92	26,14	58	-22,4144	-45,7919
61360000	116,0	0,16	0,81	3,00	20	-22,6072	-46,0419
61370000	676,0	2,54	4,66	13,66	51	-22,3706	-45,8881
61380000	390,0	1,05	2,20	9,56	30	-22,2167	-45,9833
61390000	486,0	1,62	3,24	9,65	43	-22,1164	-45,9178
61405000	118,0	0,17	0,31	1,06	10	-22,0000	-45,0000
61410000	7330,0	39,83	63,60	162,82	31	-22,0539	-45,6994

61415000	7755,0	36,12	54,70	144,00	31	-21,9167	-45,2833
61425000	9424,0	36,52	63,05	164,99	30	-21,5853	-45,6739
61429000	292,0	0,69	1,21	4,16	58	-22,2944	-44,9367
61431000	75,4	0,58	0,85	2,27	15	-21,3833	-44,9667
61434000	299,0	1,10	1,64	4,20	16	-22,2833	-45,0000
61440000	147,0	0,87	1,23	3,90	16	-22,2833	-44,6333
61447000	85,2	0,62	0,84	1,80	16	-22,2000	-44,9667
61450000	1340,0	6,87	11,30	29,26	26	-22,1167	-45,0833
61452000	53,1	0,50	0,60	1,21	10	-22,1667	-45,1333
61460000	1840,0	11,69	16,09	40,16	65	-21,8872	-45,0792
61470005	107,0	0,75	1,01	2,38	17	-21,9167	-44,8167
61473000	614,0	5,08	7,24	17,02	63	-21,9522	-44,8806
61484000	73,0	0,15	0,43	2,86	10	-22,2103	-45,2658
61485000	71,2	0,41	0,77	2,06	43	-22,2000	-45,3000
61490000	171,0	0,98	1,66	4,57	29	-22,1667	-45,3000
61500000	744,0	5,08	7,03	16,32	64	-21,8697	-45,2625

“Tabela 1 A, continua”

Código	Área (km²)	Q_{7,10}	Q₉₀	Q_{MLT}	N[□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 6 (Rio Paraná)							
61505000	74,0	0,40	0,57	1,28	17	-21,8833	-45,1833
61510000	4180,0	23,85	35,32	89,77	58	-21,7031	-45,2475
61513000	56,6	0,33	0,53	1,19	20	-21,8500	-45,3000
61520000	854,0	4,51	6,21	14,81	62	-21,6783	-45,2597
61530000	360,0	1,88	3,09	6,99	61	-21,7831	-45,4428
61537000	6300,0	32,75	51,37	120,16	31	-21,6108	-45,4889
61540000	6551,0	37,36	51,70	122,12	22	-21,5167	-45,3500
61550000	16500,0	87,61	119,00	287,87	33	-21,4500	-45,5000
61565000	349,0	1,19	1,97	7,66	31	-21,7883	-46,1222
61568000	732,0	3,41	5,60	15,50	56	-21,6875	-45,9047
61573000	16500,0	78,85	116,00	303,55	27	-21,4000	-45,5500
61585000	775,0	2,95	4,57	10,36	10	-21,0000	-46,0000
61595000	440,0	0,29	0,73	2,94	17	-21,7500	-46,0333
61610000	884,0	5,44	8,13	17,89	36	-21,2789	-46,3608

61615000	1450,0	6,05	9,39	24,00	30	-21,3500	-46,1500
61635000	296,0	0,61	1,14	4,71	26	-21,1000	-46,1167
61642000	319,0	0,87	1,50	4,63	19	-21,0167	-46,0833
61645000	24200,0	102,43	154,00	412,49	32	-20,9500	-46,0833
61657000	51600,0	250,62	376,00	911,78	33	-20,6956	-46,1569
61680000	9,6	0,29	0,73	1,45	14	-21,1167	-46,5667
61695000	1280,0	4,48	8,06	23,20	32	-20,7389	-46,7347
61700000	473,0	1,09	1,75	7,64	46	-20,8097	-46,8067
61730000	61400,0	268,41	432,00	1078,64	17	-20,0833	-47,3833
61770000	226,0	0,55	1,24	4,24	60	-21,1353	-47,0125
61774000	825,0	3,04	5,41	15,18	15	-20,9833	-47,2500
61780000	3350,0	11,94	18,90	49,75	14	-20,7333	-47,5500
61782000	3860,0	10,43	19,40	57,09	25	-20,6833	-47,6167
61788000	6260,0	20,80	37,18	98,27	38	-20,2000	-48,2833
61794000	566,0	0,36	1,60	11,37	18	-19,7272	-47,9789
61795000	1973,0	4,58	9,31	33,95	41	-19,9094	-48,3906
61800500	357,0	1,05	2,52	8,09	64	-22,0031	-46,3056

