

**Universidade Camilo Castelo Branco
Campus de Fernandópolis**

CAMILA FERNANDES FERREIRA APARECIDO

**MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E SUA INFLUÊNCIA SOBRE
OS RECURSOS HÍDRICOS PARA IRRIGAÇÃO**

**WATERSHEED MANAGEMENT AND ITS INFLUENCE ON THE WATER
RESOURCES FOR IRRIGATION**

Fernandópolis, SP

2015

CAMILA FERNANDES FERREIRA APARECIDO

**MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS
RECURSOS HÍDRICOS PARA IRRIGAÇÃO**

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Camilo Castelo Branco, como complementação dos créditos necessários para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Fernandópolis - SP

2015

Ficha Catalográfica

APARECIDO, Camila Fernandes Ferreira
A648M Manejo de Bacias Hidrográficas e sua Influência Sobre os Recursos
Hídricos para Irrigação / Camila Fernandes Ferreira Aparecido - São José
dos Campos: SP / UNICASTELO, 2015.

50f. il.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Sergio Vanzela

Dissertação de Mestrado apresentada no Programa de Pós-Graduação
em Ciências Ambientais da Universidade Camilo Castelo Branco, para
complementação dos créditos para obtenção do título de Mestre em
Ciências Ambientais.

1. Escoamento Superficial. 2. Uso e Ocupação. 3. Declividade.

I. Título

CDD: 574

Autorizo, exclusivamente, para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial
desta dissertação, por processos xerográficos ou eletrônicos.

Assinatura do aluno: 

Data: 14.08.2015

TERMO DE APROVAÇÃO

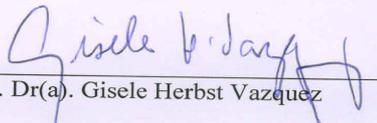
CAMILA FERNANDES FERREIRA

**MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E SUA INFLUÊNCIA SOBRE
OS RECURSOS HÍDRICOS PARA IRRIGAÇÃO.**

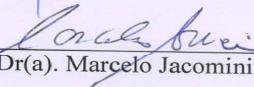
Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Camilo Castelo Branco, pela seguinte banca examinadora:



Prof(a). Dr(a). Luiz Sergio Vanzela
(Presidente)



Prof(a). Dr(a). Gisele Herbst Vazquez



Prof(a). Dr(a). Marcelo Jacomini Moreira da Silva

Fernandópolis - SP, 30 de abril de 2015.

Presidente da Banca Prof(a). Dr(a). Luiz Sergio Vanzela

A minha família, em especial ao meu pai que enxergou em mim o que eu ainda não havia descoberto e minha mãe pelas orações e zelo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por possibilitar a concretização dessa etapa e me guiar durante todo o percurso.

Ao meu orientador Prof. Dr. Luiz Sérgio Vanzela, que com sua inteligência e sabedoria me incentivou a estudar o desconhecido e aprimorar meu trabalho mesmo quando eu achava que já estava suficiente.

Ao meu marido que me auxiliou nos levantamentos de dados a campo, disponibilizando seu tempo livre.

As minhas colegas de sala Édna e Edilza, sem elas não teria sido tão gratificante a rotina do aprender.

*“Não existe falta de tempo, existe falta de interesse.
Porque quando a gente quer mesmo, a madrugada
vira dia. Quarta-feira vira sábado e um momento vira
oportunidade.”*

Pedro Bial

MANEJO DE BACIAS HIDROGRÁFICAS E SUA INFLUÊNCIA SOBRE OS RECURSOS HÍDRICOS PARA IRRIGAÇÃO

RESUMO

Considerando que o uso e ocupação do solo associados às características das bacias hidrográficas são de extrema importância na sustentabilidade dos recursos hídricos para a irrigação, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência de diferentes manejos de bacias hidrográficas em função dos usos e ocupação do solo associados às características das bacias, sobre os recursos hídricos para a irrigação. O trabalho foi desenvolvido em 4 bacias localizadas no Triângulo Mineiro, onde foram monitoradas as vazões e sedimentos entre setembro de 2013 e outubro de 2014, e determinados os usos do solo e os escoamentos superficiais. Pelos resultados, observou-se que o manejo das bacias hidrográficas visando à disponibilidade e qualidade de água para a irrigação deve prever a conservação de matas nativas, uso de técnicas conservacionistas do solo e técnicas para minimizar o transporte difuso originado das áreas urbanas.

PALAVRA CHAVE: escoamento superficial, uso e ocupação, declividade.

WATERSHEED MANAGEMENT AND ITS INFLUENCE ON THE WATER RESOURCES FOR IRRIGATION

ABSTRACT

Considering that the use and land cover associated with the characteristics of the watershed are extremely important in the sustainability of water resources for irrigation, this study aims to evaluate the influence of different management of hydrographic basins as a function of land uses and occupation associated with the characteristics of the basins on water resources for irrigation. The study was conducted in four basins located in the Triângulo Mineiro (Minas Gerais State, Brazil), where they monitored the flow and sediment between September 2013 and October 2014, and they determined the land uses and surface runoff. The results showed that the management of river basins aiming the availability and quality of water for irrigation should provide for the conservation of native forests, the use of soil conservation techniques and procedures to minimize diffuse transport originated from urban areas.

KEYWORD: runoff, use and occupancy, slope.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Localização das bacias hidrográficas de Iturama e Campina Verde-MG.....	24
Figura 2. Uso e ocupação do solo na bacia 1.	30
Figura 3. Uso e ocupação do solo na bacia 2	30
Figura 4. Uso e ocupação do solo na bacia 3.	31
Figura 5. Uso e ocupação do solo na bacia 4.	31
Figura 6. Mapas de declividade média das bacias hidrográficas 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d).....	32
Figura 7. Correlação cruzada da produção específica de sedimentos com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).	33
Figura 8. Resposta da produção específica de sedimentos (Ps) em função do percentual de ocupação por matas e área urbana, considerando que não há escoamento superficial nos 7 dias anteriores.....	34
Figura 9. Resposta da produção específica de sedimentos (Ps) em função do percentual de ocupação por matas e área urbana considerando o escoamento superficial de 27 mm acumulados nos 7 dias anteriores.....	35
Figura 10. : Resposta da produção específica de sedimentos (Ps) em função do percentual de ocupação por matas e considerando o escoamento superficial de 53 mm acumulados nos 7 dias anteriores.....	35
Figura 11. Correlação cruzada da vazão específica com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).	36
Figura 12. Resposta da vazão específica (Qesp) em função do percentual de ocupação por matas e várzeas.	38
Figura 13. Correlação cruzada da concentração de sólidos totais com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE),	

espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).	39
Figura 14. Resposta da concentração de sólidos totais (CST) em função do percentual de ocupação de área urbana e escoamento superficial.	40
Figura 15. Correlação cruzada da concentração de sólidos dissolvidos com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).	41
Figura 16. Resposta da concentração de sólidos dissolvidos (CSD) em função do percentual de ocupação de área urbana e declividade.	42
Figura 17. Correlação cruzada da concentração de sólidos suspensos com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).	43
Figura 18. Resposta da concentração de sólidos suspensos (CSS) em função da quantidade de escoamento superficial (ES).	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Valores de número da curva (CN _{II}) atribuídos em função do uso e ocupação do solo.	27
Tabela 2. Características fisiográficas das bacias hidrográficas de Iturama e Campina Verde.	29

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo geral.....	17
2.2 Objetivos específicos.....	17
3 REVISÃO DA LITERATURA	18
3.1 Bacias hidrográficas.....	18
3.2 Manejo de bacias.....	20
3.3 Estudo de caso no Triângulo Mineiro.....	22
4 MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1. Localização e Características Edafoclimáticas	24
4.2. Metodologia	25
4.2.1. Características das Bacias Hidrográficas (Variáveis Independentes).....	25
4.2.2. Variáveis Dependentes.....	27
4.3. Análise dos Resultados	27
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	29
5.1. Características das Bacias	29
5.2. Variáveis Hídricas.....	33
6 CONCLUSÕES	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a população, o consumo e a degradação ambiental vêm aumentando de forma rápida, causando acentuados desequilíbrios na disponibilidade e qualidade de água. Os recursos hídricos são essenciais na agricultura e nos abastecimentos urbanos e industriais, sendo a qualidade da água um aspecto fundamental para a redução de doenças de veiculação hídrica, maior produtividade nos setores primários e secundários.

A produção alimentar agrícola, auxiliada pela irrigação, garante em padrões mundiais um acréscimo produtivo de 2,7 vezes comparado ao cultivo sem irrigação (CHRISTOFIDIS, 2013), podendo em alguns casos, permitir a viabilidade produtiva em áreas áridas ou semiáridas. Nos dias atuais estima-se que 15% da população mundial já se encontram em condições de insegurança alimentar (FAO, 2012). O desafio para o suprimento alimentar se agrava quando as perspectivas apontam que, para 2050, a demanda por água doce para fins de irrigação das culturas crescerá 11%, atingindo a ordem de 4,5 bilhões de m³ anuais (WORLD WIDE FUND FOR NATURE - WWF, 2011). Assim, visando a sustentabilidade no uso da água, as bacias hidrográficas precisam ser consideradas as unidades de gerenciamento dos recursos hídricos, necessitando de manejos conservacionistas no uso dos recursos naturais.

As bacias hidrográficas são áreas de captação de água das precipitações, que faz convergir os escoamentos para um único ponto de saída, seu exutório. Compõe-se basicamente, de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultarem em um leito único na foz. Os limites de uma bacia hidrográfica são conhecidos como divisores de drenagem ou divisores de águas (TUCCI, 2004).