“Tabela 1 A, conclusão”

Código	Área (km ²)	Q _{7,10}	Q ₉₀	Q _{MLT}	N [□] eventos (anos)	Lat	Long
Bacia 6 (Rio Paraná)							
61802500	1650,0	6,63	11,60	32,48	38	-21,7333	-46,4667
61807000	374,0	0,99	3,23	12,82	11	-21,7833	-46,6167
61815000	76,0	0,17	0,42	1,35	37	-21,2942	-46,7042
61817000	4090,0	18,97	29,70	77,37	41	-21,6000	-46,9000
61824000	635,0	1,25	1,60	2,42	17	-21,4167	-46,9333
61826000	649,0	1,86	3,39	9,83	52	-21,4197	-46,9622
61830000	8490,0	33,91	56,00	137,63	47	-21,3181	-47,4764
61830000	8490,0	35,83	58,56	137,48	53	-21,3183	-47,4767
61840000	10700,0	39,54	60,50	165,89	30	-21,1000	-47,7500
61850000	12200,0	59,08	83,60	196,17	19	-20,9667	-48,0333
61855000	12445,0	81,55	106,35	205,51	10	-20,9086	-48,0875
61861000	463,0	2,67	4,30	10,21	35	-22,3183	-46,3219
61864000	679,0	4,66	6,69	15,75	21	-22,3333	-46,4167

61865000	918,0	4,38	7,86	18,90	32	-22,2700	-46,6042
61868000	100,0	0,28	0,41	1,07	10	-22,1833	-46,4500
61871000	1300,0	6,11	9,85	24,84	44	-22,2833	-46,7500
61879000	1140,0	5,81	8,96	22,97	32	-22,5233	-46,6464
61884000	3830,0	12,94	22,89	67,39	26	-22,3667	-46,9333
61886000	4670,0	18,49	28,90	79,73	52	-22,2992	-47,1339
61892000	351,0	1,39	2,10	6,73	19	-22,0922	-46,6792
61895000	622,0	2,19	3,90	12,28	52	-21,9783	-46,8069
61902000	10100,0	49,00	54,94	151,13	49	-21,8472	-47,4750
61912000	13900,0	53,80	84,70	208,81	64	-21,5019	-48,0403
61915000	16650,0	61,23	91,19	215,45	10	-21,0167	-48,1772
61930000	34300,0	138,63	209,00	456,58	17	-20,4581	-48,4536
61945000	139000,0	515,66	717,00	2110,02	10	-19,8167	-50,3833
61946000	2700,0	2,11	7,54	29,45	10	-19,8333	-49,6667
63010000	477000,0	2474,92	3238,00	5940,61	33	-20,8667	-51,6331

Tabela 1 B - A17 Classes de Solos e simbologias referentes a legenda expandida do Mapa de Solos do Estado de Minas Gerais

Classes de Solos	Simbologia
Afloramento rochoso	AR
Cambissolo háplico Tb distrófico	CXbd
Cambissolo háplico Tb distroférico	CXbdf
Cambissolo háplico Tb eutrófico	CXbe
Cambissolo húmico distrófico	CHd
Cambissolo flúvico Tb eutrófico	CYbe
Plintossolo argilúvico distrófico	FTd
Gleissolo melânico Tb distrófico	GMd
Gleissolo háplico Tb distrófico	GXbd
Latossolo amarelo distrófico	LAd
Latossolo vermelho-amarelo distrófico	LVAAd
Latossolo vermelho distrófico	LVd
Latossolo vermelho distroférico	LVdf
Latossolo vermelho eutrófico	LVe
Latossolo vermelho eutroférico	LVef
Nitossolo vermelho eutrófico	NVe
Nitossolo vermelho eutroférico	NVef
Nitossolo háplico distrófico	NXd
Argissolo vermelho-amarelo distrófico	PVAAd
Argissolo vermelho-amarelo eutrófico	PVAe
Argissolo vermelho distrófico	PVd
Argissolo vermelho eutrófico	PVe
Neossolo litólico distrófico	RLd
Neossolo litólico distro-úmbrico	RLdh
Neossolo litólico eutrófico	RLe
Neossolo litólico húmico	RLh
Neossolo quartzarênico hidromórfico	RQg
Neossolo quartzarênico órtico	RQo
Neossolo flúvico Tb distrófico	RUBd
Planossolo háplico eutrófico	SXe
Luvissolo crômico órtico	TCo