As atividades humanas que ocorrem em bacias hidrográficas (rurais ou urbanas) provocam ao longo prazo alterações expressivas na dinâmica da água, podendo reduzir a disponibilidade dos mananciais pelo assoreamento, que ocasiona a diminuição da seção natural da calha transportadora. Este processo, que ocorre naturalmente, pode ser potencializado pela combinação de chuvas de elevadas intensidades e manejo inadequado dos solos, facilitando a ação erosiva. Uma série

de outros problemas advindos desta cadeia de atividades mal planejadas pode levar ao declínio total de água em algumas sub-bacias. (MELLO, 2003.)

Com isso, os estudos em bacias são fundamentais para o entendimento da dinâmica da água e suas consequências ambientais, por constituírem de elementos que proporcionam uma completa visão do ambiente solo, água e vegetação, e os efeitos do uso e manejo do solo na sustentabilidade do sistema e do ciclo hidrológico. (AVANZINI, 2005). O planejamento das atividades antrópicas em uma bacia hidrográfica é de fundamental importância para o manejo adequado dos recursos nela contidos, mantendo assim, sua integridade e equilíbrio ambiental (GARDIMAN, 2012)

A primeira ação deve ser o controle da erosão, que para SILVA et al., 2007, é naturalmente influenciada pelas propriedades físicas, principalmente a textura, permeabilidade, densidade do solo e a porosidade, exercendo diferentes potenciais de resistência do solo à erosão. Os danos causados pelas gotas de chuva que atingem a superfície do solo desprotegido, constituem o primeiro passo no processo de erosão, pois rompem os grânulos e torrões, reduzindo-os em partículas menores, e com isso aumentam a proporção de partículas pequenas na superfície.

Além disso, dentre outros fatores do solo, que mais interferem no processo erosivo, estão os ligados a declividade, à distância percorrida pelo escoamento superficial, a rugosidade superficial, a resistência do solo à ação erosiva da chuva e ao percentual de cobertura vegetal existente na ocasião no evento de precipitação. (PEREIRA et al., 2003). A quantificação das perdas de solo é de fundamental importância na adoção de práticas que visem minimizar a degradação do solo, uma vez que o uso e a ocupação do solo, juntamente com as características topográficas e climáticas irão determinar o balanço sedimentar da bacia hidrográfica (MARTINS et al., 2003). Os processos erosivos, por sua vez, contribuem para o transporte de sedimentos em cursos d'água, que podem ser transportados por arraste, sobre o leito por movimentos do tipo saltação, rolamento e deslizamento, ou em suspensão (MERTEN et al., 2008).

Dentre as consequências da produção excessiva de sedimentos, originados dos processos erosivos, pode-se destacar a depreciação da qualidade de água (VANZELA et al., 2010) e o aumento dos custos com obras de manutenção de reservatórios artificiais de água para irrigação (PAIVA, 2003). Considerando que o

manejo das bacias interfere na produção de sedimentos, este trabalho avaliou a influência de diferentes manejos de bacias hidrográficas sobre os recursos hídricos para a irrigação, a partir de modelos matemáticos, em bacias localizadas no Triângulo Mineiro.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência de diferentes manejos de bacias hidrográficas sobre os recursos hídricos para a irrigação, a partir de modelos matemáticos, em bacias localizadas no Triângulo Mineiro.

2.2 Objetivos específicos

- Levantar características físico-químicas das bacias;
- Comparar dados da qualidade da água com influência do uso e ocupação do solo;
- Analisar a correlação de variáveis dependentes e independentes;
- Diagnosticar a percentagem ideal de matas ciliares para as bacias, com objetivo de melhorar a quantidade e qualidade da água.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 Bacias hidrográficas

De uma forma ampla, os estudos relacionados ao planejamento das atividades antrópicas e o uso dos recursos naturais, baseados em modelos clássicos, falham por trabalharem de forma separada as questões socioeconômicas dos aspectos ambientais. Isso ocorre pela falta de conhecimento das dinâmicas ambiental e socioeconômica e do conflito que possa existir entre as metas de desenvolvimento socioeconômico e a capacidade suporte dos ecossistemas (PIRES & SANTOS, 1995).

No território compreendido entre os divisores de água (locais mais elevados que conformam os limites topográficos externos da bacia) e o exutório (local no curso de água principal para onde flui toda a água precipitada sobre a bacia hidrográfica) coexistem de forma interdependente e interagem, em um processo permanente e dinâmico, a água, os sistemas físicos, os sistemas bióticos (flora e fauna), além do sistema socioeconômico (população em geral e usuários dos recursos naturais) ali existentes. Adicionalmente, os cursos de água servem como elementos de comunicação entre os habitantes da bacia e, em muitos casos, desta com o exterior da mesma (DOUROJEANNI, et al., 2002).

Word Vision (2004), ao definir bacia hidrográfica de forma semelhante ao acima citado, destaca, complementarmente, que este é um espaço tridimensional que integra as interações entre a cobertura do terreno, as profundidades do solo e o entorno das linhas divisórias das águas. Nele encontram-se os recursos naturais e a infraestrutura criada pelo homem, na qual este desenvolve suas atividades econômicas e sociais gerando diferentes efeitos favoráveis e desfavoráveis. Esse conjunto forma um sistema que envolve quatro subsistemas:

- a) Biológico: constituído pela flora e pela fauna existentes;
- b) Físico: integrado pelo solo, subsolo, geologia, recursos hídricos e clima (temperatura, radiação, evaporação, entre outros);
- c) Econômico: integrado por todas as atividades produtivas que realiza o homem envolvendo, dentre outros, a agricultura e a pecuária, a exploração de

recursos naturais, a indústria e agroindústria, e, a infraestrutura de apoio e serviços (estradas, energia, assentamentos, cidades, dentre outros);

d) Social: composto pelos elementos demográficos, institucionais, propriedade de terras, saúde, educação, habitação, culturais, organizacionais, políticos e legal.

De acordo com Souza & Fernandes (2000) a paisagem de uma bacia hidrográfica pode ser dividida em zonas hidrogeodinâmicas, como se segue:

Zonas de recarga: As zonas de recarga são normalmente áreas com solos profundos e permeáveis, com relevo suave, sendo fundamentais para o abastecimento dos lençóis freáticos. Estas áreas devem, dentro do possível, ser mantidas sob vegetação nativa, uma vez que as mesmas exercem uma grande influência sobre a redistribuição da água da chuva. Se estas áreas forem utilizadas e ocupadas com atividades agropecuárias, a função de recarga pode ser prejudicada pela impermeabilização decorrente da compactação dos solos pela mecanização agrícola e pisoteio pelo gado. O uso indiscriminado de agroquímicos pode levar, fatalmente, à contaminação do lençol freático carregados pelas águas que infiltram no solo. Nas diferentes bacias hidrográficas, estas áreas podem ser constituídas pelos topos de morros e chapadas.

Zonas de erosão: As zonas de erosão se encontram imediatamente abaixo das áreas de recarga, onde se distribuem as vertentes em declives e comprimentos de rampas favoráveis a processos erosivos podendo ser acelerados pelo uso impróprio. Nestas áreas o escoamento superficial tende a predominar sobre o processo de infiltração. Podem ser cultivadas com lavouras anuais/perenes e pastagens, desde que sistemas de controle à erosão sejam implantados, com a finalidade de se reduzir o escoamento superficial e aumentar a infiltração, de forma que os comprimentos de rampas sejam seccionados através de faixas vegetativas de retenção, terraços, cordões em contorno e outras medidas adequadas a cada situação e condições climáticas. Estas áreas são as principais contribuintes para o carregamento de sedimentos para os cursos d'água e reservatórios podendo causar assoreamento e elevação da turbidez das águas superficiais.

Zonas de Sedimentações – Várzeas: O segmento mais baixo das bacias hidrográficas são as planícies fluviais, vulgarmente denominadas várzeas, que constituem a zona de sedimentação nas bacias hidrográficas. Principalmente nas

regiões mais acidentadas estas planícies apresentam considerável aptidão para o uso agropecuário, especialmente para a agricultura familiar. Entretanto, nos períodos de chuva, algumas destas planícies apresentam sérios riscos de inundações que podem inviabilizar a instalação de infraestruturas e residências bem como a utilização agropecuária. Pelo fato do lençol freático estar muito próximo à superfície neste segmento da paisagem, exigem-se cuidados redobrados quanto à instalação de fossas sanitárias, aplicação de agroquímicos, acesso de animais à água, etc.

Cada bacia possui um tempo de concentração (T_c), que é definido como sendo o tempo, a partir do início da precipitação, necessário para que toda a bacia contribua com a vazão na seção de controle. O formato da bacia tem efeito no seu comportamento hidrológico, onde fator de forma (K_f) é a razão entre a largura média da bacia (L) e o comprimento do eixo da bacia (L) (da foz ao ponto mais longínquo da área) e quanto menor o K_f , mais comprida é a bacia e portanto, menos sujeita a picos de enchente, pois o T_c é maior e, além disso, fica difícil uma mesma chuva intensa abranger toda a bacia (VILELA & MATTOS, 1975).

3.2 Manejo de bacias

De acordo com Cecilio et al. (2007), os objetivos básicos do manejo de bacias hidrográficas são: (a) tornar compatível a produção com a preservação ambiental; e (b) concentrar esforços das diversas instituições presentes nas várias áreas de conhecimento, a fim de que todas as atividades econômicas dentro da bacia sejam desenvolvidas de forma sustentável e trabalhadas integradamente.

O manejo correto de bacias hidrográficas envolve a elaboração de diversos diagnósticos que levantam todos os problemas da bacia, identificam os conflitos e indicam as soluções em todos os níveis, integrando conclusões e recomendações para a recuperação total do meio ambiente (são os prognósticos) (SILVA & RAMOS, 2001). Os diagnósticos necessários ao manejo de bacias hidrográficas são: a) Diagnóstico físico-conservacionista; b) Diagnóstico socioeconômico; c) Diagnóstico ambiental; d) Diagnóstico da vegetação; e) Diagnóstico da água; f) Diagnóstico da fauna; g) Diagnóstico do solo.

A Comissão Mundial de Meio Ambiente e Desenvolvimento ao definir desenvolvimento sustentável como aquele que atende às necessidades do presente

sem comprometer as possibilidades das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades, procurou incorporar a conservação ambiental, ao crescimento econômico e a equidade social (ESPINOSA, 1993).

De modo que a proposta para manejo integrado de recursos naturais em nível de bacias hidrográficas refere-se, ao ordenamento do uso/ocupação da paisagem, observadas as aptidões de cada segmento e sua distribuição espacial na respectiva bacia hidrográfica, pode desta forma, ser considerado uma proposta concreta para desenvolvimento sustentado, aqui entendido como o uso dos recursos naturais para fins múltiplos e ocupação dos ecossistemas, observados seus respectivos limites de aptidão, atentando para a prevenção, correção e mitigação de prováveis impactos ambientais indesejáveis sob o ponto de vista econômico, social e ecológico (SOUZA & FERNANDES, 2000).

A expansão da agricultura irrigada se tornará uma questão preocupante devido ao elevado consumo e as restrições de disponibilidade de água. Avaliando a necessidade de água dos cultivos, em termos médios, é possível verificar que para produzir uma tonelada de grão são utilizadas mil toneladas de água, sem considerar a ineficiência dos métodos e sistemas de irrigação e o manejo inadequado desta. Avaliações de projetos de irrigação no mundo inteiro indicam que mais da metade da água derivada para irrigação perde-se antes de alcançar a zona radicular dos cultivos (CARVALHO et.al., 2007).

Um outro fato preocupante é velocidade de degradação dos recursos hídricos, com o despejo de resíduos domésticos e industriais nos rios e lagos. O país lança sem nenhum tratamento aos rios e lagoas cerca de 85% dos esgotos que produz, segundo dados do IBGE.

Tundisi (2009a) chama a atenção para a necessidade de treinamento dos técnicos de diferentes áreas (engenheiros, geógrafos, geólogos, biólogos, agrônomos, economistas, advogados) e enfatiza a necessidade de envolvimento de todos esses especialistas, uma vez que cada um possui uma formação específica, para que, em conjunto, possam desenvolver um trabalho efetivo em benefício da sustentabilidade do planeta.

Ele apresenta problemas críticos que envolvem a ação do homem, como os impactos sobre a qualidade e a quantidade das águas decorrentes dos usos múltiplos e a necessidade de uma gestão integrada de bacias hidrográficas.

Para Tundisi, essa gestão deve sustentar-se em uma base de dados apoiada pela pesquisa científica, com objetivo de gerar informações para subsidiar a tomada de decisões pelos gestores, além de uma interação contínua e permanente entre gerentes e pesquisadores.

Aponta, também, a necessidade de um gerenciamento integrado entre gestores, pesquisadores e o gerenciamento de políticas públicas, como essencial para o desenvolvimento de ações que visem à sustentabilidade, como visão integrada dos recursos hídricos e do meio ambiente. Assim é visto a necessidade da pesquisa proposta no trabalho de avaliar a influência de diferentes manejos de bacias hidrográficas sobre os recursos hídricos para a irrigação, a partir de modelos matemáticos, em bacias localizadas no Triângulo Mineiro.

3.3 Estudo de caso no Triângulo Mineiro

Pesquisas realizadas pelo Instituto Mineiro de Gestão de Águas (IGAM) em 2005, descreve as principais bacias da região, sendo elas:

- A Bacia hidrográfica do Rio Dourados situa-se nas mesorregiões do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, onde estão municípios como Uberlândia, Patrocínio e Patos de Minas. Abrangendo um total de 18 sedes municipais, a bacia possui uma população estimada de 434.241 habitantes e uma área de drenagem de 22.291 km². O índice de Qualidade das Águas na bacia apresentou-se predominantemente no nível Médio, confirmando tendência verificada ao longo dos anos de monitoramento. O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Dourados já está aprovado.
- A Bacia hidrográfica do Rio Araguari situa-se na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, onde estão municípios como Uberlândia e Araxá. Abrangendo um total de 13 sedes municipais e apresentando uma área de drenagem de 21.566 km², a bacia possui uma população estimada de 741.486 habitantes. Em nove anos de monitoramento, esse trecho apresentou IQA Médio, superando tendência à apresentação de IQA Ruim. O Comitê de Bacia Hidrográfica do Rio Araguari encontra-se em funcionamento.
- A Bacia Hidrográfica do Baixo Paranaíba situa-se na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, onde estão municípios como Uberlândia e Itumbiara.

Abrangendo um total de 13 sedes municipais e apresentando uma área de drenagem de 26.973 km², a bacia possui uma população total estimada de 211.641 habitantes. Houve piora no IQA do rio Tijuco, que passou de Bom em 2004 para Médio em 2005, resultado influenciado pelos parâmetros coliformes termotolerantes e turbidez. O Comitê de Bacia Hidrográfica dos Afluentes Mineiros do Baixo Paranaíba encontra-se em funcionamento.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização e Características Edafoclimáticas

O trabalho foi desenvolvido em 4 bacias localizadas nos municípios de Iturama e Campina Verde no Triângulo Mineiro (Figura 1).

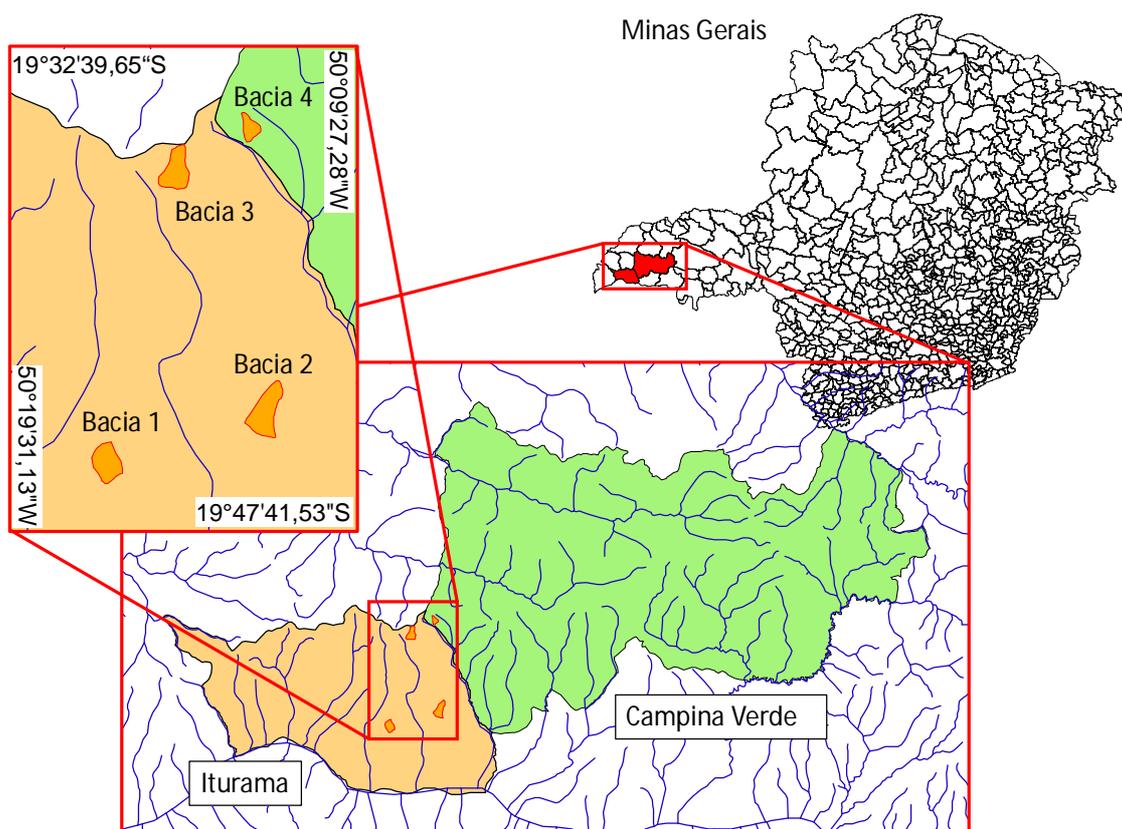


Figura 1: Localização das bacias hidrográficas de Iturama e Campina Verde-MG

De acordo com a classificação de KÖPPEN (1948) o clima da região é o Cwa, considerado clima temperado úmido com inverno seco e verão quente. Os solos são classificados segundo INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (1979) em LATOSSOLO VERMELHO distroférrico típico A moderado/proeminente textura argilosa, fase floresta subcaducifólia, relevo plano e suave ondulado.

4.2. Metodologia

A avaliação da influência do manejo das bacias hidrográficas sobre os recursos hídricos para a irrigação foi realizada a partir da modelagem da resposta linear múltipla de variáveis dependentes (y) em função de uma ou mais variáveis independentes ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$). As variáveis dependentes modeladas foram as relacionadas com a disponibilidade e qualidade de água para a irrigação, tais como concentração de sólidos totais, concentração de sólidos dissolvidos, concentração de sólidos suspensos, vazão específica e produção específica de sedimentos. As variáveis independentes foram as relacionadas ao uso do solo e outras características das bacias hidrográficas, tais como percentuais dos diferentes usos do solo, declividade média e escoamento superficial.

4.2.1. Características das Bacias Hidrográficas (Variáveis Independentes)

Para a obtenção das variáveis independentes (relacionadas as características das bacias), inicialmente delimitaram-se as bacias hidrográficas pelo processo de digitalização manual com o auxílio de imagem do satélite LANDSAT 8 (sensor OLI, resolução de 15 m, com data de 28 de janeiro de 2014) e das isolinhas altimétricas cotadas de 5 m, obtidas a partir de imagem do satélite ASTER - AdvancedSpaceborneThermalEmissionandReflectionRadiometer (resolução de 30 m) (NASA, 2010).

Em seguida, pelo processo de digitalização manual e classificação visual, determinaram-se os usos e ocupações do solo dentro do perímetro das 4 bacias, a partir do qual, foi possível obter os percentuais de uso do solo. A declividade média nas bacias foi determinada a partir do modelo de elevação do terreno (MDE) do satélite ASTER, com resolução espacial de 30 m.

O escoamento superficial foi calculado para as 4 bacias hidrográficas, utilizando o método do Soil Conservation Service (PRUSKI et al., 2003), de acordo com a seguinte expressão:

$$Q' = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{(P + 0,8 \cdot S)}, \text{ sendo: (equação 01)}$$

Q – escoamento superficial (mm);

P – precipitação acumulado em determinado intervalo de tempo (mm);

S – capacidade máxima de armazenamento do solo (mm);

Neste trabalho, o escoamento superficial (Q) considerado foi o acumulado de 7 dias anteriores aos períodos de avaliação das variáveis hídricas. Para isto, as variáveis “P” e “S” da equação 01 também foram os totais acumulados de precipitação e capacidade máxima de armazenamento do solo nos 7 dias anteriores aos períodos de avaliação das variáveis hídricas.

Os dados de precipitação foram obtidos a partir da estação da Usina Coruripe localizada no município de Iturama –MG (dentro de uma distância média de 15 km das bacias). A capacidade máxima de armazenamento do solo foi determinada pela seguinte expressão:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254, \text{ sendo: (equação 02)}$$

S – capacidade máxima de armazenamento do solo (mm);

CN – número da curva corrigido com a umidade antecedente do solo;

Os valores do número da curva corrigidos com a umidade antecedente do solo (CN) são obtidos, a partir das seguintes expressões:

a) $CN = 0.0077 CN_{II}^2 + 0.1694 CN_{II} + 2.1658$ ($r^2 = 0.9978$), para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) inferior a 35,0 mm;

b) $CN = CN_{II}$, para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) entre 35,0 e 52,5 mm;

c) $CN = -0.0067 CN_{II}^2 + 1.596 CN_{II} + 6.9307$ ($r^2 = 0.9000$), para precipitação acumulada dos últimos 5 dias (P5d) superior a 52,5 mm;

Os valores de CN_{II} foram atribuídos em função do uso e ocupação do solo, sendo os valores adotados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Valores de número da curva (CN_{II}) atribuídos em função do uso e ocupação do solo.

Descrição	CN
Áreas urbanizadas	90
Cana-de-açúcar	84
Estradas	87
Matas	70
Gramíneas (pastagens)	81
Espelhos d'água	0
Várzeas	100

4.2.2. Variáveis Dependentes

Para o monitoramento das variáveis dependentes (hídricas), foram selecionados na foz das bacias avaliadas, trechos de seções de pequenas dimensões (larguras médias próximas de 1 m e profundidades máximas de 40 cm), retilíneos (em torno de 6 m) e regulares. Ao todo o monitoramento foi realizado por 12 levantamentos em intervalos aproximados de 30 dias, do período de 20/10/2013 a 21/09/2014.

Nestas datas e locais foram realizadas medições das vazões absolutas e coletadas amostras, as quais foram levadas a Central de Laboratórios da Universidade Camilo Castelo Branco, Campus de Fernandópolis, para a análise das concentrações de sólidos totais, suspensos e dissolvidos, pelo método gravimétrico. As vazões absolutas foram medidas pelo método do flutuador. Em seguida foram determinadas as vazões específicas pelo quociente entre as vazões absolutas e as respectivas áreas de drenagem das bacias.

A produção específica de sedimentos foi determinada pelo quociente entre a descarga sólida total e a respectiva área de drenagem da bacia. As descargas sólidas totais foram determinadas pelo método de Colby de 1954 (CARVALHO, 1994), nos mesmos intervalos e locais das amostragens de água, pelo somatório entre a descarga sólida em suspensão e a descarga sólida de arraste.

4.3. Análise dos Resultados

De posse dos resultados das variáveis, a primeira etapa da análise dos resultados consistiu em uma correlação cruzada das variáveis hídricas (dependentes) com as variáveis relacionadas com as características das bacias (independentes).

Em seguida, para as variáveis independentes que apresentaram correlação significativa ($p < 0,01$) com as variáveis dependentes, foram realizadas a análise de variância da regressão múltipla. Assim, foi possível obter os modelos de resposta de cada variável hídrica em função de uma ou mais variáveis independentes.

Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software SPSS e os mapas e geoprocessamentos com o auxílio do ArcGIS 10.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Características das Bacias

Todas as bacias estudadas apresentaram áreas variando de 1,183 km² (bacia 4) a 4,010 km² (bacia 2), com leitos principais entre 0,742 km (bacia 4) e 2,329 km (bacia 3) (Tabela 2).

Tabela 2. Características fisiográficas das bacias hidrográficas de Iturama e Campina Verde.

Bacia Hidrográfica	Área (km ²)	Leito principal (km)	Coefficiente de forma (C1)
1	3,083	1,707	1,40
2	4,040	2,287	1,33
3	3,177	2,329	1,27
4	1,183	0,742	1,54

A bacia com maior suscetibilidade a cheias é a bacia 3, que apresentou o menor coeficiente de forma ($C1 = 1,27$). Mesmo assim, os resultados dos coeficientes de forma demonstram que, de maneira geral, as bacias estudadas possuem baixa suscetibilidade a cheias.

Nas bacias estudadas foram identificadas diferentes uso e ocupações (Figura 2 a 5), sendo observados cana-de-açúcar, gramíneas (pastagens), estradas, matas, várzeas e área urbana. As bacias 1, 3 e 4 se caracteriza por usos essencialmente agrícola, sendo ocupadas principalmente por cana-de-açúcar (43,46%) na bacia 1 e por gramíneas (pastagens) em 89,33% na bacia 3 e 79,60% na bacia 4. A bacia 2 é a única que drena área urbana, sendo esta a sua maior ocupação (65,28%). A bacia com maior percentual de área preservada é a bacia 4, com 20,40% de matas.

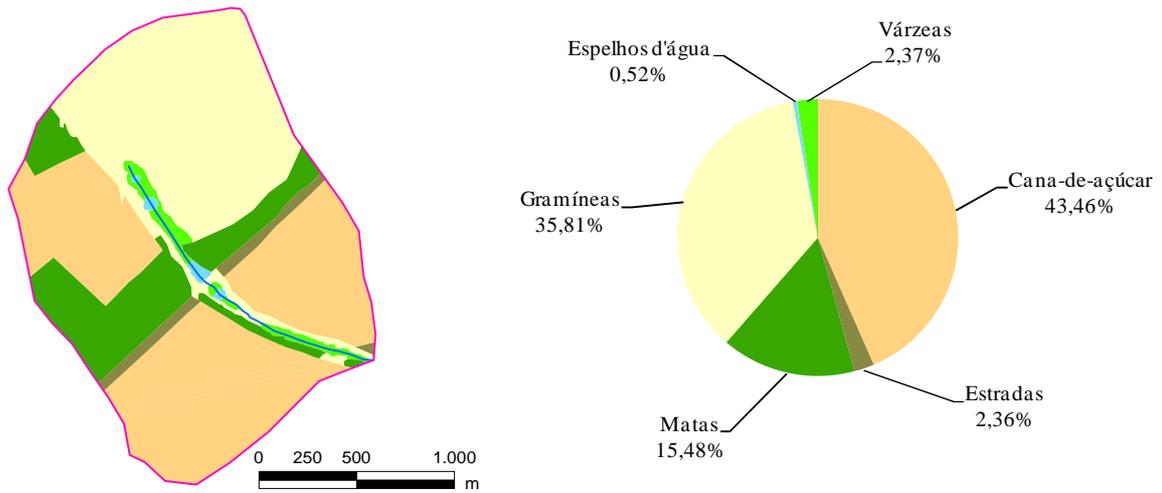


Figura 2. Uso e ocupação do solo na bacia 1.

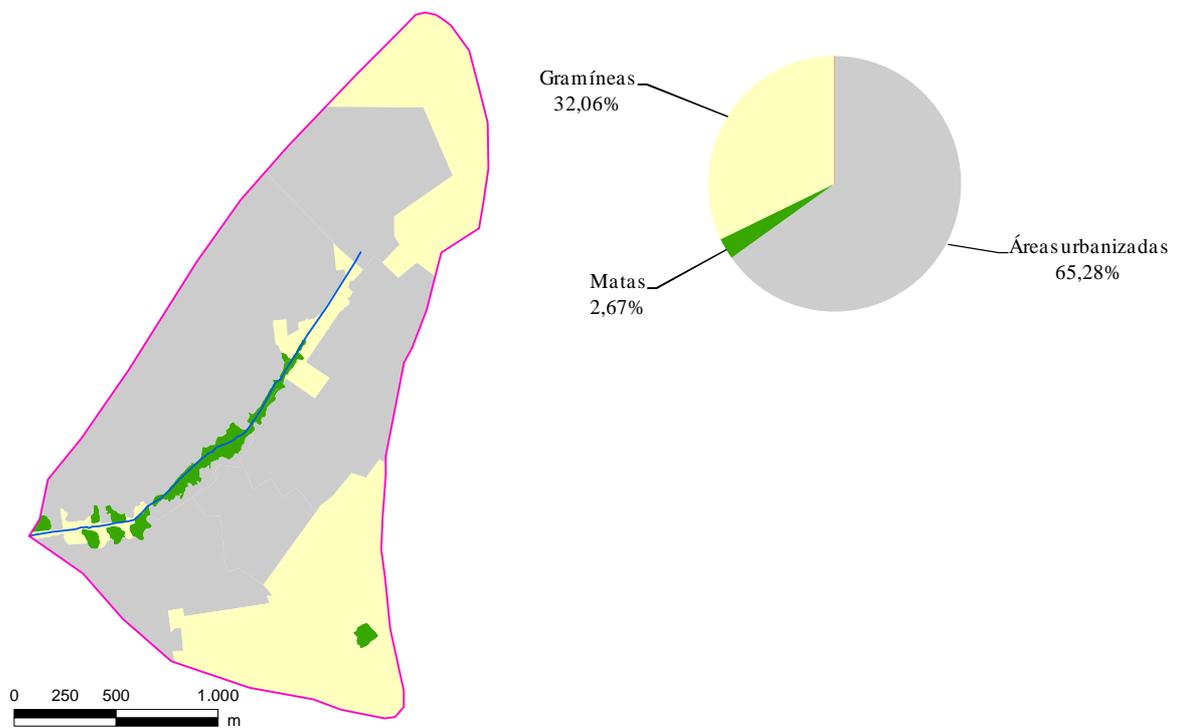


Figura 3. Uso e ocupação do solo na bacia 2.

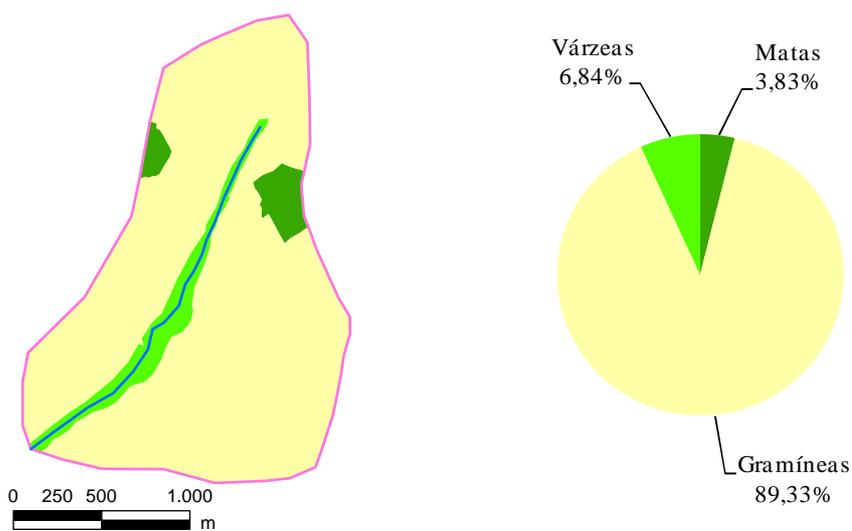


Figura 4. Uso e ocupação do solo na bacia 3.

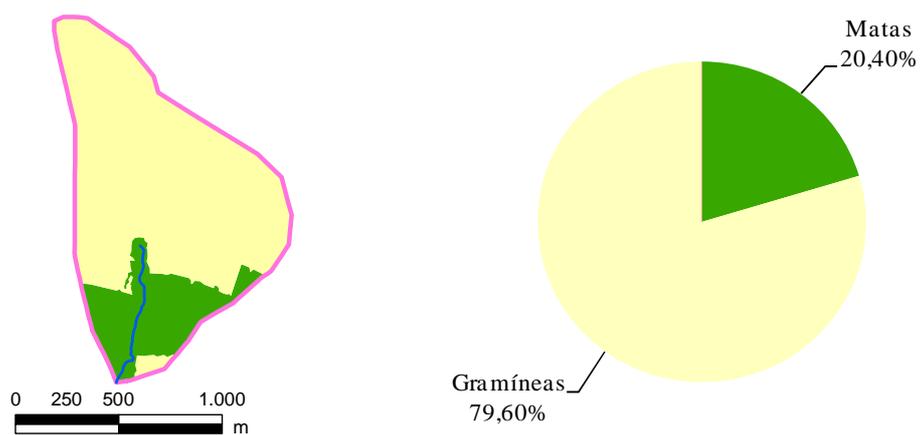


Figura 5. Uso e ocupação do solo na bacia 4.

Nas bacias 1, 2 e 3 as declividades observadas variaram de 0 a 25% e somente na bacia 4 foram observadas declividades entre 25 e 50% (Figura 6). As declividades médias ponderadas das bacias são de 6,4, 5,8, 7,0 e 6,9%.

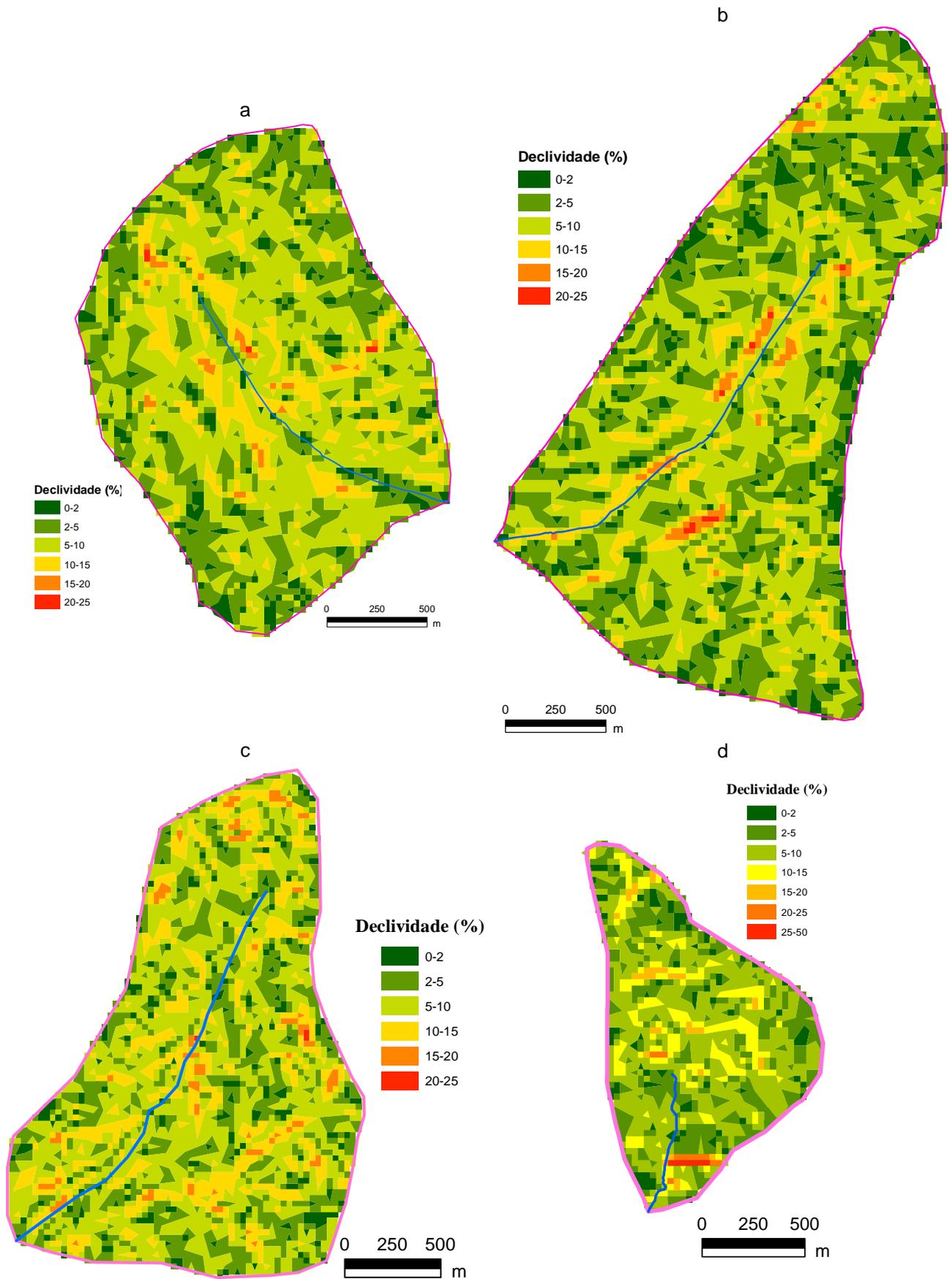


Figura 6. Mapas de declividade média das bacias hidrográficas 1 (a), 2 (b), 3 (c) e 4 (d).

5.2. Variáveis Hídricas

A resposta da produção específica de sedimentos foi significativa ($p < 0,01$) em função das variáveis percentual de áreas ocupadas por matas nativas e áreas urbanas, e com o escoamento superficial (Figura 7).

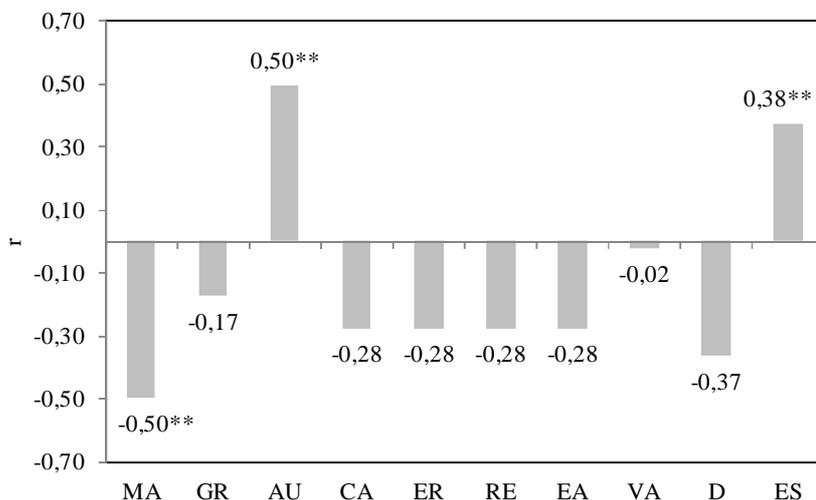


Figura 7. Correlação cruzada da produção específica de sedimentos com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).

Observa-se que a correlação foi negativa nas áreas ocupadas por matas nativas, indicando decréscimo da produção específica de sedimentos com o aumento dessas áreas. Já as áreas urbanas e o escoamento superficial se correlacionaram positivamente, indicando contribuição dessas variáveis para a produção específica de sedimentos. Resultados semelhantes foram obtidos por CARPIO e FATH (2011), que observaram que o aumento da população de Arequipa em 35,34% de 1990 para 2007, afetou diretamente o aumento da área impermeável na cidade e indiretamente afetou a qualidade de água do rio, potencializando problemas em abastecimento de água na cidade e no uso para irrigação.

O assoreamento de rios, provocado pela alta produção de sedimentos, deixa o talvegue mais superficial e expõe maior superfície de contato da água com o ar, assim aumenta a evaporação e reduz a capacidade de armazenamento de água e conseqüentemente o potencial de irrigação de áreas agricultáveis.

O modelo de resposta da produção específico de sedimentos em função das áreas de matas e urbanizado, bem como do escoamento superficial, está apresentado na equação 1:

Equação 1: $Ps=958,9544-38,4458*MA+8,4833*AU+21,0651*ES$ ($r^2 = 0,3937^{**}$), sendo:

Ps– produção específica de sedimentos ($kg\ d^{-1}\ km^{-2}$);

MA – percentual de ocupação por matas (%);

AU– percentual de área urbanizada (%);

ES– escoamento acumulado nos 7 dias anteriores (mm)

Nas Figuras de 8 a 10 estão os resultados das superfícies de resposta da produção específica de sedimentos em função do percentual de áreas de matas e urbanizadas, em 3 diferentes simulações de escoamento superficial.

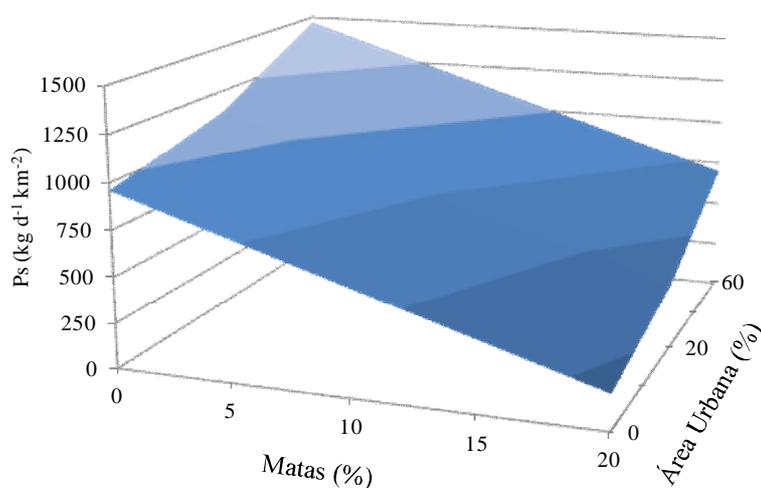


Figura 8. Resposta da produção específica de sedimentos (Ps) em função do percentual de ocupação por matas e área urbana, considerando que não há escoamento superficial nos 7 dias anteriores.

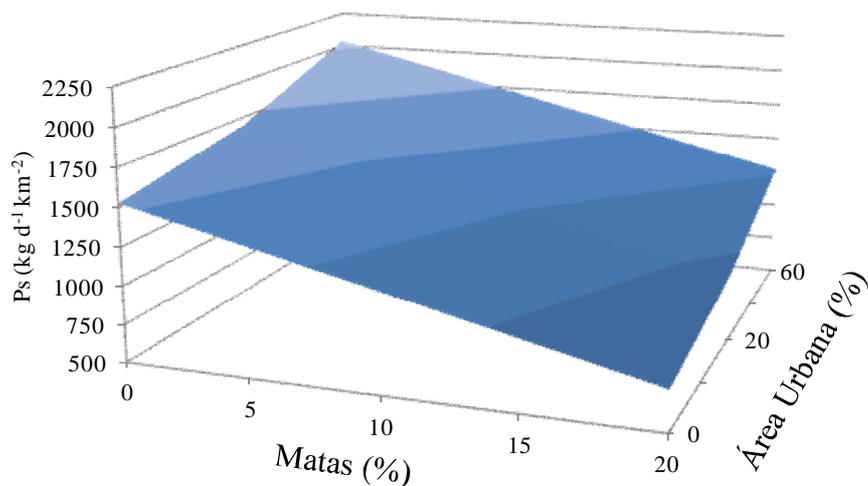


Figura 9. Resposta da produção específica de sedimentos (P_s) em função do percentual de ocupação por matas e área urbana considerando o escoamento superficial de 27 mm acumulados nos 7 dias anteriores.

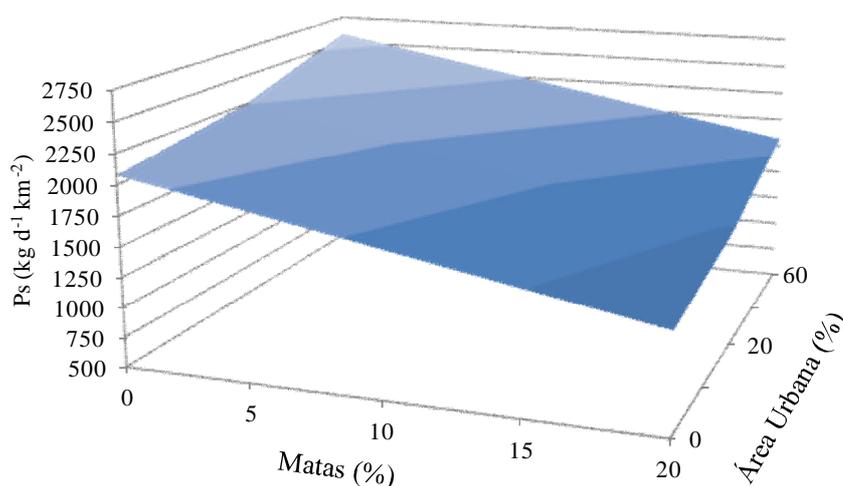


Figura 10. : Resposta da produção específica de sedimentos (P_s) em função do percentual de ocupação por matas e considerando o escoamento superficial de 53 mm acumulados nos 7 dias anteriores.

De acordo com o modelo, considerando as situações de baixo escoamento superficial observado nos 7 dias anteriores (inferior a 27 mm), seriam necessários de 20 a 35% de áreas ocupadas por matas nativas nas bacias agrícolas, para manter o potencial de assoreamento em níveis baixos, ou seja, inferior a $192 \text{ kg d}^{-1} \text{ km}^{-2}$ (CARVALHO et al., 2002). Ainda para as bacias agrícolas na situação de escoamento superficial observado nos 7 dias anteriores, entre 27 e 53 mm, as áreas ocupadas por matas nativas deveriam ser de 35 a 42%, visando manter os potenciais de assoreamento em níveis moderados (abaixo de $479 \text{ kg d}^{-1} \text{ km}^{-2}$) (CARVALHO et al., 2002).

No caso da bacia com 65,3% de urbanização, mesmo se fosse possível a implantação de um percentual restante de 34,7% de matas nativas, apenas na ausência de escoamento superficial, o potencial de assoreamento se manteria baixo. Nestas condições, escoamentos superficiais acima de 14 mm já seriam suficientes para produções específicas de sedimentos com altos potenciais de assoreamento (superiores a $479 \text{ kg d}^{-1} \text{ km}^{-2}$).

Dentro dos percentuais observados de matas nativas (2,7 a 20,4%) e de área urbana (0 a 65,3%) nas bacias, na amplitude de escoamentos superficiais observados no período (0 a 53 mm), esperam-se reduções médias nas produções específicas de sedimento variando de 1,5 a 3,3% para cada percentual de incremento nas áreas de matas nativas. Nas mesmas condições, esperam-se aumentos variando de 0,4 a 1,8% na produção específica de sedimentos por percentual de incremento de área urbana.

Com base nos resultados anteriores é possível afirmar que a produção específica de sedimentos em mata nativas é consideravelmente menor em relação às áreas urbanas, possibilitando maiores escoamento superficiais sem danos ao leito do rio, redução de possível assoreamento e melhores condições de capitação de água para abastecimento urbano e irrigação.

A resposta da vazão específica foi significativa ($p < 0,01$) em função das variáveis percentual de áreas ocupadas por matas nativas e por várzeas estão apresentadas na (Figura 11).

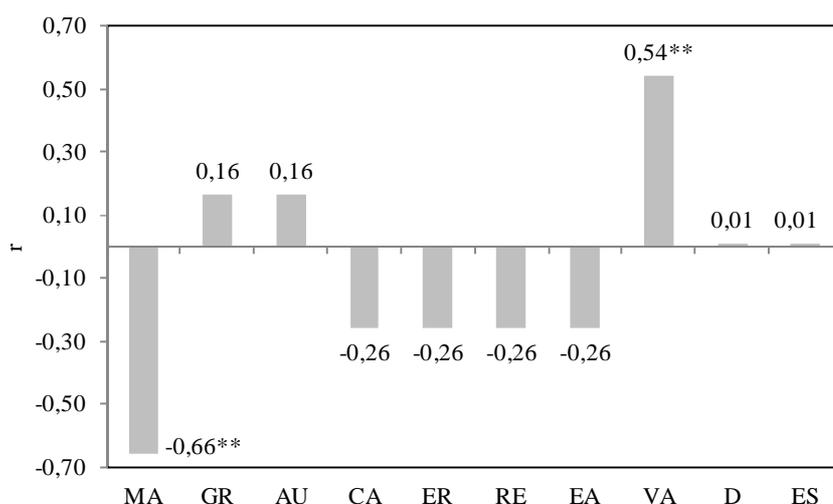


Figura 11. Correlação cruzada da vazão específica com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).

A correlação negativa com áreas ocupadas por matas nativas indicou decréscimo da vazão específica com o aumento dessas áreas, evidenciando a importância das matas nativas no amortecimento de cheias e, com isso, na redução do potencial de poluição difusa nas bacias. RIENTJES et al. (2011), observaram que as mudanças registradas nas vazões ocorreram em função de mudanças na cobertura do solo e na distribuição anual e sazonal de chuvas. Os mesmos autores ainda consideraram as mudanças de cobertura do solo o fator mais impactante nas vazões, devido a significativa diminuição da área florestal e do grande aumento da área agrícola.

Já com as áreas de várzeas, a vazão específica se correlacionou positivamente, demonstrando a que a presença desse tipo de vegetação, além das características favoráveis da calha do curso d'água, também pode estar relacionada com bacias de maior disponibilidade hídrica.

PIROLI et al. (2011) destacam a importância das áreas de preservação permanente, sendo que sua ausência pode acelerar o processo de deterioração da qualidade e redução da disponibilidade hídrica. Já simulando a média de perda de solo para diferentes usos, concluiu que as áreas de agricultura genérica, pastagens e as áreas urbanas são as principais contribuintes para o carreamento de partículas, e com menor intensidade as áreas de cana-de-açúcar, mata, laranja e reflorestamento (NEVES, 2005). Estes trabalhos corroboram com os resultados obtidos para as bacias avaliadas, indicando a perda de matas nativas como o principal fator na alteração do regime hídricos nas bacias avaliadas.

O modelo de resposta da vazão específica em função das áreas de matas e de várzeas está apresentado na equação 2:

Equação 2: $Q_{esp} = 84,0413 - 2,8139 \cdot MA + 4,6540 \cdot VA$ ($r^2 = 0,5226^{**}$), sendo:

Q_{esp} – vazão específica ($m^3 h^{-1} km^{-2}$);

MA – percentual de ocupação por matas (%);

VA – percentual de ocupação por várzeas (%).

Na Figura 12 observar-se a resposta combinada da vazão específica com o aumento do percentual de matas e várzeas.

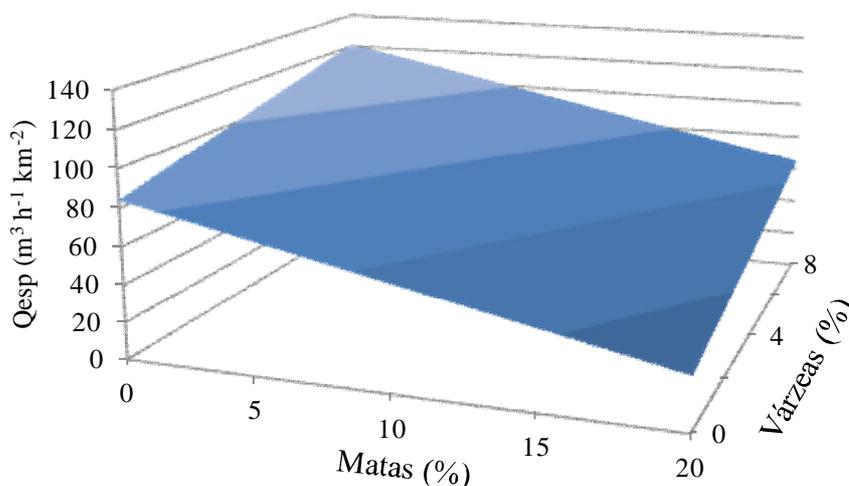


Figura 12. Resposta da vazão específica (Qesp) em função do percentual de ocupação por matas e várzeas.

Nas condições médias de ocupação de várzeas nas bacias analisadas (percentual médio de 2,3% de várzeas), seriam necessários aproximadamente 25% de ocupação por matas nativas para manter a vazão média específica próxima aos valores de $25,54 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ km}^{-2}$, observados na bacia hidrográfica do Rio Turvo-Grande (CBH-TG, 2014), onde as bacias estudadas estão inseridas.

A retirada de matas nativas da bacia e sua substituição por agricultura afeta diretamente o escoamento superficial (QUILBÉ et al., 2008, COSTA et al., 2010) e, conseqüentemente, sua vazão específica. Resultados obtidos por diversos autores em estudos de bacias experimentais, comprovam o aumento da vazão média com a retirada da floresta ou vegetação natural (TUCCI, 2003).

O aumento da vazão média com a retirada das matas nativas está relacionado com o maior pico de cheias devido o aumento do escoamento superficial, que considerando os recursos hídricos para a irrigação não é bom. Isso porque com o aumento dos picos de cheias está associado ao maior transporte de sedimentos, reduzindo a qualidade e a disponibilidade de água para a irrigação.

Nas condições de ocupações de matas nativas (2,7 a 20,4%) e várzeas (2,4 a 6,8%) nas bacias, esperam-se reduções médias nas vazões específicas variando de 2,6 a 3,2% por unidade de aumento percentual na área de matas e aumentos variando de 5,3 a 12,3% por unidade de aumento percentual nas áreas de várzeas.

A resposta da concentração de sólidos totais foi significativa ($p < 0,01$) em função das variáveis percentual de áreas urbanizadas e escoamento superficial (Figura 13).

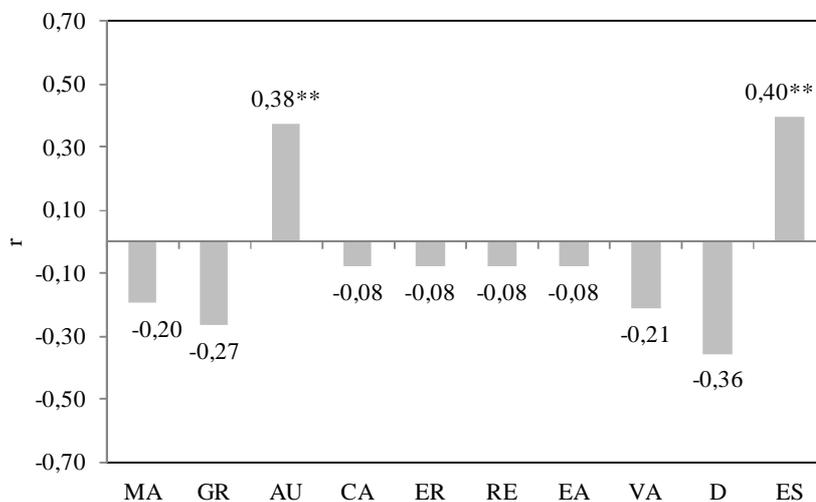


Figura 13. Correlação cruzada da concentração de sólidos totais com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).

A correlação positiva da concentração de sedimentos em função de ambas variáveis demonstra a importância da infiltração no processo de transporte difuso, porque comprova que o aumento dos sedimentos é potencializado com o incremento no percentual de área urbana e escoamento superficial. O alto grau de impermeabilização dos solos encontrado nas áreas urbanas possibilita um fácil e rápido arraste destes materiais até os corpos d'água quando a ocorrência das chuvas, intensificando a poluição difusa, (NOVOTNY, 2003). O incremento significativo na precipitação propicia maiores escoamentos superficiais (MITSOVA, 2014), que por sua vez, produz maior energia cinética para carrear sedimentos ao leito do córrego (CALDWELL, 2012). Os sedimentos transportados podem provocar a obstrução dos equipamentos de irrigação, pela combinação de três fatores (físicos, químicos e biológicos) presentes na água de irrigação (ADIN & ALON, 1986).

O modelo de resposta da concentração de sólidos totais em função do percentual de área urbanizada e do escoamento superficial encontra-se na equação 3:

Equação 3: $CST=81,4683+2,0614*AU+4,7709*ES$ ($r^2=0,2546^{**}$), sendo:

CST– concentração de sólidos totais ($mg L^{-1}$);

AU– percentual de área urbanizada (%);

ES– percentual de escoamento (mm).

Conforme pode ser observada na superfície de resposta (Figura 14), mesmo para escoamentos superficiais entre 27 a 53 mm, a concentração média esperada é de $469 mg L^{-1}$ de sólidos totais, sendo considerada baixa conforme a resolução CONAMA nº 357 de 2005.

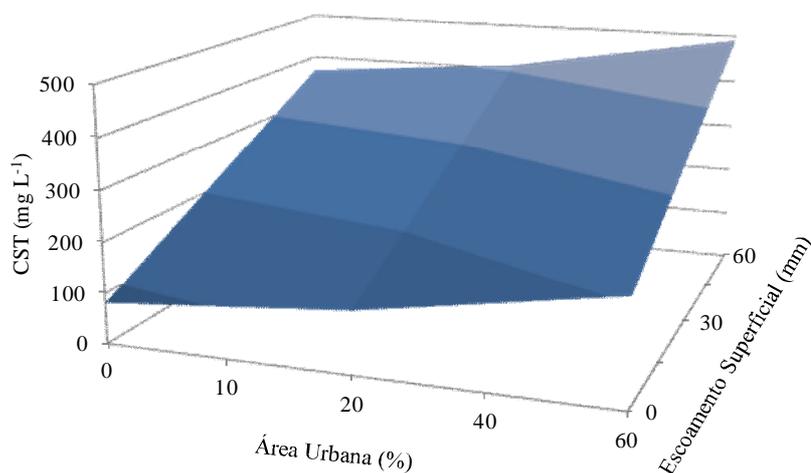


Figura 14. Resposta da concentração de sólidos totais (CST) em função do percentual de ocupação de área urbana e escoamento superficial.

A correlação da concentração de sólidos dissolvidos foi significativa ($p<0,01$) em função das variáveis percentual de declividade e de áreas urbanizadas (Figura 15).

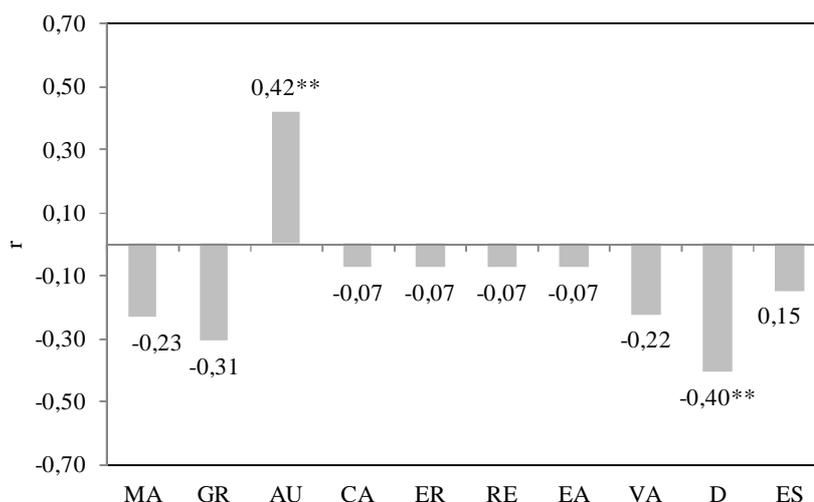


Figura 15. Correlação cruzada da concentração de sólidos dissolvidos com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).

Observa-se que a correlação foi negativa com variável declividade, demonstrando que quanto maior a declividade, menor a concentração de sólidos dissolvidos na água. Este resultado pode estar associado ao fato das áreas de maior declividade se localizarem dentro das áreas de matas nativas (declividade média ponderada de 7,1%), pois normalmente, a maior declividade favorece o aumento da velocidade de escoamento superficial, proporcionando maior potencial de transporte de sedimentos e perda de solo (GENOVEZ, 2001). WOLKA et.al (2014) afirmam, que em geral, a qualidade da água nas seções superiores dos rios é diferente em comparação com as seções inferiores, principalmente devido à variação de declividade do terreno e uso da terra. Este resultado demonstra que captação nas porções baixas dos mananciais superficiais poderá ter prováveis problemas com a irrigação, com águas de maior turbidez e concentração de sólidos dissolvidos.

Com a variável área urbanizada a correlação foi positiva, indicando aumento da concentração de sólidos dissolvidos com essas áreas, onde os motivos podem ser atribuídos aos mesmos fatores já mencionados para a concentração de sólidos totais. O modelo de resposta da concentração de sólidos dissolvidos em função da variável declividade e percentual de área urbanizada encontra-se abaixo na equação 4:

Equação 4: $CSD = 204,4919 - 19,8387 * D + 0,6343 * AU$ ($r^2 = 0,1816^{**}$), sendo:

CSD– concentração de sólidos dissolvidos (mg L^{-1});

D–declividade (%);

AU– percentual de área urbanizada (%);

De acordo com a resposta da concentração de sólidos dissolvidos (Figura 16), os resultados esperados nas bacias são de 131 a 107 mg L^{-1} para declividades médias ponderadas variando de 5,8 e de 7,0%.

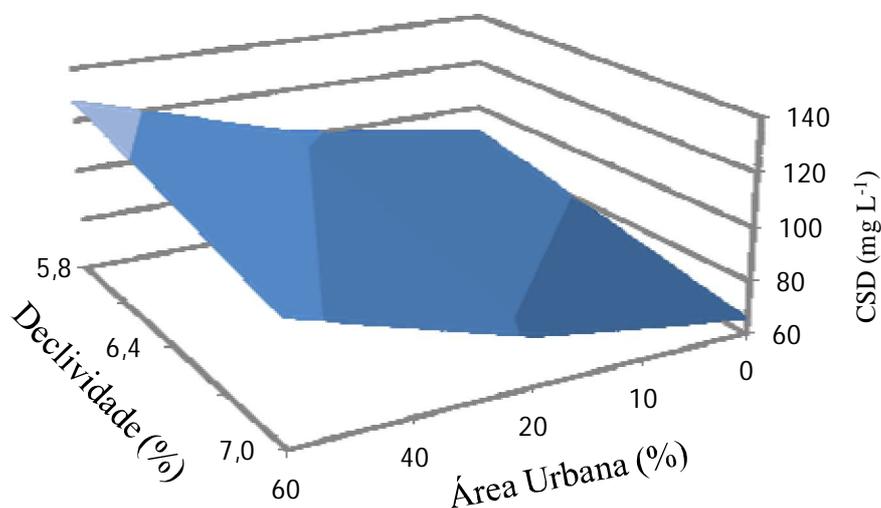


Figura 16. Resposta da concentração de sólidos dissolvidos (CSD) em função do percentual de ocupação de área urbana e declividade.

As médias esperadas, de acordo com o modelo para as bacias avaliadas, estão abaixo de 500 mg L^{-1} que de acordo com Nakayama&Bucks (1986), não representam potencial de risco de dano a sistemas de irrigação localizada.

A resposta da concentração de sólidos suspensos em função das variáveis independentes foi significativa ($p < 0,01$) somente com a quantidade de escoamento superficial (Figura 17).

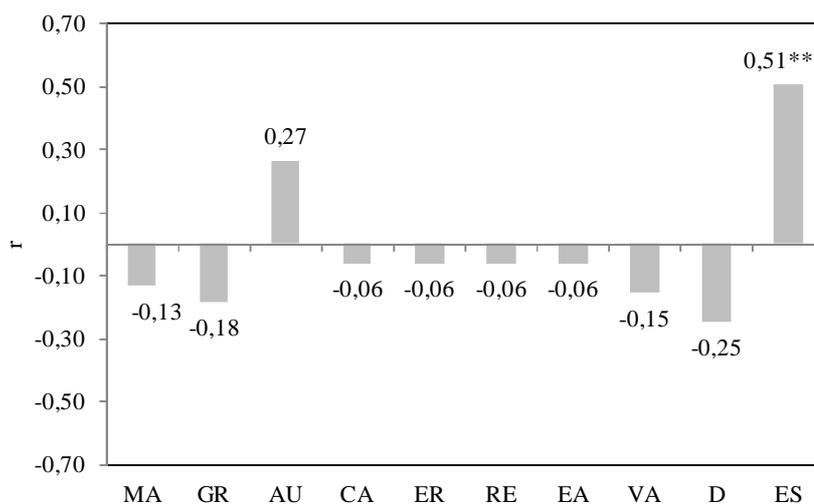


Figura 17. Correlação cruzada da concentração de sólidos suspensos com os usos e ocupações nas bacias, sendo matas (MA), gramíneas (GR), área urbanas (AU), culturas anuais (CA), estradas rurais (ER), servidão para rede elétrica (RE), espelhos d'água (EA), várzeas (VA), declividade (D) e escoamento superficial (ES).

A correlação foi positiva com variável escoamento superficial, indicando o aumento da concentração de sólidos suspensos com a quantidade de escoamento superficial. Este resultado demonstra que, independente do uso e ocupação do solo, o transporte desse tipo de sedimento está fortemente relacionado com a quantidade de escoamento superficial gerado na bacia. VANZELA et al. (2010), SANTOS (2012) e SANTOS & e HERNANDEZ (2013) chamaram a atenção para os impactos ocasionados pela rápida mudança do uso e ocupação do solo, resultando na degradação das áreas agrícolas. Dentre os usos, as áreas urbanas, a má conservação do solo e as reduzidas áreas de matas, merecem atenção especial devido aos diversos impactos aos recursos hídricos e conseqüentemente aos sistemas de irrigação, afetando o manejo das atividades agrônômicas.

O modelo de resposta da concentração de sólidos suspensos em função do percentual de escoamento está apresentado na equação 5:

Equação 5: $CSS=20,6365+6,2391*ES$ ($r^2=0,2565^{**}$), sendo:

CSS– concentração de sólidos suspensos ($mg L^{-1}$);

ES– percentual de escoamento (mm).

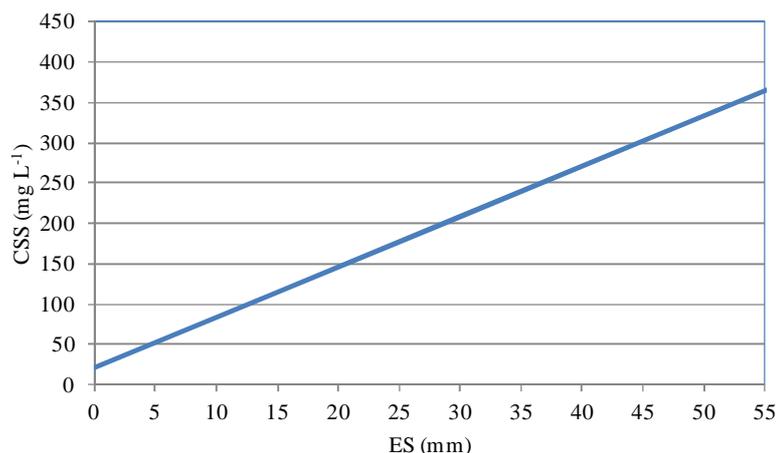


Figura 18. Resposta da concentração de sólidos suspensos (CSS) em função da quantidade de escoamento superficial (ES).

Para NAKAYAMA & BUCKS (1986) valores superiores a 100 mg L^{-1} de sólidos suspensos já podem provocar altos danos a sistemas de irrigação localizada, que para as bacias estudadas e de acordo com o modelo, já podem ocorrer em escoamentos superficiais superiores a 13 mm acumulados aos 7 dias anteriores.

Considerando estes resultados, atenção especial deve ser despendida com relação as técnicas de conservação do solo nas bacias hidrográficas, pois independente do uso e ocupação do solo, nas épocas de escoamento superficial intenso pode ocorrer em danos a sistemas de irrigação localizada. Isso porque mesmo nas épocas chuvosas, o uso da irrigação pode ser necessário em função de veranicos que ocorrem com frequência na região.

. A preservação das matas ciliares nativas, a adequação dos imóveis rurais ao código florestal e a conservação do solo por meio de técnicas de terraceamento são fatores decisivos para a manutenção da disponibilidade de água (PAIVA, 2003) e redução dos custos com tratamento da água (TUNDISI & TUNDISI, 2010), possibilitando o uso da água no setor urbano e rural com qualidade e por período maior.